

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA

**TRABAJO ESTRUCTURADO DE MANERA INDEPENDIENTE
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO.**

TEMA:

**“ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y NO DESTRUCTIVOS Y SU
EFECTO SOBRE LA CALIDAD DE LAS TOLVAS PARA
VOLQUETAS PRODUCIDAS POR I.M.ESCO”**

OSWALDO LEONARDO CALERO RODRÍGUEZ

AUTOR

ING. ALEJANDRO MORETTA

TUTOR

AMBATO – ECUADOR

2012

CERTIFICACIÓN

En calidad de tutor de la presente tesis de grado, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico , bajo el tema “**ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y NO DESTRUCTIVOS Y SU EFECTO SOBRE LA CALIDAD DE LAS TOLVAS PARA VOLQUETAS PRODUCIDAS POR I.M.ESCO**” ejecutado por el señor. Oswaldo Leonardo Calero Rodríguez, egresado de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato , CERTIFICO que la presente tesis fue elaborada en su totalidad por el autor y ha sido concluida en forma total, en apego al plan de tesis aprobado.

.....
Ing. Alejandro Moretta.

TUTOR DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

AUTORÍA

El contenido del presente trabajo de investigación bajo el tema: **“ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y NO ESTRUCTIVOS Y SU EFECTO SOBRE LA CALIDAD DE LAS TOLVAS PARA VOLQUETAS PRODUCIDAS POR I.M.ESCO”** así como sus opiniones e ideas, comentarios de resultados son de exclusiva responsabilidad del autor.

Egdo. Oswaldo Leonardo Calero Rodríguez

C.I.1803077807

DEDICATORIA

Esta Tesis es un inicio de nuevos logros en mi vida, por esta razón la dedico, primeramente a Dios por darme la salud y la vida.

A mi esposa que siempre estuvo apoyándome con su ánimo y consejo supo guiarme para seguir adelante para cumplir nuevas metas; a mis hijos David y Carolina, a mis padres

A mis hermanos por compartir el tiempo y los momentos significativos de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Mi gratitud y reconocimiento a la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil que a través de sus docentes fue un pilar fundamental para adquirir conocimientos que serán la base de mi carrera profesional.

A mi director de tesis Al Ing. Alejandro Moretta el cual fue primero un amigo y después un guía fundamental en la realización de este proyecto.

En general quisiera agradecer a todas y cada una de las personas que han vivido conmigo la realización de este trabajo.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de tesis tiene como propósito la realización de los ensayos destructivos y no destructivos en tolvas de volqueta de 8 metros cúbicos de la empresa I.M.ESCO. Orientándose hacia la elaboración de una guía que será implementada, siendo el objetivo principal detectar diversas fallas y anomalías en el proceso de construcción de las tolvas, contribuyendo de ésta manera al mejoramiento del nivel de calidad y productividad en todas las áreas de la empresa, con el propósito de competir exitosamente en el mercado nacional e internacional, a través de la implementación de la Norma ISO 9001:2008.

En primera instancia se desarrolló una investigación interna de los procesos actuales de producción, equipos y materiales utilizados, así como la recolección de datos generales a cerca del nivel de educación del personal de producción, para verificación de sus aptitudes en el cargo que se desenvuelven.

Una vez analizados estos datos se procedió a determinar el tipo y orden de los ensayos a desarrollarse en las tolvas, comenzando por el ensayo de inspección visual con el propósito de detectar las diferentes fallas existentes en los cordones de soldadura, acabados superficiales, grietas, porosidades, etc. Todos los ensayos realizados se sustentan en normas en las que se describe los parámetros correspondientes para los diferentes ensayos realizados.

Posteriormente se aplicaron tintas penetrantes para verificación visual de los cordones de soldadura, de ahí se tomaron muestras para evaluación por radiografía industrial y así evaluar la calidad de la soldadura y la del soldador.

Posteriormente se desarrollaron los ensayos destructivos pertinentes de acuerdo a lo especificado en el presente trabajo, todos y cada uno respaldados por su respectiva Norma ASTM.

Hay que acotar que la realización de los ensayos destructivos y no destructivos en las tolvas de volqueta solo es un paso para la acreditación de la Norma ISO 9001-2008.

ÍNDICE

CAPÍTULO I		PAG
1	EL PROBLEMA.....	1
1.1	TEMA	1
1.2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2.1	CONTEXTUALIZACIÓN	1
1.2.2	ANÁLISIS CRÍTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.2.3	PRÓGNOSIS	3
1.2.4	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.2.5	PREGUNTAS DIRECTRICES	3
1.2.6	DELIMITACIÓN DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN	4
1.3	JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.4	OBJETIVOS	5
1.4.1	OBJETIVO GENERAL.....	5
1.4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
CAPITULO II		6
2	MARCO TEORICO	6
2.1	ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	6
2.2	FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA.....	6
2.3	FUNDAMENTACIÓN LEGAL.....	6
2.4	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7

2.4.1	DEFINICIÓN DE ENSAYOS.....	7
2.4.2	ENSAYOS DESTRUCTIVOS	7
2.4.2.1	ENSAYO DE TRACCIÓN	8
2.4.2.2	ENSAYO DE COMPRESIÓN	10
2.4.2.3	ENSAYO DE FLEXIÓN.....	11
2.4.2.4	ENSAYO DE DUREZA.....	12
2.4.2.4.1	Dureza Rochwell.....	12
2.4.2.4.2	Dureza Brinell.....	13
2.4.2.4.3	Dureza Vickers	15
2.4.2.5	ENSAYO DE FATIGA	16
2.4.3	ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	19
2.4.3.1	INSPECCIÓN VISUAL	22
2.4.3.1.1	Procedimiento:	22
2.4.3.1.2	Medios ópticos auxiliares	23
2.4.3.1.3	Tipos de exámenes visuales.....	23
2.4.3.2	ENSAYO RADIOGRÁFICO	25
2.4.3.2.1	Características:.....	27
2.4.3.3	Ensayo de ultrasonido	28
2.4.3.3.1	Palpadores	29
2.4.3.3.2	Descripción de palpadores ultrasónicos.....	31
2.4.3.3.3	Bloques patrones de calibración y de referencia	34

2.4.3.3.4	Características	37
2.4.3.4	ENSAYO DE LÍQUIDOS PENETRANTES	37
2.4.3.4.1	Características	39
2.4.3.5	ENSAYO METALOGRAFICO	39
2.4.3.5.1	MÉTODO DE PREPARACIÓN	40
2.4.4	SOLDADURA.....	45
2.4.4.1	SOLDADURA DE ARCO ELÉCTRICO	45
2.4.4.2	SOLDADURAS MIG.....	46
2.4.5	PROCESO ACTUAL DE MANUFACTURA DE LA TOLVA I.M.ESCO.	
2.5	HIPÓTESIS	48
2.6	SEÑALAMIENTO DE VARIABLES	48
2.6.1	VARIABLE INDEPENDIENTE.....	48
2.6.2	VARIABLE DEPENDIENTE.....	48
CAPITULO III.....		49
3	METODOLOGÍA	49
3.1	ENFOQUE.....	49
3.2	MODALIDAD Y TIPO DE LA INVESTIGACIÓN	49
3.2.1	MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN	49
3.2.1.1	INVESTIGACIÓN DE CAMPO.....	49
3.2.1.2	INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL.....	49

3.3	NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN	50
3.3.1	Investigación Explicativa.....	50
3.3.2	Investigación Descriptiva	50
3.4	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	50
3.4.1	POBLACIÓN O UNIVERSO DE ESTUDIO	50
3.5	PLAN DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	52
3.5.1	VARIABLE INDEPENDIENTE: ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y NO DESTRUCTIVOS.....	52
3.5.2	VARIABLE DEPENDIENTE: INCREMENTO DE LA CALIDAD DE LAS TOLVAS PARA VOLQUETA PRODUCIDAS POR I.M.ESCO.....	53
3.6	PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	54
3.7	PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	54
	CAPITULO IV	56
4	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	56
4.1	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	56
4.2	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	59
4.2.1	EDUCACIÓN DEL PERSONAL DE I.M.ESCO.....	92
4.2.2	EFICIENCIA EN PROCESOS.....	94
4.2.2.1	CORTE	94
4.2.2.2	DOBLADO.....	96
4.2.2.3	SOLDADURA.....	97

4.2.2.4	ENSAMBLE	99
4.2.2.5	SECCIÓN PINTURA	100
4.2.2.6	REVISIÓN FINAL APLICACIÓN DE END	100
4.2.3	EVALUACIÓN DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN ARTESANAL DE LA TOLVA DE VOLQUETA.....	100
4.3	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	101
4.4	VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS	102
CAPITULO V		106
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	103
5.1	CONCLUSIONES.....	103
5.2	RECOMENDACIONES.....	104
CAPITULO VI		108
6	PROPUESTA.....	106
6.1	DATOS INFORMATIVOS	106
6.2	ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA.....	107
6.3	JUSTIFICACIÓN	107
6.4	OBJETIVOS	108
6.4.1	OBJETIVO GENERAL.....	108
6.4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	108
6.5	ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD	128
6.5.1	DE TIPO ECONÓMICO	128

6.5.2	DE TIPO TECNOLÓGICO.....	132
6.5.3	DE TIPO AMBIENTAL.....	133
6.5.4	DE TIPO JURÍDICO	133
6.6	FUNDAMENTACIÓN.....	133
6.7	METODOLOGÍA. MODELO OPERATIVO	135
6.7.1	ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	135
6.7.1.1	INSPECCIÓN VISUAL ASME IV, SECCIÓN V, ARTICULO 9....	135
6.7.1.2	ENSAYO DE RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL	138
6.7.1.3	ENSAYO CON LÍQUIDOS PENETRANTES LP	139
6.7.1.3.1	Procedimiento	139
6.7.1.3.2	Requisitos de seguridad	139
6.7.1.3.3	Preparación de la superficie	139
6.7.1.3.4	Aplicación del LP	139
6.7.1.3.5	Remoción del Líquido Penetrante.....	140
6.7.1.3.6	Secados antes de la aplicación del revelador	140
6.7.1.3.7	Aplicación del revelador	141
6.7.1.3.8	Interpretación de los resultados	141
6.7.1.4	ULTRASONIDOS	143
6.7.2	ENSAYO DESTRUCTIVOS	146
6.7.2.1	ENSAYO DE TRACCIÓN	146
6.7.2.2	ENSAYO DE FLEXIÓN.....	148

6.7.2.3	ENSAYO DE COMPRESIÓN	150
6.7.2.4	ENSAYO DE DUREZA.....	151
6.8	ADMINISTRACIÓN.....	153
6.9	PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN.....	153
	BIBLIOGRAFÍA.....	155
	ANEXOS.....	156

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Producción de tolvas de 8m ³ , año 2010.....	51
Tabla 4.1. Resumen de procesos para la construcción de la tolva de 8m ³ artesanal.....	59
Tabla 4.2. Resultados de la medición de espesores en la ZONA 3 (PISO).....	67
Tabla 4.3. Resultados de la medición de espesores en la ZONA 4 (P. FRONTAL).....	69
Tabla 4.4. Resultados de la medición de espesores en la ZONA 5. IZQUIERDA.....	71
Tabla 4.5. Resultados de la medición de espesores en la ZONA 5. DERECHA.....	73
Tabla 4.6. Resultados de la medición de espesores en la ZONA 6. COMPUERTA.....	75
Tabla 4.7. Educación y experiencia del personal de I.M.ESCO.....	94
Tabla 4.8. Resumen de frecuencia de utilización de equipos.....	96
Tabla 4.9. Resumen de porcentajes evaluados en el proceso de doblado.....	97
Tabla 4.10. Resumen del porcentaje de utilización del proceso de soldadura SMAW y MIG.....	99
Tabla 4.11. Descripción general de las capacidades técnicas del teclé eléctrico y montacargas.....	99
Tabla 4.12. Tipo de pintura, detalles generales.....	100
Tabla 6.1. Descripción de costos de ensayos destructivos y no destructivos.....	128
Tabla 6.2. Descripción de zonas descritas en la figura 6.2.....	132

Tabla 6.8. Especímenes sugeridos para sólidos cilíndricos.....	151
--	-----

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Diagrama de tensión.....	9
Figura 2.2. Diagrama de Tracción de Ingeniería.....	9
Figura 2.3. Fotografía de Máquina Universal.....	10
Figura 2.4. Ensayo de Flexión.....	11
Figura 2.5. Onda senoidal.....	11
Figura 2.6. Diagrama de aplicación de cargas, dureza Rockwell.....	13
Figura 2.7. Tabla de materiales que se miden con dureza Rockwell.....	13
Figura 2.8. Cargas y diámetros de esfera para el ensayo de dureza Brinell.....	14
Figura 2.9. Efectos del ensayo con dureza Brinell.....	14
Figura 2.10. Principio de medición de dureza Vickers.....	16
Figura 2.11. Diagrama S-N del acero UNS G41300.....	17
Figura 2.12. Gráfica de límites de resistencia a la fatiga contra resistencia a la tensión de aceros al carbono, aceros de aleación y hierros forjados.....	18
Figura 2.13. Radiografía Industrial.....	26
Figura 2.14. Representación Esquemática de un Ensayo Radiográfico.....	27
Figura 2.15. Equipo de ultra sonido.....	28
Figura 2.16. Características Esquemáticas de un Ensayo Ultrasónico.....	29
Figura 2.17. Arriba: Vibración de un cristal débilmente atenuado y de otro fuertemente atenuado. Abajo: La misma señal sobre la pantalla del TRC después de rectificadora y filtrada.....	30

Figura. 2.18. Palpador normal con suela protectora (esquema).....	32
Figura 2.19. Palpador con doble cristal (esquema).....	33
Figura 2.20. Palpador angular (esquema).....	34
Figura 2.21. Bloque de calibración ASTM.....	35
Figura 2.22. Bloque de calibración TwiLight.....	36
Figura 2.23. Líquidos penetrantes.....	38
Figura 2.24. Etapas de un Ensayo de Líquidos Penetrantes.....	38
Figura 2.25. Resina en frío. BAKELITA.....	42
Figura 2.26. Banco de lijas para pulido de probetas.....	43
Figura 2.27. Banco de paño para pulido fino de probetas.....	43
Figura 2.28. Caja de reactivos químicos para ataque químico de superficies.....	44
Figura 2.29. Esquema de soldadura por arco eléctrico.....	45
Figura 2.30. Nomenclatura para designación de electrodos.....	46
Figura 2.31. Soldadura MIG y diagrama del proceso MIG.....	47
Figura 3.1. Diagrama de producción de tolvas, año 2010.....	51
Figura 4.1. Diagrama de distribución del proceso de corte, partes en el eje x y equipo utilizado en el eje y.....	95
Figura 4.2. Diagrama de frecuencia de utilización de equipos.....	95
Figura 4.3. Diagrama del proceso de doblado, partes dobladas y equipo utilizado...	96
Figura 4.4. Porcentajes de utilización de dobladora manual y dobladora eléctrica...	97

Figura 4.5. Distribución del proceso de soldadura, partes soldadas y tipo de soldadura.....	98
Figura 4.6. Porcentajes de utilización del proceso SMAW y MIG.....	98
Figura 4.7. Diagrama de los porcentajes de aplicación de procesos de construcción, resumen.....	101
Figura 6.1. Distribución de la tolva en zonas.....	131
Figura 6.2. Simulación de la tolva sometida a esfuerzos normales al piso.....	134
Figura 6.3. Proceso de inspección visual en cordones de soldadura.....	136
Figura 6.4. Informe de radiografía industrial.....	138
Figura 6.5. Medición de espesor en probeta de acero A36 y distribución de puntos de medición en el piso de la tolva.....	144
Figura 6.6. Medición de espesor en probeta de acero A36 y distribución de puntos de medición en el piso de la tolva.....	145
Figura 6.7. Medición de espesor en probeta de acero A36 y distribución de puntos de medición en el piso de la tolva.....	145
Figura 6.8. Probetas para ensayo de tracción, acero A36.....	146
Figura 6.9. Probeta en la maquina universal, antes y después del ensayo.....	146
Figura 6.10. Máquina Universal, probetas del ensayo, acero SAE 10.....	148
Figura 6.11. Máquina Universal, probetas del ensayo, y ejecución, en acero SAE 10.....	148
Figura 6.12. Máquina ensayo de compresión y detalle de la prueba con una presión de 60000lbf, y el efecto producido después del ensayo, evidenciando claramente la deflexión.....	151
Figura 6.13. Máquina Rockwell y probeta del ensayo de dureza.....	152

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 TEMA

Ensayos destructivos y no destructivos y su efecto sobre la calidad de las tolvas para volquetas producidas por I.M.ESCO.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN

La industria metal mecánica en el mundo ha pasado por una serie de etapas como consecuencia de los diferentes avances tecnológicos suscitados como la Revolución Industrial, la invención de nuevas tecnologías y herramientas para el trabajo.

En el Ecuador, la industria ha evolucionado paralelamente a los avances que se fueron dando a nivel mundial. En general, sin embargo, el cambio técnico se ha orientado a adoptar la tecnología a las características de la materia prima nacional, a satisfacer especificaciones estrictas a clientes.

La ciudad de Ambato no es la excepción y debido a un alto porcentaje de talleres mecánicos dedicados a la construcción de tolvas para volquetas que no cuenta con normas ni especificaciones adecuadas, las industrias han estado en la necesidad de aumentar su producción desde tiempo atrás hasta nuestra época con la idea de no sucumbir ante las múltiples competencias existentes; y más si desean llevarlas al ámbito internacional.

La industria metal mecánica encargada de diseñar tolvas para volqueta adecuada a las necesidades del medio, se ha ubicado en un lugar importante dentro del

mercado internacional y nacional. En la actualidad la construcción de tolvas se realiza de manera artesanal sin ningún control de calidad, debido a que no existe un procedimiento calificado o certificado, con normas ecuatorianas en lo que se refiere a selección de materiales, procesos de soldadura mano de obra calificada y ensayos destructivos y no destructivos. Por esta razón se evidencian fallas de tipo estructural, tanto en componentes fácilmente visibles como en la estructura metalográfica de cordones de soldadura.

I.M.ESCO. ha visto la necesidad de rectificar este tipo de inconvenientes, por su incidencia en los terminados de las tolvas para volqueta, así como también aumentar la vida útil en el trabajo; teniendo como principal objetivo el realizar diferentes ensayos destructivos y no destructivos en el material, así también con la utilización de mano de obra calificada, aplicando las normas nacionales e internacionales para el proceso de construcción de tolvas para volqueta.

1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO DEL PROBLEMA

La Industria es una actividad económica que tiene por objeto transformar los recursos naturales y las materias primas semielaboradas en bienes de consumo y producción.

La industria Ecuatoriana se desarrolla principalmente en las grandes ciudades como Quito y Guayaquil. Las demás ciudades tienen una industria pequeña.

El desarrollo industrial de un país es el anhelo de todos. La actividad industrial es importante por las siguientes razones:

- Por convertir los recursos naturales en bienes materiales y económicos.
- Por diversificar los productos de consumo.
- Las industrias constituyen una fuente de trabajo de múltiples especialidades, dando ocupación a obreros, técnicos y profesionales especializados y originando centros de aprendizaje laboral.

- Por promover el desarrollo económico local y contribuir al ingreso de divisas para el país, a través de los productos que se exporta al extranjero.
- Porque eleva el nivel de vida de la población.

Debido a la cantidad de empresas dedicadas a la construcción de tolvas para volquetas, I.M.ESCO ha visto la necesidad de incrementar su nivel de competitividad con un análisis profundo para el proceso de construcción de tolvas para volqueta, garantizando su seguridad, tanto estructural, ergonómica, y con una resistencia de materiales y proceso de construcción que satisfaga las necesidades de los consumidores.

1.2.3 PRÓGNOSIS

Debido a los requerimientos que día a día se exige el mercado nacional, el presente trabajo es de vital importancia, ya que sin su desarrollo seguirá habiendo defectos en el diseño y construcción de las tolvas para volqueta, y consecuentemente no se podrán mejorar los procesos.

La implementación de los ensayos destructivos y no destructivos es el mejor recurso que se le puede dar a la empresa en cuestión de prevenir las imperfecciones en cada uno de los procesos de construcción.

1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Se incrementará la competitividad de la empresa I.M.ESCO al realizar Ensayos destructivos y no destructivos en los procesos de soldadura para las tolvas de volqueta?

1.2.5 PREGUNTAS DIRECTRICES

¿Qué tipo de ensayo serán aplicados en los puntos críticos de la estructura?

¿Cómo se determina los factores de falla en los puntos críticos de la estructura?

¿Cómo se incrementará la competitividad de las tolvas para volquetas?

¿Existirán estudios de ensayos destructivos y no destructivos actuales realizados en I.M.ESCO?

1.2.6 DELIMITACIÓN DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN

- CAMPO: Metal Mecánica.

- ÁREA: I.M.ESCO.

TEMA: Ensayos destructivos y no destructivos y su efecto en sobre la calidad de las tolvas para volquetas producidas por I.M.ESCO.

- PROBLEMA: Qué beneficios se obtendrá al realizar los ensayos destructivos y no destructivos en la empresa I.M.ESCO, de la ciudad de Ambato.

- ESPACIAL: Esta investigación se realiza en I.M.ESCO de la ciudad de Ambato y los laboratorios de UTA-FICM.

- TEMPORAL: Abril del 2010 hasta Diciembre del 2011.

- CONTENIDO. Este proyecto de acuerdo a sus necesidades y requerimientos está dentro de los campos de soldadura, Ensayos Destructivos y no Destructivos, Diseño Mecánico, Estructuras Metálicas, Resistencia de Materiales, Elementos Finitos.

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El parámetro de mayor influencia sin duda es el impacto social, el cual se relaciona directamente con la seguridad que ofrecerán las tolvas propuestos en este proyecto, respaldadas por la aplicación de ensayos destructivos y no destructivos en los procesos de construcción a realizarse, y también con el desarrollo económico que se desarrollará en torno al proyecto, siendo una de nuestras prioridades el desarrollo de una empresa competitiva, esto incluye la generación de nuevos puestos de trabajo que fomenten el desarrollo de la sociedad. Hay que destacar el análisis que se implementa en cuanto al estudio de los materiales, procesos de construcción soldadura, pruebas de ensayos

destruictivos y no destruictivos, tiempos de producción, costos, factor de seguridad que ofrecen las tolvas; siendo este el primer proceso de calidad bajo normas nacionales e internacionales. Sin duda alguna, la originalidad del proyecto, se debe al interés especial de cubrir todo nuestro mercado, no solo dentro de la provincia de Tungurahua, más bien a nivel nacional y con una proyección de exportación de producto terminado.

De ahí el interés personal para desarrollar el estudio y una guía de procedimientos de control de calidad para las tolvas de volqueta.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar una guía de ensayos destruictivos y no destruictivos aplicados en el mejoramiento de calidad de producción de las tolvas para volquetas de I.M.ESCO.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar fallas en el proceso de construcción.
- Identificar puntos críticos para realizar ensayos destruictivos y no destruictivos.
- Realizar ensayo de Inspección visual.(VT1), tintas penetrantes, ultra sonido,
- Realizar pruebas de diagnóstico de ensayos de materiales (tintas penetrantes, ultra sonido, Rx)
- Realizar pruebas de personal calificado (Rx)
- Implementar una guía de procesos de control de calidad.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

En nuestra provincia se ha realizado una investigación para encontrar proyectos relacionados con los ensayos destructivos y no destructivos destinados a la industria metal mecánica los cuales no existen, por lo que se ha visto en la necesidad de realizar esta investigación en una empresa de este sector, de ahí el interés de I.M.ESCO por apoyar el proyecto debido a su necesidad de alcanzar niveles de calidad con la utilización de Normas Nacionales e Internacionales siendo pioneros en este campo.

Uno de los principales problemas latentes en nuestro medio es que no existen los equipos necesarios de Rx para realizar las pruebas de este tipo de ensayo. No obstante se lo realizará en la ciudad de Quito en una Empresa dedicada a esta actividad.

2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

Con el avance de la tecnología en la actualidad y los diferentes tipos de ensayos destructivos y no destructivos existentes son de gran utilidad ya que nos permite observar el comportamiento de los materiales para detectar las distintas fallas existentes ya sea superficial o interna.

2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL

El desarrollo de los análisis se los efectuara en base a las normas:

- ASTM A370-03 Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products.
- ASTM E165 Standard Test Method for Liquid Penetrant Examination.
- ASTM E1417 Standard practice for Liquid Penetrant Examination.
- ASTM E114-95R03 Practice for Ultrasonic Pulse-Echo Straight-Beam Examination by the Contact Method.
- ASTM 1065-99R03 Guide for Evaluating Characteristics of Ultrasonic Search Units.
- E94-04 Guide for Radiographic Examination.
- ASTM E18-03 Standar Test Methods for Rocwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials.
- ASTM E92-82 Test Methods for Vickers Hardness of Metallic Materials.
- ASTM E8-01 Standar Test Methods for Tension Testing for Metallic Materials.
- ASTM E9-89a Test Methods of Compression Testing of Metallic Materials at Room Temperature.

2.4 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.4.1 DEFINICIÓN DE ENSAYOS

Cuando un técnico proyecta una estructura metálica, diseña una herramienta o una máquina, define las calidades y prestaciones que tienen que tener los materiales constituyentes. Como hay muchos tipos de aceros diferentes y, además, se pueden variar sus prestaciones con tratamientos térmicos, se establecen una serie de ensayos mecánicos para verificar principalmente la dureza superficial, la resistencia a los diferentes esfuerzos que pueda estar sometido, el grado de acabado del mecanizado o la presencia de grietas internas en el material.

2.4.2 ENSAYOS DESTRUCTIVOS

Son aquellos en donde se realiza una destrucción total o parcial para determinar las propiedades mecánicas y microestructurales de los materiales.

Para nuestras investigaciones los hemos clasificado los Ensayos destructivos de la siguiente manera:

1. Ensayo de tracción.
2. Ensayo de compresión.
3. Ensayo de flexión.
4. Ensayo de dureza.
5. Ensayo de fatiga.
6. Ensayo Metalográfico

2.4.2.1 ENSAYO DE TRACCIÓN

El ensayo de tracción de un material consiste en someter a una probeta normalizada realizada con dicho material a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura de la probeta. En un ensayo de tracción pueden determinarse diversas características de los materiales elásticos:

- **Elasticidad o Módulo de Young:** cuantifica la proporcionalidad anterior.
- **Coefficiente de Poisson:** que cuantifica la razón entre el alargamiento longitudinal y el acortamiento de las longitudes transversales a la dirección de la fuerza.
- **Límite de proporcionalidad:** valor de la tensión por debajo de la cual el alargamiento es proporcional a la carga aplicada.
- **Límite de fluencia o límite elástico aparente:** Valor de la tensión que soporta la probeta en el momento de producirse el fenómeno de la cedencia o fluencia. Este fenómeno tiene lugar en la zona de transición entre las deformaciones elásticas y plásticas y se caracteriza por un rápido incremento de la deformación sin aumento apreciable de la carga aplicada.
- **Límite elástico:** valor de la tensión a la que se produce un alargamiento prefijado de antemano en función del extensómetro empleado.

- **Carga de rotura o resistencia a la tracción:** carga máxima resistida por la probeta dividida por la sección inicial de la probeta.
- **Alargamiento de rotura:** incremento de longitud que ha sufrido la probeta. Se mide entre dos puntos cuya posición está normalizada y se expresa en tanto por ciento.
- **Estricción:** es la reducción de la sección que se produce en la zona de la rotura.

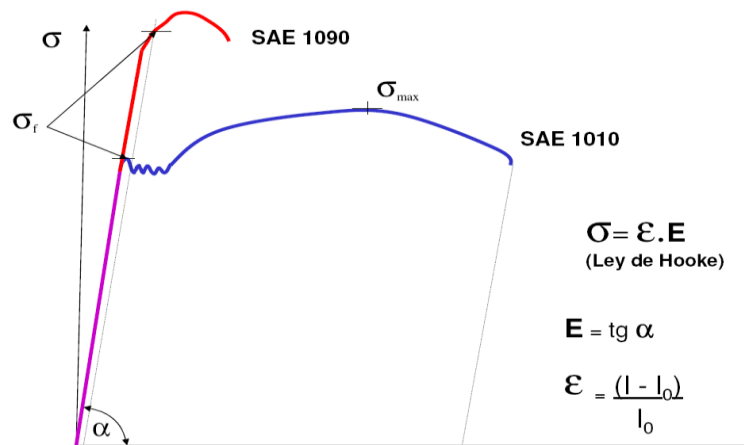


Figura 2.1. Diagrama de tensión.
 Fuente. http://enciclopedia.us.es/index.php/Ensayo_de_tracci3n

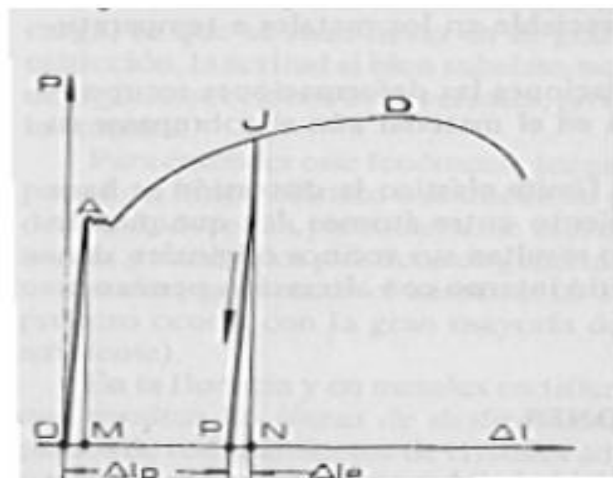


Figura 2.2. Diagrama de Tracción de Ingeniería
 Fuente. <http://auladetecnologias.blogspot.com/2009/10>

Normalmente, el límite de proporcionalidad no suele determinarse ya que carece de interés para los cálculos. Tampoco se calcula el Módulo de Young, éste es característico del material, así, todos los aceros tienen el mismo módulo de elasticidad aunque sus resistencias puedan ser muy diferentes.



Figura 2.3. Fotografía de Máquina Universal
Fuente. www.wikipedia.org/ensayos/tracción/04r

2.4.2.2 ENSAYO DE COMPRESIÓN

Es la fuerza que actúa sobre un material de construcción, suponiendo que esté compuesto de planos paralelos, lo que hace la fuerza es intentar aproximar estos planos, manteniendo su paralelismo (propio de los materiales pétreos).

Los ensayos practicados para medir el esfuerzo de compresión son contrarios a los aplicados al de tensión, con respecto a la dirección y sentido de la fuerza aplicada.

Tiene varias limitaciones:

- Dificultad de aplicar una carga concéntrica o axial.
- Una probeta de sección circular es preferible a otras formas.

La fuerza de cortante o esfuerzo cortante es el esfuerzo interno o resultante de las tensiones paralelas a la sección transversal de un prisma mecánico como por

ejemplo una viga o un pilar. Este tipo de sollicitación formado por tensiones paralelas está directamente asociado a la tensión cortante.

2.4.2.3 ENSAYO DE FLEXIÓN

En ingeniería se denomina flexión al tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. El término "alargado" se aplica cuando una dimensión es preponderante frente a las otras. Un caso típico son las vigas, las que están diseñadas para trabajar, preponderantemente, por flexión. Igualmente, el concepto de flexión se extiende a elementos estructurales superficiales como placas o láminas.

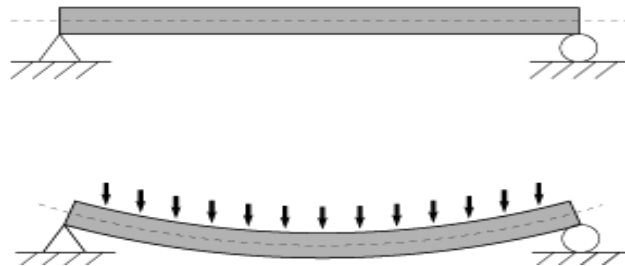


Figura 2.4. Ensayo de Flexión

Fuente http://es.wikipedia.org/wiki/Ensayos_mec%C3%A1nicos_de_los_materiales

El rasgo más destacado es que un objeto sometido a flexión presenta una superficie de puntos llamada fibra neutra tal que la distancia a lo largo de cualquier curva contenida en ella no varía con respecto al valor antes de la deformación. Cualquier esfuerzo que provoca flexión se denomina momento flector.

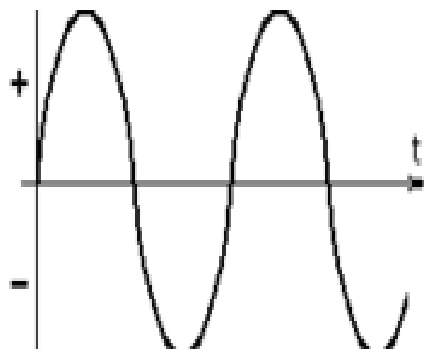


Figura 2.5. Onda senoidal

Fuente. http://es.wikipedia.org/wiki/Ensayos_mec%C3%A1nicos_de_los_materiales

Las vigas o arcos son elementos estructurales pensados para que trabajen predominantemente en flexión. Geométricamente son prismas mecánicos cuya rigidez depende, entre otras cosas, del momento de inercia de la sección transversal de las vigas. Existen dos hipótesis cinemáticas comunes para representar la flexión de vigas y arcos.

Ejemplo de onda senoidal. En este caso hay que imaginar que la tensión representada es una tensión con ciclos de tracción (cuando es positiva) y de compresión (cuando es negativa).

2.4.2.4 ENSAYO DE DUREZA

La dureza de un material es la resistencia que opone a la penetración de un cuerpo más duro. La resistencia se determina introduciendo un cuerpo de forma esférica, cónica o piramidal, por el efecto que produce una fuerza determinada durante cierto tiempo en el cuerpo a ensayar. Como indicador de dureza se emplea la deformación permanente (plástica) En algunos casos, es necesario determinar las características mecánicas de los materiales sin llegar a su destrucción. También podemos determinar la dureza conseguida mediante un tratamiento de dureza. Podemos mencionar los tres tipos de ensayos de dureza más importantes:

2.4.2.4.1 DUREZA ROCKWEL

Fuente:<http://juliocorrea.files.wordpress.com/2007/09/ensayos-dedureza.pdf>

“Para los materiales duros se emplea como elemento de penetración un cono de diamante de ángulo 120°, y para los semiduros y blandos una bolita de acero de 1/16”, deduciéndose la fuerza Rockwell de la profundidad conseguida en la penetración. El cuerpo empleado para la penetración se hace incidir sobre la superficie de la pieza a ensayar con carga previa de 10Kg. La profundidad de penetración alcanzada constituye el valor de partida para la medición de la profundidad de la huella. Después se aumenta en 140Kg la carga aplicada al cono (150Kg), y en 90Kg la aplicada a la bolita (100Kg), bajándose nuevamente el valor previo. Se mide la profundidad de penetración que queda y en la escala del

aparato se lee directamente la correspondiente dureza Rockwell C (HRc) como o la Rockwell B (HRb) bolita.

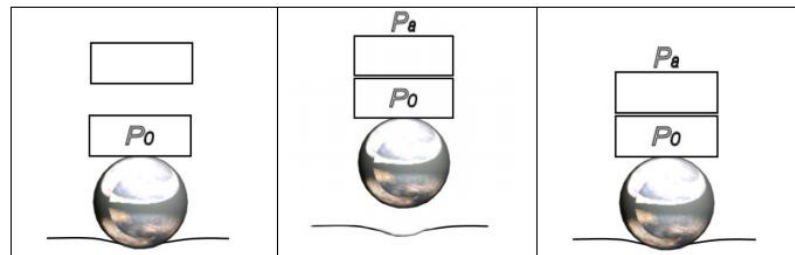


Figura 2.6. Diagrama de aplicación de cargas, dureza Rockwell.
Fuente. <http://juliocorrea.files.wordpress.com/2007/09/ensayos-de-dureza.pdf>

La siguiente es una tabla simplificada de los materiales más comunes que se miden con Rockwell.”

H_B	Penetrador	Cargas (kgf)		Material
		Adicional	Total	
B	Bolilla 1/16"	90	100	Acero blando. Aleaciones de Cu y Al. Fundición maleable
C	cono	140	150	Acero de alta dureza. Fundición perlítica.

Figura 2.7. Tabla de materiales que se miden con dureza Rockwell.
Fuente. <http://juliocorrea.files.wordpress.com/2007/09/ensayos-de-dureza.pdf>

2.4.2.4.2 DUREZA BRINELL

Fuente:<http://juliocorrea.files.wordpress.com/2007/09/ensayos-de-dureza.pdf>

“Se comprime una bola de acero templada, de diámetro (D) 2,5; 5 ó 10mm, contra el material a ensayar con una fuerza P . Después de liberar la carga se mide el diámetro (d) de la huella con un dispositivo amplificador óptico. La dureza Brinell es un valor adimensional resultante de:

$$Hb = \frac{2P}{\pi.D.(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

DONDE:

P : carga aplicada en N (kgf)

D : diámetro del balón en mm.

d : diámetro medio de la huella en mm.

La fuerza del ensayo debe tomarse de magnitud tal que se forme una huella con diámetro $d = 0,2.D$ a $d = 0,7.D$. Para materiales blandos y bolas de ensayo pequeñas, la fuerza del ensayo debe ser menor. Se calcula partiendo del grado de carga y del diámetro de la bola.

$$F = \frac{a.D^2}{0,102}$$

a : Grado de la carga

El grado de la carga para el acero no templado y el hierro fundido es $a = 30$; para metales no férricos y sus aleaciones $a = 10$; para el aluminio y el cinc $a = 5$; para los metales de cojinetes $a = 2,5$; para el plomo y el estaño $a = 1,25$

Diámetro de la esfera D en mm	Carga en Kg			
	$30 D^2$	$10 D^2$	$5 D^2$	$2,5 D^2$
10	3000	1000	500	250
5	750	250	125	62,5
2,5	187,5	62,5	31,2	15,6
Signo abreviado	HB 30	HB 10	HB 5	HB 2,5

Figura 2.8. Cargas y diámetro de esfera para el ensayo de dureza Brinell.
Fuente. <http://juliocorrea.files.wordpress.com/2007/09/ensayos-de-dureza.pdf>

En algunos materiales, la penetración provoca una deformación en la huella, la cual puede llegar a dar una información falsa a la hora de medir el diámetro.



Figura 2.9. Efectos del ensayo con dureza Brinell.
Fuente. <http://juliocorrea.files.wordpress.com/2007/09/ensayos-de-dureza.pdf>

Se sabe experimentalmente que el número de dureza Brinell de casi todos los materiales está influenciado por la carga de penetración, el diámetro del balón y

las características elásticas del mismo. En general debe usarse un balín de 10 mm de diámetro y de una composición química adecuada con cargas de 3000 kgf, 1500 kgf o 500 kgf, dependiendo de la dureza del material que va a probarse. Aunque los números de dureza Brinell pueden variar conforme la carga de prueba usada con el balín de 10 mm, cuando se usen balines más pequeños en probetas delgadas, los resultados de las pruebas generalmente corresponden a los obtenidos con el balín de 10 mm de diámetro.

El número de dureza Brinell seguido del símbolo HB sin sufijos indica las siguientes condiciones de prueba.

Diámetro del balín = 10 mm

Carga = 3000 kgf

Duración de la carga = 10 a 15 segundos.”

2.4.2.4.3 DUREZA VICKER

Fuente:<http://juliocorrea.files.wordpress.com/2007/09/ensayos-dedureza.pdf>

“En este caso se emplea como cuerpo de penetración una pirámide cuadrangular de diamante. La huella vista desde arriba es un cuadrado. Este procedimiento es apropiado para aceros nitrurados y cementados en su capa externa, así como para piezas de paredes delgadas de acero o metales no féreos.

La dureza Vickers (HV) se calcula partiendo de la fuerza en Newton y de la diagonal en mm² de la huella de la pirámide según la fórmula:

$$HV = 1,8544 \cdot \frac{P}{d^2}$$

P: carga aplicada en N

d: Diagonal media de la huella en mm

La diagonal (*d*) es el valor medio de las diagonales de la huella (*d*1) y (*d*2).

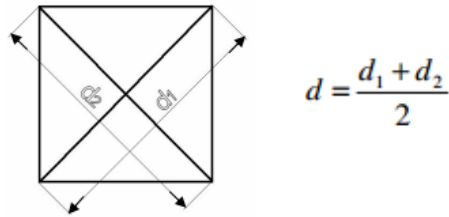


Figura 2.10. Principio de medición de dureza Vickers.
Fuente. <http://juliocorrea.files.wordpress.com/2007/09/ensayos-de-dureza.pdf>

Este ensayo, al igual que el Brinell, se basa en el principio de calcular el valor de dureza relacionando la fuerza de aplicación sobre la superficie de la impresión en el material. Lo hemos simplificado utilizando en este caso el valor de la longitud de la diagonal. Los valores de las cargas más usados van desde 1 a 120 kgs.”

2.4.2.5 ENSAYO DE FATIGA

En ingeniería y, en especial, en ciencia de materiales, la fatiga de materiales se refiere a un fenómeno por el esfuerzo. Aunque es un fenómeno que, sin definición formal, era reconocido desde la antigüedad, este comportamiento no fue de interés real hasta la Revolución Industrial, cuando, a mediados del siglo XIX comenzaron a producir las fuerzas necesarias para provocar la rotura con cargas dinámicas son muy inferiores a las necesarias en el caso está permitido desarrollar métodos de cálculo para el diseño de piezas confiables. Este no es el caso de materiales de aparición reciente, para los que es necesaria la fabricación y el ensayo de prototipos.

2.4.2.5.1.1 Curva S-N

Estas curvas se obtienen a través de una serie de ensayos donde una probeta del material se somete a tensiones cíclicas con una amplitud máxima relativamente grande (aproximadamente 2/3 de la resistencia estática a tracción). Se cuentan los ciclos hasta rotura. Este procedimiento se repite en otras probetas a amplitudes máximas decrecientes.

Los resultados se representan en un diagrama de tensión, S, frente al logaritmo del número N de ciclos hasta la rotura para cada una de las probetas. Los valores de S se toman normalmente como amplitudes de la tensión.

Se pueden obtener dos tipos de curvas S-N. A mayor tensión, menor número de ciclos hasta rotura. En algunas aleaciones férricas y en aleaciones de titanio, la curva S-N se hace horizontal para valores grandes de N, es decir, existe una tensión límite, denominada límite de fatiga, por debajo del cual la rotura por fatiga no ocurrirá.

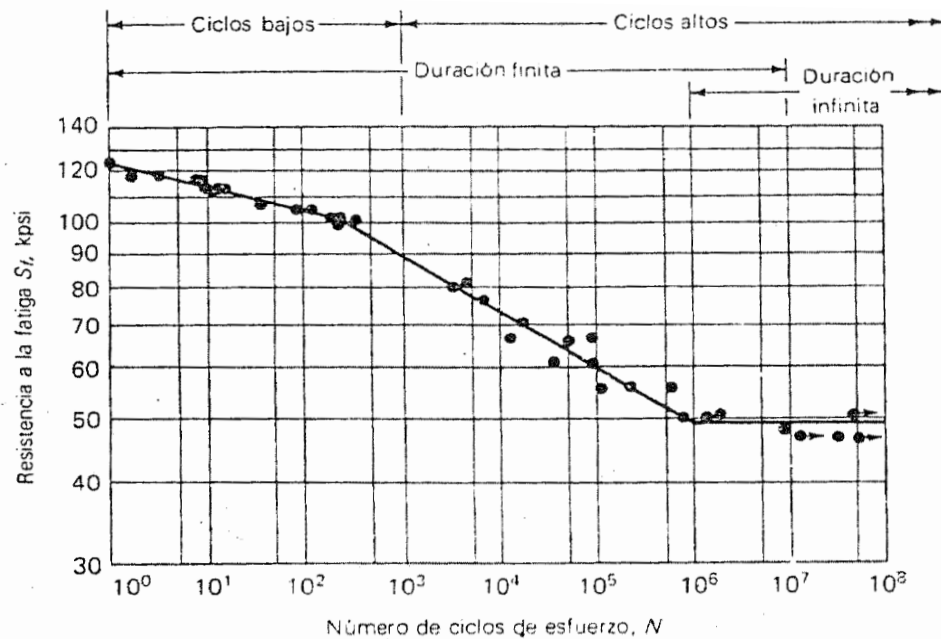


Figura 2.11. Diagrama S-N del acero UNS G41300.

Fuente. Diseño en Ingeniería Mecánica. Joseph E. Shygly. Octava Edición.

Suele decirse, de manera muy superficial, que muchas de las aleaciones no férricas (aluminio, cobre, magnesio, etc.) no tienen un límite de fatiga, dado que la curva S-N continúa decreciendo al aumentar N. Según esto, la rotura por fatiga ocurrirá independientemente de la magnitud de la tensión máxima aplicada, y por tanto, para estos materiales, la respuesta a fatiga se especificaría mediante la resistencia a la fatiga que se define como el nivel de tensión que produce la rotura después de un determinado número de ciclos. Sin embargo, esto no es exacto: es ingenuo creer que un material se romperá al cabo de tantos ciclos, no importa cuán ridículamente pequeña sea la tensión presente.

Además, el conocimiento del comportamiento a fatiga no es igual en todos los materiales: el material mejor conocido, más ensayado y más fiable en cuanto a predicciones a fatiga es la familia de los aceros. De otros materiales metálicos de

uso común como el aluminio, el titanio, aleaciones de cobre, níquel, magnesio o cromo, se dispone de menos información (decreciente ésta con la novedad de la aleación), aunque la forma de los criterios de cálculo a fatiga y de las curvas S-N parece regular, y es parecida a la de los de los aceros, y se considera que su fiabilidad es alta. Para materiales cerámicos, por el contrario, se dispone de muy poca información, y de hecho, el estudio de la fatiga en ellos y en polímeros y materiales compuestos es un tema de candente investigación actual.

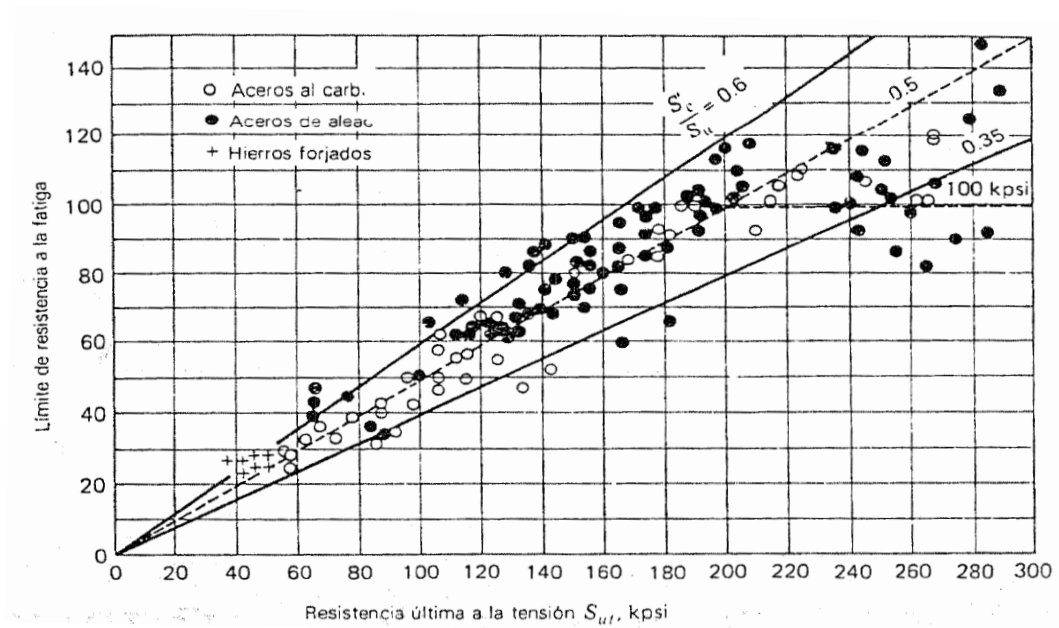


Figura 2.12. Gráfica de límites de resistencia a la fatiga contra resistencia a la tensión de aceros al carbono, aceros de aleación y hierros forjados.

Fuente. Diseño en Ingeniería Mecánica. Joseph E. Shyngle. Octava Edición.

En todo caso, existe una diferencia notable entre la teoría y la realidad. Esto conduce a incertidumbres significativas en el diseño cuando la vida a fatiga o el límite de fatiga son considerados. La dispersión en los resultados es una consecuencia de la sensibilidad de la fatiga a varios parámetros del ensayo y del material que son imposibles de controlar de forma precisa. Estos parámetros incluyen la fabricación de las probetas y la preparación de las superficies, variables metalúrgicas, alineamiento de la probeta en el equipo de ensayos, tensión media y frecuencia de carga del ensayo.

Aproximadamente la mitad de las probetas ensayadas se rompen a niveles de tensión que están cerca del 25% por debajo de la curva. Esto suele asociarse a la

presencia de fuentes de concentración de tensiones internas, tales como defectos, impurezas, entallas, ralladuras, que han permanecido indetectadas.

Se han desarrollado técnicas estadísticas y se han utilizado para manejar este fallo en términos de probabilidades. Una manera adecuada de presentar los resultados tratados de esta manera es con una serie de curvas de probabilidad constante.

2.4.3 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Los ensayos no destructivos (de aquí en adelante END) son métodos de ensayos tecnológicos utilizados en el Control de Calidad de materiales, aparatos y estructuras, como así también en el Aseguramiento de Calidad. Su nombre significa que el ensayo para la evaluación de propiedades, ubicación de discontinuidades, etc. se realiza sin producir marcas y sin destruir la pieza o sea, no quitando aptitud para el servicio al objeto de ensayo.

De ahí que los factores más relevantes de este tipo de ensayos son:

a) Mejoramiento en las técnicas de manufactura

Cuando se quiere hacer un producto con una calidad definida, de antemano se realiza una pieza y/o producto de prueba, usando una técnica de manufactura planificada, para confirmar si esta es la apropiada. A continuación se aplican END sobre el producto para juzgar si se obtiene la calidad deseada y, si fuese necesario, mejorar la técnica de fabricación. Finalmente se puede confirmar la técnica de fabricación para obtener el producto con la calidad predefinida.

b) Reducción de los costos de producción

Generalmente uno piensa que los costos de inspección por la ejecución de END incrementarán los costos del producto. Esto es posible, aunque los costos de producción se pueden reducir por los siguientes procedimientos:

- 1.- De antemano decidimos las condiciones de manufacturación del producto para que tenga una definida calidad.

2.- Aplicamos los END apropiados al producto, cada vez que los procesos de manufactura pueden afectar la calidad de este.

3.- Controlamos el proceso de manufactura para confirmar la calidad del producto.

Con la aplicación de estos procedimientos es posible detectar, en las etapas intermedias del proceso, los errores de manufactura que llevarán a productos no aceptables, pudiéndolos descartar de antemano. Se piensa que los END adicionarán más etapas y costos, pero este será mayor si tuviéramos que reparar estructuras, pagar por roturas, paradas de producción y accidentes (debido a la no aplicación de END durante la operación).

Las etapas y costos por END son muy pequeños cuando son comparados con los mencionados arriba. También se pueden reducir los costos de producción cuando se reparan estructuras durante el proceso, puesto que la reparación es más sencilla y no interfiere en el proceso de manufactura.

c) Aumento en la confiabilidad

La definición de confiabilidad depende de los tipos y propósitos de uso de los productos.

La confiabilidad en los productos industriales usuales puede considerarse como la relación entre el período verdadero durante el cual el producto ha estado operando y el período esperado durante el cual el producto operará bajo situaciones satisfactorias y sin ningún problema.

La razón por la cual no podemos usar el producto sin ningún inconveniente, es debido al diseño, materiales, manufacturación, la forma de uso de las piezas o componentes y a desastres que no se pueden anticipar. Nosotros tenemos que reducir la probabilidad de que ocurra los hechos anteriormente mencionados, excepto por desastre.

Podemos usar los END como un buen método para reducir la probabilidad de problemas y son útiles en materiales de productos de acuerdo a normas

apropiadas. Si nosotros reconocemos los problemas, podemos reparar, reforzar y/o cambiar los objetos reduciendo así la posibilidad de rotura de los productos.

También se pueden aplicar END en aparatos y estructuras en servicio o reparadas y por medio de la exanimación de defectos internos y superficiales, evaluar su aptitud para el servicio. Estos procedimientos llevan a un aumento de la confiabilidad siempre y cuando los métodos de END aplicados sean los apropiados.

d) Campos de aplicación de los END

Es necesario prestar atención a los siguientes dos puntos cuando se desea aplicar END en la evaluación de la calidad y en la evaluación de vida.

1. Ya que no podemos obtener directamente la resistencia de materiales con END podemos obtener de antemano los datos a través de ensayos destructivos. tales como ensayos de tracción, ensayo de plegado, ensayos de fatiga y ensayos de tenacidad a la fractura. Luego, comparar los resultados obtenidos por END con los obtenidos por ensayos destructivos y realizar la evaluación.
2. Se deben comparar los datos obtenidos en dos momentos diferentes de la vida de un componente siempre y cuando se usen los mismos métodos y técnicas de END, de otra forma los resultados de la evaluación pueden ser erróneos.

e) Evaluación de Calidad

La inspección durante la manufactura de los materiales, aparatos y estructuras se ejecuta para evaluar la calidad de estos. Esto significa que el objetivo de la inspección es confirmar si los productos están siendo manufacturados de acuerdo a normas y/o especificaciones, y si satisfacen la calidad requerida. Los END son métodos útiles para alcanzar la calidad basados en un criterio de juzgamiento. El criterio de límites de control de calidad, debería estar basado tanto en probadas teorías como en considerar de que no habrá roturas accidentales si el producto está en servicio bajo condiciones de diseño.

f) Evaluación de Vida útil

La inspección periódica que se ejecuta en productos en servicio es la que evalúa si la pieza es capaz de ser usada (seguramente) hasta la próxima inspección. Esto se realiza para determinar la vida del producto.

El objetivo de la inspección de mantenimiento e inspección en servicio es el mismo que en la inspección periódica.

Es necesario, en estas inspecciones, determinar con anticipación el tiempo en que una fisura detectada propagará hasta la próxima inspección considerando la clase, forma, dimensiones, localización de iniciación, magnitud de tensiones, su dirección, y decidir la necesidad de reparación .

La mecánica de fractura se usa ampliamente para evaluar la vida del producto.

De todo lo descrito los END incluyen el Ensayo Visual (EV), el radiográfico (ER), ultrasónico (EU) y Ensayo con Líquidos Penetrantes (EP), los cuales son primordiales en el presente estudio. La selección de cada método de ensayo depende del propósito que se busque, por lo que será necesario seleccionar entre ellos, el que mejor se adapte para cada caso, aplicando el procedimiento adecuado.

2.4.3.1 INSPECCIÓN VISUAL

Aunque sea el más modesto, siempre se realiza como fase previa a otros Ensayos más sofisticados. Facilita el trabajo posterior y establece la secuencia de trabajo. Es por tanto el más empleado por su sencillez, rapidez y economía de aplicación.

De acuerdo con las características del sistema de percepción visual puede reunirse los requisitos y condiciones necesarias para la realización de una inspección visual correcta en las etapas siguientes puesto que no puede emprenderse un trabajo de este tipo sin tener la seguridad de que el personal que lo realice no tenga una visión defectuosa.

2.4.3.1.1 PROCEDIMIENTO:

- Visión ocular directa
- Visión ocular utilizando medios auxiliares
- Verificación de las medidas de la tolva

2.4.3.1.2 MEDIOS ÓPTICOS AUXILIARES

Son instrumentos que remedian las limitaciones de agudeza visual del inspector.

Pueden ser:

- Proyectores de perfiles: permiten mejorar las condiciones de observación de piezas pequeñas.
- Endoscopios: permiten la inspección visual directa del interior de cavidades y superficies internas en general.
- Lupas: permiten una visión ampliada de la superficie.
- Comparador de superficie: es una lupa que permite comparar el acabado de una superficie con otra que se utiliza como referencia.
- Cintas métricas y reglas: son instrumentos que se emplean para comprobar que los equipos inspeccionados son dimensionalmente correctos.
- Galgas: son instrumentos que permiten verificar el correcto montaje y menciones finales de los cordones de soldadura.
- Falsas escuadras: son instrumentos que permiten verificar tanto la dimensión como la alineación de boquillas e injertos.
- Equipos para medir temperaturas: son instrumentos que permiten medir la temperatura de precalentamiento y la temperatura entre pasadas.

2.4.3.1.3 TIPOS DE EXÁMENES VISUALES

Los cuatro tipos de examen visual que determina el código ASME XI son:

Tipo VT-1. Se realizarán para determinar el estado general del componente.

Tipo VT-2. Se realizarán para determinar y localizar la evidencia de fugas en los componentes que retienen presión.

Tipo VT-3. Se realizarán para determinar el estado mecánico y estructural de los componentes y sus soportes.

Tipo VT-4. Se realizará para determinar el estado de operatividad de los componentes o dispositivos (actualmente se acepta que este grupo quede englobado dentro del VT-3).

A continuación se describen los procesos de examen visual nombrados anteriormente, según se recoge en ASME XI sub artículo IWA 2210.

2.4.3.1.3.1 Examen Visual VT-1

Se realizará este tipo de inspección para determinar el estado del componente, parte o superficie incluyendo la detección de grietas, desgaste, corrosión, erosión o cualquier daño físico de las superficies objeto del examen. Para esta categoría de examen se pueden usar espejos que mejoren el ángulo de visión. También se pueden sustituirlos exámenes directos por medios auxiliares como telescopios, fibras ópticas, cámaras, lupas, etc. siempre que los mismos tengan una resolución equivalente a la obtenida por examen directo.

2.4.3.1.3.2 Examen Visual VT-2

Este procedimiento se aplicará durante la ejecución de pruebas de presión funcionales o de sistemas, para localizar indicaciones de fugas en los componentes que retienen presión, o fugas anormales en los componentes con sistemas recolectores de fugas.

2.4.3.1.3.3 Examen Visual VT-3

Se realizará un examen VT-3 para determinar el estado general mecánico y estructural de los componentes y sus soportes, incluyendo detección de partes sueltas, productos de corrosión anormal, desgastes, erosión, corrosión y pérdida de integridad de las conexiones soldadas y atornilladas. En esta inspección se aplicará, si es pertinente, la medición de huelgos, detección de desplazamientos y asentamientos, conexiones entre miembros estructurales portantes de carga, etc. En soportes e interiores de componentes, se puede realizar una inspección visual remota, al objeto de determinar la integridad estructural, siempre que la resolución

alcanzada por la técnica sea, al menos, equivalente a la de una inspección visual directa.

2.4.3.1.3.4 Examen Visual VT-4

Este examen se realizará para la determinación del estado de operatividad de componentes o dispositivos como amortiguadores hidráulicos o mecánicos, soportes de bombas, bombas, válvulas y soportes colgantes de carga constante o variable. El objeto del análisis es confirmar la adecuación funcional, verificación del montaje o libertad de marcha. Este examen puede requerir, eventualmente, desmontaje de componentes y/o pruebas de operatividad.

2.4.3.1.3.5 Características técnicas

Debido a que la efectividad de la aplicación de los ensayos no destructivos depende de los conocimientos y aptitudes de las personas que realizan o son responsables de los ensayos, se desarrolla un procedimiento para evaluar y documentar la competencia del personal, cuyas tareas requieren los conocimientos teóricos y prácticos apropiados sobre los ensayos no destructivos que ejecutan, especifican, supervisan, monitorean o evalúan

La Determinación del estado de integridad general de una parte o componente, incluyendo la detección de grietas, desgaste, corrosión, erosión o cualquier daño físico en sus superficies. Detección de fugas de los componentes que retienen presión y posible camino de la fuga que pueda afectar a la integridad o correcta operatividad del mismo y de otros componentes.

2.4.3.2 ENSAYO RADIOGRÁFICO

La radiografía Industrial es un método no destructivo para inspeccionar piezas u objetos, en búsqueda de discontinuidades o defectos especialmente internos.

El método se basa en la mayor o menor transparencia a los rayos X o Gamma de los materiales según su naturaleza y espesor. El objeto es irradiado, la radiación atraviesa el material siendo absorbida parcialmente por él y emerge con distintas intensidades las que son interceptadas por un film fotográfico. Luego del

procesado de la película, se evalúa la imagen y los defectos. En el ensayo radiográfico se usan principalmente los rayos X y los rayos Gamma que son ondas electromagnéticas que tienen casi las mismas propiedades físicas, pero difieren en su origen. Estos rayos tienen la capacidad de penetrar los objetos, y su penetrabilidad depende del tipo de material, espesor, densidad del objeto, y de la existencia de defectos en la pieza.

El ensayo radiográfico es el método para examinar defectos y se basa en el cambio en la intensidad de los Rayos X emergentes de la pieza usando como medio de registro un filmo un sistema de TV de Rayos X. La Fig. 2.14 muestra un esquema de un ensayo radiográfico.

Ya que las formas y dimensiones de los defectos tridimensionales son convertidas a una imagen en dos dimensiones sobre la película radiográfica el coeficiente de absorción de un objeto es un factor importante. El coeficiente de absorción disminuye con la energía de los Rayos X y se incrementa con el número atómico del material del objeto, por lo que se deberá aumentar la energía del tubo a medida que los espesores de las piezas aumenten o los materiales sean más absorbentes.



Figura 2.13. Radiografía Industrial
Fuente. <http://www.arotec.net/ensayos%20ND.html>

Otro factor importante en ensayos radiográficos es la dispersión de los RX. La dispersión depende del voltaje del tubo. Cuando este es alto la diferencia entre la dirección de los RX dispersados con respecto a los incidentes es pequeño. La

relación de la intensidad de los RX dispersados con respecto a los incidentes disminuye con el voltaje del tubo.

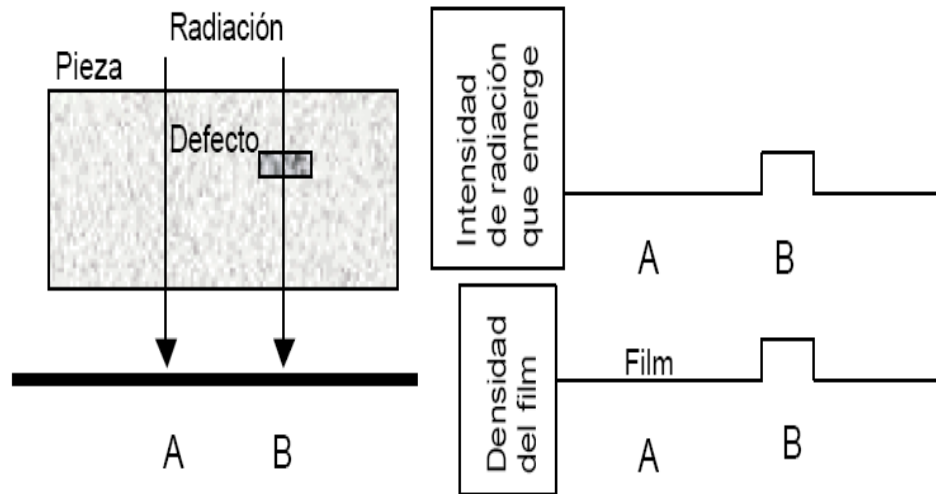


Figura 2.14. Representación Esquemática de un Ensayo Radiográfico
Fuente. <http://www.arotec.net/ensayos%20ND.html>

Donde:

- I: Intensidad de radiación (I_A e I_B emergentes en A y B respectivamente; I_0 : incidente)
- μ : Coeficiente de absorción.
- T: espesor de la pieza
- ΔT : espesor del defecto

En el ensayo radiográfico se debe obtener un film con alta calidad de imagen. Esto se controla radiografiando la pieza con un Indicador de calidad de imagen (ICI) como una medida de la calidad radiográfica. Un tipo de ICI tiene 7 hilos de diferentes diámetros que cambian en proporción geométrica. La sensibilidad del ICI se obtiene dividiendo el diámetro del alambre visible más pequeño con respecto al espesor del objeto.

2.4.3.2.1 CARACTERÍSTICAS:

En un ensayo radiográfico se puede obtener en la película la proyección de un defecto (en dos dimensiones) y así evaluar el tipo y dimensiones del mismo. El ensayo radiográfico puede detectar defectos internos y ha sido ampliamente usado y adoptado en muchas normas. Además se puede conservar las películas como una evidencia objetiva.

El ensayo radiográfico tiene la capacidad de detectar defectos tridimensionales tengan un volumen superior al 3% relativo al espesor del objeto, en la dirección de los rayos incidentes. En el caso de fisuras que son el tipo de defecto más perjudicial para un producto, es posible detectarla si está ubicada aproximadamente paralela a la dirección de los rayos incidentes, pero se vuelve dificultoso si la fisura tiene más de 15° en la dirección de los rayos incidentes.

2.4.3.3 ENSAYO DE ULTRASONIDO

Los Ultrasonidos son utilizados en Ensayos No Destructivos para identificar y caracterizar daños internos, pero también para medir espesores residuales con corrosión o erosión, o para caracterizar interfaces coladas o soldadas.

Las ondas ultrasónicas tienen la propiedad de propagarse en la pieza y ser reflejadas parcial o totalmente por un reflector (un defecto o fondo de la pieza). Es así que por medio de este ensayo detectamos discontinuidades que a simple vista no se observa.



Figura 2.15. Equipo de ultra sonido
Fuente. Laboratorios UTA-FICM

Comúnmente las ondas ultrasónicas utilizadas detectan discontinuidades que tengan un tamaño mayor a la mitad de la longitud de onda. La longitud de onda es

inversamente proporcional a la frecuencia, por lo que es posible detectar defectos más pequeños si se usan ondas ultrasónicas de mayor frecuencia.

$$\lambda = c / f$$

Dónde:

λ : longitud de onda;

c: Velocidad del sonido;

f: frecuencia

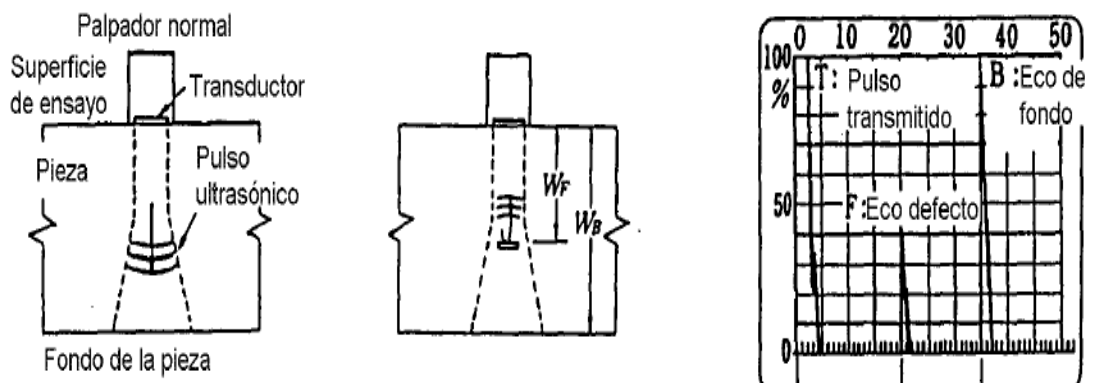


Figura 2.16. Características Esquemáticas de un Ensayo Ultrasónico.

Fuente. <http://www.tecnimetalsa.es/>

Un pulso de voltaje generado en el controlador ultrasónico se aplica al palpador el que produce un pulso de ondas ultrasónicas que se propagan en el objeto. La parte de las ondas que se refleja en el defecto vuelve al palpador y es mostrado en un TRC (Tubo Rayos Catódicos) como un eco. Se evalúa el defecto por la localización y amplitud del eco.

2.4.3.3.1 PALPADORES

Todos los palpadores utilizados en el ensayo de ultrasonido, no destructivo de materiales, operan sobre la base del efecto piezoeléctrico. El transductor, muchas veces designado genéricamente pero equivocadamente como cuarzo recibe un corto impulso eléctrico. La oscilación del cristal decae lentamente en su propia frecuencia

de resonancia como ocurre en el caso de una campana tañida brevemente (Fig.2.17). Esta frecuencia propia surge para la oscilación fundamental, de la ecuación:

$$f_0 = \frac{C}{2d}$$

Dónde:

f_0 : Velocidad del sonido en el material del transductor

C : Frecuencia natural

d : Espesor del cristal

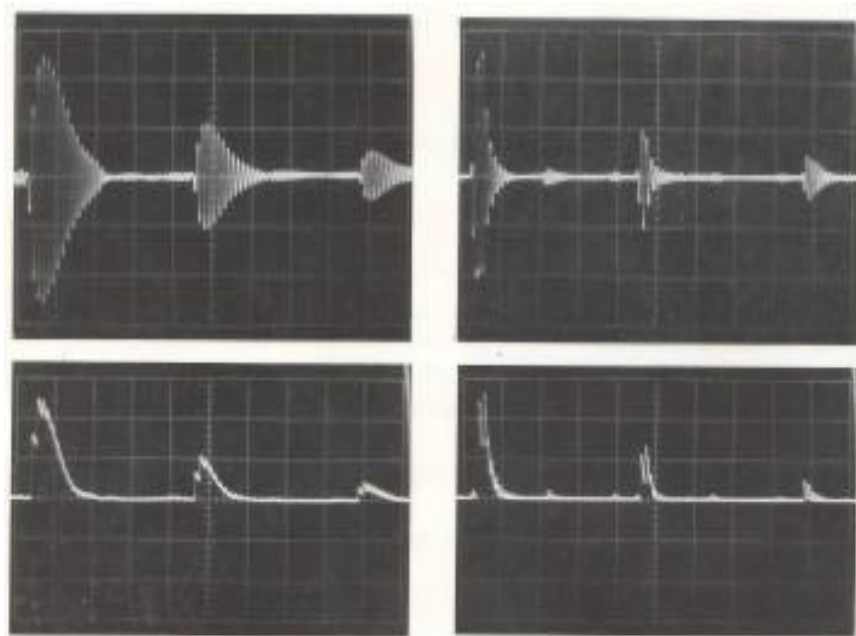


Figura. 2.17. Arriba: Vibración de un cristal débilmente atenuado y de otro fuertemente atenuado. Abajo: La misma señal sobre la pantalla del TRC después de rectificadas y filtradas. Fuente. Universidad Nacional del Comahue, Facultad de Ingeniería, Laboratorio de Ensayos No destructivos, folleto 1 de Ultrasonidos.

Ahora bien, como en el procedimiento de impulso-eco, el cristal, eventualmente debe, tras un intervalo extremadamente corto, funcionar otra vez como receptor, es preciso obtener en el menor tiempo posible la atenuación de las oscilaciones inductivas. Pero esta atenuación no deberá ser demasiado fuerte tal que reduzca pronunciadamente la sensibilidad del palpado. Desafortunadamente el requisito de alta sensibilidad de respuesta y, al mismo tiempo, pulsos estrechos dando alta

resolución se oponen mutuamente. El término resolución designa la capacidad de respuesta del palpador, para dar indicaciones separadas de dos discontinuidades muy próximas entre sí, en forma claramente separados en la pantalla del osciloscopio. Además esto se distingue entre resolución próxima y resolución lejana. Estas expresiones se refieren a la distancia desde el transmisor de pulsos (oscilador) y pueden ser diferentes.

- a) Con un oscilador débilmente atenuado se obtiene una alta potencia y sensibilidad pero, a causa de lo ancho de los impulsos un menor grado de resolución.
- b) Con un oscilador fuertemente atenuándose obtiene una alta resolución (pulsos angostos) y potencia y sensibilidad decreciente.

El poder de resolución también depende del material del transductor. Los esfuerzos de los constructores de los palpadores tienden hacia un compromiso lo más ventajoso entre otros factores condicionantes. En parte hay palpadores contruidos especialmente o para alta potencia o para alta resolución. Para transmitir una cantidad suficiente de energía sonora a la pieza que se ensaya, es necesario que el transductor genere unas pocas vibraciones de alta frecuencia.

2.4.3.3.2 DESCRIPCIÓN DE PALPADORES ULTRASÓNICOS

2.4.3.3.2.1 El palpador normal

El nombre de "Palpador normal", deriva de la dirección en que las ondas ultrasónicas viajan en la pieza (la dirección perpendicular a la superficie de un objeto se conoce como la dirección "normal"). El cristal del transductor tiene metalizadas las caras para poder aplicarle pulsos eléctricos. Una de esas caras se pega al cuerpo amortiguador, la otra puede bien ser acoplada directamente a la pieza a ensayar (cristal sin protección), o estar cubierta con una capa de material plástico o cerámico. Las características del tamaño del palpador dependen de las propiedades de amortiguamiento o cuerpo de atenuación. Los alambres de conexión, soldados a las caras plateadas del cristal, suben pasando junto al cuerpo amortiguador hacia una pequeña bobina que realiza la adaptación eléctrica entre el

oscilador y el emisor de impulsos. Dos alambres adicionales van a la ficha en que se inserta el cable.

Los palpadores para la técnica por inmersión tienen en lugar de ficha, un enchufe directo, fijamente fundido, para el cable. La unidad compuesta por el oscilador, el cuerpo amortiguador y la bobina es también llamada "Inserto" o "Nob", y va alojada en una carcasa metálica puesta a tierra (Fig.2.18).

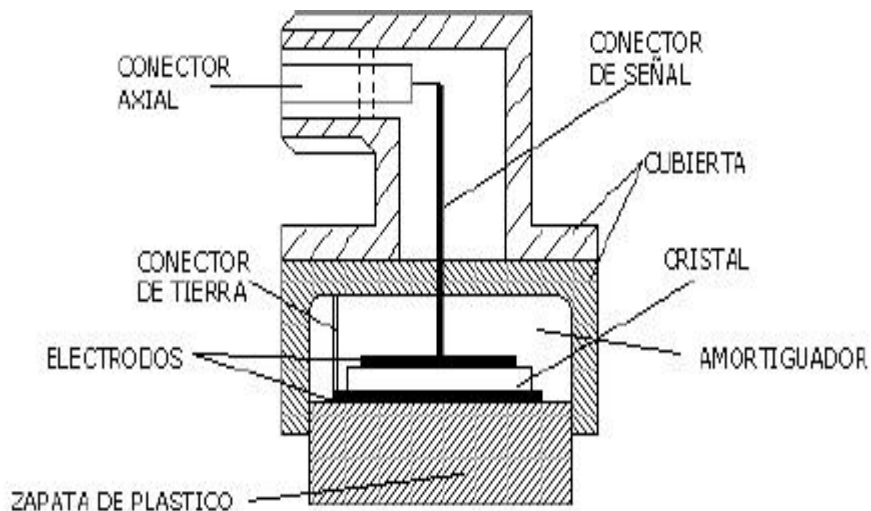


Figura. 2.18. Palpador normal con suela protectora (esquema)

Fuente. <http://es.scribd.com/doc/52654791/22/Palpadores-de-Doble-Cristal-Uno-Emisor-y-Otro-Receptor-Tipo-E-R>

2.4.3.3.2.2 Palpadores de doble cristal.

Los palpadores de doble cristal combinan dos sistemas de palpadores completos, en una sola carcasa. Una barrera acústica entre los dos sistemas evita la transmisión de uno a otro dentro del palpador, mientras que uno actúa como emisor, y el otro como receptor. Por esto, el sistema se puede asumir como una combinación del método de transmisión y reflexión. Entre los cristales y la superficie de la pieza que se ensaya hay lo que se llaman "líneas de retardo" construidos de plástico, para superficies calientes, de material cerámico resistente al calor, lo que hace que el pulso transmisor no coincida con el punto cero de la pantalla, correspondiendo a la superficie de la pieza como se conoce con el uso de palpado normal.

El pulso transmisor aparece a la izquierda del punto cero y, cuando se lleva a cabo la calibración, esta señal queda afuera del campo de observación. La propagación ultrasónica como muestra la figura 2.12 explica el principio:

La onda ultrasónica generada por el transmisor T primero atraviesa el bloque plástico y llega a la superficie límite entre éste y la pieza, donde una parte del haz es reflejado hacia el cristal transmisor. Como éste no está conectado con la sección receptora del equipo, la onda sonora reflejada no es indicada (esto sucedería si el palpador fuera normal). La otra parte de la onda que fue transmitida dentro de la pieza que se ensaya, viaja hasta la superficie trasera donde se refleja y vuelve a la superficie donde, nuevamente una parte es transmitida hacia el bloque plástico del receptor y llegando al transductor R, causa en él el primer eco de fondo. Una parte de la onda ha sido reflejada en la superficie forzándola a recorrer la pieza por segunda vez antes de entrar en el bloque plástico y generar así el segundo eco de fondo. El mismo fenómeno sucede varias veces, lo que causa un tercer, cuarto, etc. ecos de fondo.

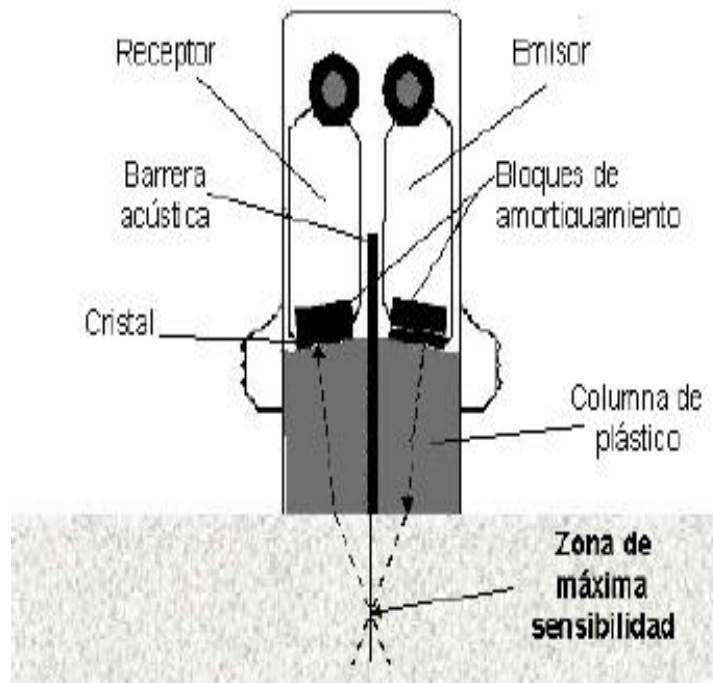


Figura 2.19. Palpador con doble cristal (esquema)

Fuente. <http://es.scribd.com/doc/52654791/22/Palpadores-de-Doble-Cristal-Uno-Emisor-y-Otro-Receptor-Tipo-E-R>

2.4.3.3.2.3 Palpador angular.

El palpador angular consiste esencialmente de un cristal cementado a una cuña de plexiglás. De esta forma se consigue una incidencia oblicua sobre la superficie de la pieza. Los haces reflejados vuelven a la cuña plástica y, o son absorbidos por un atenuador convirtiéndose en calor, o se evita el retorno al transductor con una adecuada forma de la cuña para evitar causar indicaciones de ecos perturbadores. Dentro de la pieza se propagarán la onda longitudinal refractada y, adicionalmente, la nueva onda transversal generada. De acuerdo con la ley de refracción, estos dos tipos de ondas tendrán también, debido a sus diferentes velocidades, diferentes direcciones.

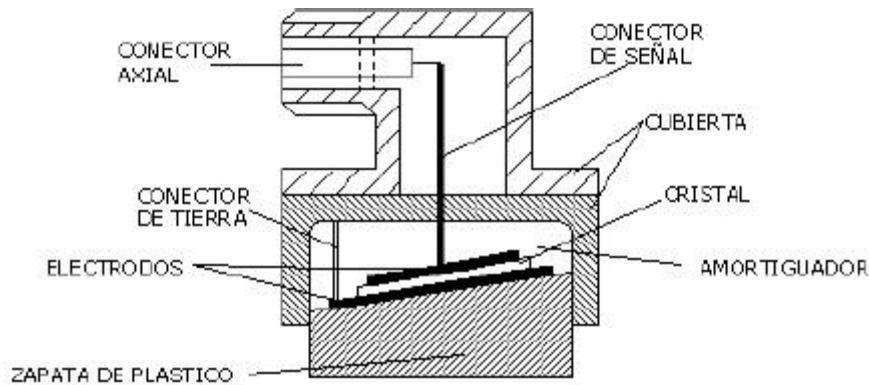


Figura 2.20. Palpador angular (esquema)

Fuente. <http://es.scribd.com/doc/52654791/22/Palpadores-de-Doble-Cristal-Uno-Emisor-y-Otro-Receptor-Tipo-E-R>

En la práctica son comúnmente usados los ángulos de 35°, 45°, 60°, 70°, 80° y 90° (palpador de onda superficial). Ángulos menores a 35° son debido a la ambigüedad de las indicaciones, sólo usados en la solución de problemas especiales.

2.4.3.3.3 BLOQUES PATRONES DE CALIBRACIÓN Y DE REFERENCIA

2.4.3.3.3.1 Bloques de calibración

Los bloques de calibración en el ensayo por contacto se usan para comprobar el funcionamiento del equipo ultrasónico y del transductor, y para efectuar la

regulación del instrumento a fin de que éste se adapte a las condiciones del ensayo. Permite la verificación de distancias conocidas y relaciones angulares; verificación del ángulo y del punto de salida de haz en un palpador angular; verificación de la resolución del palpador, etc. Los bloques de "calibración", algunas veces son incorrectamente llamados bloques de "referencia" porque contienen discontinuidades artificiales de dimensiones y profundidades conocidas.

2.4.3.3.2 Bloques normalizados de referencia

En el examen por ultrasonido, todas las indicaciones de discontinuidades (ecos) son generalmente comparados con bloques normalizados de referencia. El bloque de referencia ideal debe ser un trozo de la misma pieza que vamos a verificar o bien debe estar constituido del mismo material. Algunos bloques se utilizan para la prueba de contacto, otros para el ensayo por inmersión y otros se utilizan para ambos.

Aquí se presentaran algunos de los más comúnmente utilizados. Un bloque típico se describe en la figura 2.21.

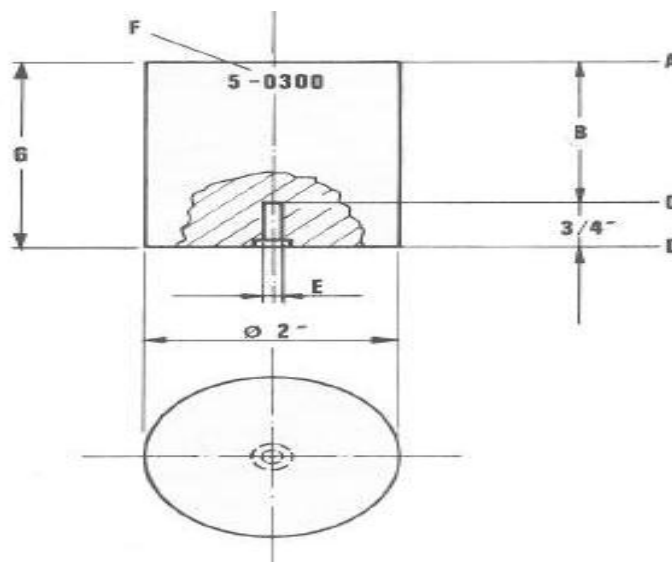


Figura 2.21. Bloque de calibración ASTM
Fuente. ASTM Handbook Vol 17

Dónde:

E: diámetro del orificio de fondo plano

B: Distancia entre la superficie de apoyo del palpador y el orificio de fondo plano.

G: altura total del bloque.

La mayoría de los bloques tienen las siguientes características comunes:

- 1.- Están fabricados con material cuidadosamente seleccionado.
- 2.- El material debe tener una atenuación, tamaño de grano y tratamiento térmico apropiado y libre de fallas.
- 3.- Todas sus dimensiones deben ser mecanizadas en forma precisa.
- 4.- Todos los orificios deben ser de fondo plano y tener el diámetro especificado para ser un reflector ideal.
- 5.- Los diámetros y largos de los orificios laterales deben ser cuidadosamente controlados.

Normalmente son utilizados tres juegos de bloques de referencia:

- 1.- Bloques de referencia de área y amplitud.
- 2.- Bloques de referencia de amplitud y distancia.
- 3.- Juego básico ASTM de área-distancia y amplitud.



Figura 2.22. Bloque de calibración TwiLight

Fuente. <http://www.twilight.mx/Medidores-de-Espesor/Medidores-de-Espesor-Positector-DF-UTG.html>

2.4.3.3.4 CARACTERÍSTICAS

Dado que la transmisibilidad de ondas ultrasónicas es buena cuando el tamaño de los granos cristalino del material en ensayo es pequeño, es posible aplicar US para detectar pequeños defectos en forjados de algunos metros de diámetro. Cuando el tamaño de grano es más grande la onda ultrasónica es dispersada por los bordes de grano y así atenuada. En algunos casos, debido a que las ondas dispersadas producen ecos de fondo (ruido), no es posible la detección.

La detectabilidad de un defecto depende mayormente de su forma y orientación. Esto significa que puede obtenerse un eco de gran amplitud cuando la onda incide en un defecto plano (tal como una fisura) y en forma perpendicular a la superficie. Por el contrario, se obtienen ecos pequeños cuando el defecto es esférico tal como un “blowhole”, debido a que la onda ultrasónica es dispersada en muchas direcciones por su superficie.

Las condiciones de contacto entre el palpador y la superficie de la pieza de ensayo, la rugosidad de la superficie y el acoplante afectan también la amplitud del eco siendo esto uno de los puntos más débiles del ensayo ultrasónico.

El US es usado principalmente para detectar defectos internos pero los principios son diferentes a los del ensayo radiográfico. En ensayos de soldaduras, la detectabilidad de fisuras muy angostas, falta de penetración y falta de fusión es superior al ensayo radiográfico. Sin embargo, la determinación de qué tipo de defecto se está observando, depende de la habilidad y experiencia del operador.

La norma que se utilizan son:

- E 114 – 95 (Reapproved 2001)
- E 1065 – 99 R03

En general el registro que se obtiene es inferior al de radiografía.

2.4.3.4 ENSAYO DE LÍQUIDOS PENETRANTES

Cuando se quiere detectar defectos muy finos, se los debe magnificar con un método apropiado para su visualización. En el ensayo por líquidos penetrantes las

indicaciones se magnifican debido a la capacidad de absorción del revelador (pequeñas partículas que se aplican sobre la superficie de la pieza) que actúa sobre el penetrante que ha quedado retenido en las discontinuidades, y extrayéndolo a la superficie.



Figura 2.23. Líquidos penetrantes

Fuente: <http://www.precisiontools.com.mx/proddetail.php?prod=603-SK416>

Se puede luego observar fácilmente la indicación del defecto usando ya sea penetrantes coloreados o fluorescentes.

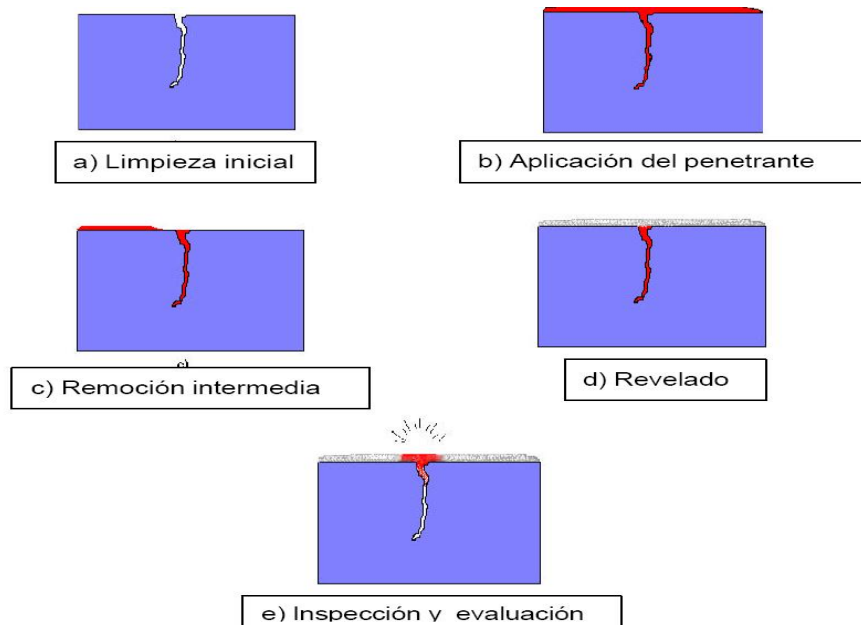


Figura 2.24. Etapas de un Ensayo de Líquidos Penetrantes

Fuente: <http://www.precisiontools.com.mx/proddetail.php?prod=603-SK416>

Las cinco etapas siguientes se ejecutan en el ensayo por LP.

- a. Limpieza inicial: se remueve la suciedad de la superficie de la pieza y del interior de los defectos.
- b. Penetración: se aplica un penetrante (líquido con alta capilaridad) sobre la pieza a ser examinada y se lo deja penetrar dentro de los defectos.
- c. Limpieza intermedia: se remueve el exceso de penetrante de la superficie de la pieza.
- d. Revelado: se aplica un revelador blanco a la superficie de la pieza que extrae el penetrante de los defectos.
- e. Observación: se observan las indicaciones de los defectos bajo luz natural en el caso de los penetrantes coloreados o usando luz negra en el caso de los penetrantes fluorescentes.

2.4.3.4.1 CARACTERÍSTICAS

El ensayo por LP sólo detecta discontinuidades abiertas a la superficie. La detectabilidad de un defecto en esta técnica es algo inferior a la del ensayo por partículas magnetizables. El ensayo por LP puede ser aplicado en cualquier tipo de material, metálicos o no metálicos, salvo en aquellos materiales porosos o con alta rugosidad. El tamaño mínimo de un defecto detectable es aproximadamente de 1 mm de longitud, 20 mm y 1 mm de ancho dependiendo de la técnica y la calidad de los productos utilizados.

2.4.3.5 ENSAYO METALOGRAFICO

El examen estructural de los materiales y aleaciones por vía microscópica es una de las armas principales que posee el metalurgista, ya sea en investigación científica como en el control de la calidad de los materiales, teniendo en cuenta la conocida relación estructura – propiedades.

Pese a las nuevas técnicas e instrumental aparecidos durante los últimos tiempos, tales como el microscopio electrónico y el de emisión, el microscopio metalográfico óptico no ha sido desplazado en modo alguno y conjuntamente con

los medios indicados y los Rayos X, puede dar un panorama bastante completo del estado estructural del metal o aleación en estudio. La importancia de la observación micrográfica está dada por la influencia que ejercen los componentes químicos de una aleación que pueden encontrarse en forma de una solución sólida homogénea, en forma de un compuesto inter metálico de composición química definida, dispersa en el seno de una solución sólida, en forma de una mezcla eutéctica, etc.

Estos componentes reciben el nombre de constituyentes metalográficos y de sus proporciones, formas y estados dependen las propiedades físicas de una aleación. Por lo tanto, el desarrollo de la técnica que nos permite observar dichos constituyentes deberá ser objeto de un trabajo consiente y criterioso. El primer paso dentro de esta área técnica metalográfica será la zona micrográfica a estudiar y que deberá ser representativa del fenómeno a observar, teniendo en cuenta la forma, función y origen del material.

La obtención de una superficie perfectamente plana y pulido especular, nos permitirá llegar a conclusiones exactas y ello dependerá exclusivamente de la prolijidad y esmero con que se realice esa tarea, siguiendo las técnicas usuales.

La elección de los reactivos de ataque y de los aumentos a los que serán observados los distintos constituyentes, están dentro de las variables que juegan en un análisis metalográfico, como son la calidad de lo que se quiere observar y la dimensión apropiada de su magnificación para interpretar el problema que se desea estudiar.

Se puede concluir entonces, que el objetivo de la preparación de una muestra metalografía es la revelación de la estructura verdadera, llamando en teoría estructura verdadera a la cual no posea deformaciones, rayas, arranques de material, elementos extraños, aplastamientos, relieves, bordes redondeados y daños térmicos. Esto se logra con la realización de un método sistemático de preparación.

2.4.3.5.1 MÉTODO DE PREPARACIÓN

Se divide en varias etapas:

- Selección y extracción.
- Montaje.
- Preparación mecánica
- Ataque químico

a) SELECCIÓN Y EXTRACCIÓN

Hay veces que una vez recibido el material es necesario seccionarlo o cortarlo en una forma determinada. Se trata de lograr superficies planas con la menor deformación posible. La muestra que se extraiga, debe representar las características del material de origen. En general se deben obtener por lo menos dos cortes: uno longitudinal y otro transversal, para analizar las estructuras y las propiedades en esas dos direcciones. Es decir, es necesario conocer de antemano el proceso de fabricación y/o tratamientos térmicos del espécimen para determinar las zonas de extracción y los tipos de corte a realizar. Si se realiza un estudio de falla, la muestra debe tomarse lo más cerca posible de la falla o en la iniciación de esta. El método de preparación de muestras metalográficas se encuentra normalizado en la norma ASTM E 3.

b) MONTAJE

Cuando se considere necesario para una mejor manipulación de la muestra o para evitar la conservación de los bordes o alguna capa constituyente, es necesario montar la muestra en lo que llamamos "inclusión". La pieza debe estar libre de grasa o contaminante que interfiera en la adherencia.

- *Montaje en caliente:*

La muestra se coloca en una prensa generalmente hidráulica, se añade luego un polímetro o baquelita. Los polímetros pueden ser de dos tipos: termo endurecibles o termoplásticos.

Luego se somete el polímetro o baquelita a una presión y temperatura determinada según el caso y posteriormente se enfría. Luego se saca la muestra de la prensa.

- *Montaje en frío: reacción química*

La muestra se coloca en un molde, y luego se añaden las partes necesarias de las resinas mezclándolas previamente y luego se vierten sobre la muestra cubriendo a esta y todo el volumen entre la muestra y el molde.

Hay tres tipos de resinas en frío: Epoxi (menor contracción, excelente adherencia tiempo largo de solidificación), Acrílicas (menor tiempo y buena adherencia y son termoplásticos), de Polyester.



Figura 2.25. Resina en frío. BAKELITA.
Fuente. Laboratorios UTA-FICM

c) PREPARACIÓN MECÁNICA:

Para eliminar material de la superficie de la muestra, se utilizan abrasivos cada vez con partículas más finas. Esto puede ser en forma manual o con pulidoras mecánicas.

- *Esmerilado grueso:*

Su objetivo es eliminar la superficie de la muestra que fue deformada por el proceso anterior y lograr un solo plano de pulido para las etapas posteriores. Se utilizan abrasivos de grano grueso (240 - 600), discos o papeles abrasivos al agua. El agua tiene por objeto refrigerar y barrer de la superficie las partículas de

material tanto de la muestra como del abrasivo. Para pasar de un papel a otro se debe obtener una superficie plana, uniforme y las rayas deben estar en una misma dirección.

Una vez logrado esto, se gira la muestra 90° y se procede de la misma forma. Luego ya se está en condiciones de pasar al otro papel. Se recomienda en esta etapa cambiar el agua para que no queden partículas en suspensión.

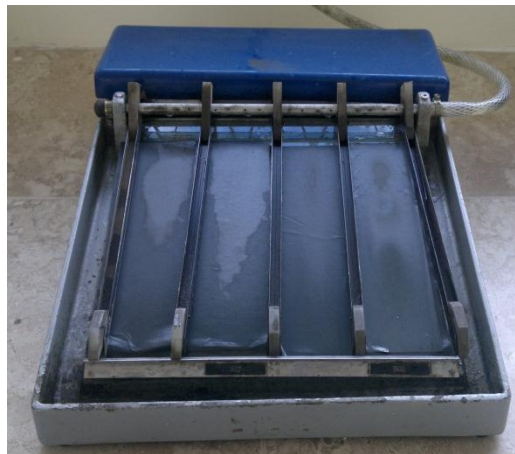


Figura 2.26. Banco de lijas para pulido de probetas.
Fuente. Laboratorios UTA-FICM

- *Esmerilado fino:*

Es la etapa final del esmerilado. El procedimiento es igual al anterior con papeles (400 a 1200) o alumina líquida.



Figura 2.27. Banco de paño para pulido fino de probetas.
Fuente. Laboratorios UTA-FICM

Con alumina: Se utiliza para lograr una eliminación efectiva y rápida de material. Se obtienen los mejores resultados en cuanto a planitud. Se realiza en paños especiales colocados en platos giratorios.

d) ATAQUE QUÍMICO

Todo el material distorsionado resultante de los varios pasos de la preparación debe ser completamente removido de la superficie antes de observar la muestra bajo el microscopio. El ataque se realiza sumergiendo la muestra metálica pulida en una solución ácida o básica débil que ataca a la superficie a una velocidad que varía con la orientación cristalina de la misma. Como los cristales de un metal tienen usualmente distintas orientaciones, los cristales adyacentes se disuelven por la solución de ataque a diferentes profundidades, produciendo el efecto de altiplano. Después del ataque las interacciones de los límites de grano atacados en la superficie, quedan marcados por una red de escarpaduras poco profundas. Estas superficies casi verticales no reflejan la luz en las lentes objetivos de un microscopio en la misma forma que las superficies horizontales y formas de los cristales que quedan entre ellos, y como resultado, se observará la posición de los límites de los cristales. Para la determinación del reactivo se tiene en consideración al material y el objetivo buscado por el ataque. Existen las NORMAS ASTM E 304 (macroataque) y E 407 (microataque).



**Figura 2.28. Caja de reactivos químicos para ataque químico de superficies.
Fuente. Laboratorios UTA-FICM**

2.4.4 SOLDADURA

Se denomina soldadura al proceso en el cual se realiza la unión de dos materiales, usualmente obtenido a través de fusión, en la cual los elementos son soldados derritiendo ambos y agregando un material de relleno derretido (metal). Éste, al enfriarse, se convierte en un empalme fuerte. La soldadura puede ser hecha en diferentes ámbitos: al aire libre, bajo el agua y en el espacio.

Existen aproximadamente cuarenta tipos distintos de soldaduras.

La mayoría de las soldaduras se efectúan en forma manual, lo cual requiere mano de obra calificada e implica un coste considerable de obra.

2.4.4.1 SOLDADURA DE ARCO ELÉCTRICO

La Soldadura de Arco Manual o SMAW es también conocida como Soldadura de Electrodo Cubierto, Soldadura de Varilla o Soldadura de Arco Eléctrico, es la más antigua y más versátil de todos los diferentes procesos de soldadura de arco.

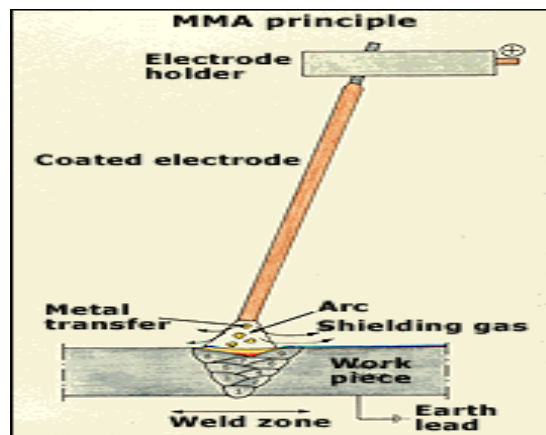


Figura 2.29. Esquema de soldadura por arco eléctrico.
Fuente. <http://www.drweld.com/smaw.html>

Un arco eléctrico es mantenido entre la punta de un electrodo cubierto (Coated Electrode) y la pieza a trabajar. Las gotas de metal derretido son transferidas a través del arco y son convertidas en un cordón de soldadura, un escudo protector de gases es producido de la descomposición del material fundente que cubre el electrodo, además, el fundente también puede proveer algunos complementos a la aleación, la escoria derretida se escurre sobre el cordón de soldadura donde

protege el metal soldado aislándolo de la atmósfera durante la solidificación, esta escoria también ayuda a darle forma al cordón de soldadura especialmente en soldadura vertical y sobre cabeza. La escoria debe ser removida después de cada procedimiento.

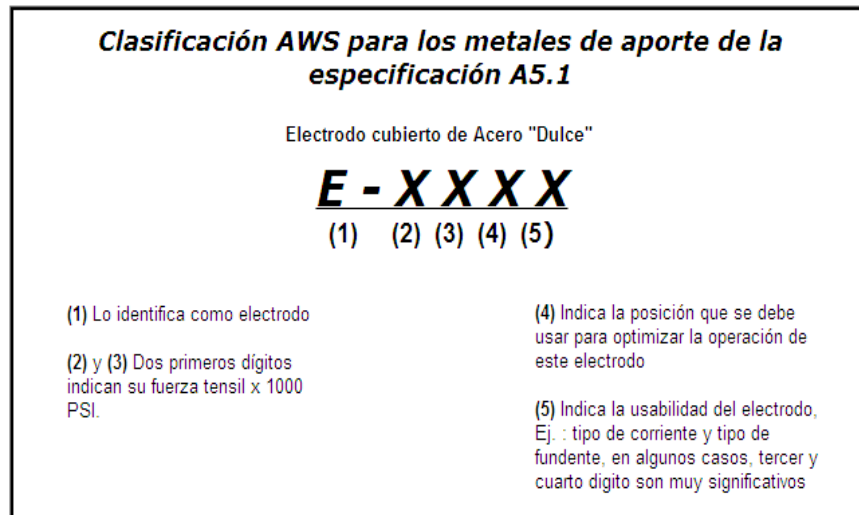


Figura 2.30. Nomenclatura para designación de electrodos.
Fuente. <http://www.drweld.com/skaw.html>

Los electrodos, en particular, tienen su propio código en todas las agencias que los clasifica, que los separa de los demás productos y los hace identificables de manera específica, el código que AWS usa para esto, y que probablemente sea el más popular en Latino-América se ha convertido en la referencia que más comúnmente se usa para Clasificar, son el AWS A5.1 para los electrodo de acero "dulce" o de relleno, y el AWS A5.5 para los electrodos de aleación de acero (alto contenido de carbón), muchos los identifican separándolos erróneamente como "Electrodos de Bajo Hidrogeno y Electrodos de Alto Hidrogeno" respectivamente, pero algunas variaciones de los electrodos en ambas clasificaciones contienen en sus fundentes altas o bajas cantidades de Hidrogeno que los excluye de esa referencia.

2.4.4.2 SOLDADURAS MIG

La soldadura GMAW (Gas Metal Arc Welding) es un proceso semiautomático, automático o robotizado de soldadura que utiliza un electrodo consumible y continuo que es alimentado a la pistola junto con el gas inerte en soldadura MIG o

gas activo en soldadura MAG que crea la atmósfera protectora. Hace que no sea necesario estar cambiando de electrodo constantemente. Este proceso se utiliza mucho en industrias donde el tiempo y la calidad de la soldadura son cruciales. El principio es similar a la soldadura por arco, con la diferencia en el electrodo continuo y la protección del gas inerte lo que le dan a este método la capacidad de producir cordones más limpios (no forma escoria, por lo que se pueden formar varias capas sin necesidad de limpieza intermedia).

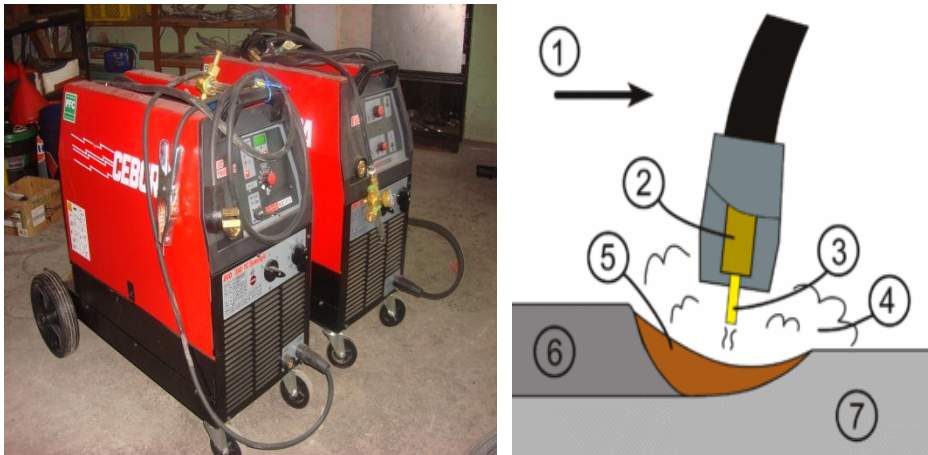


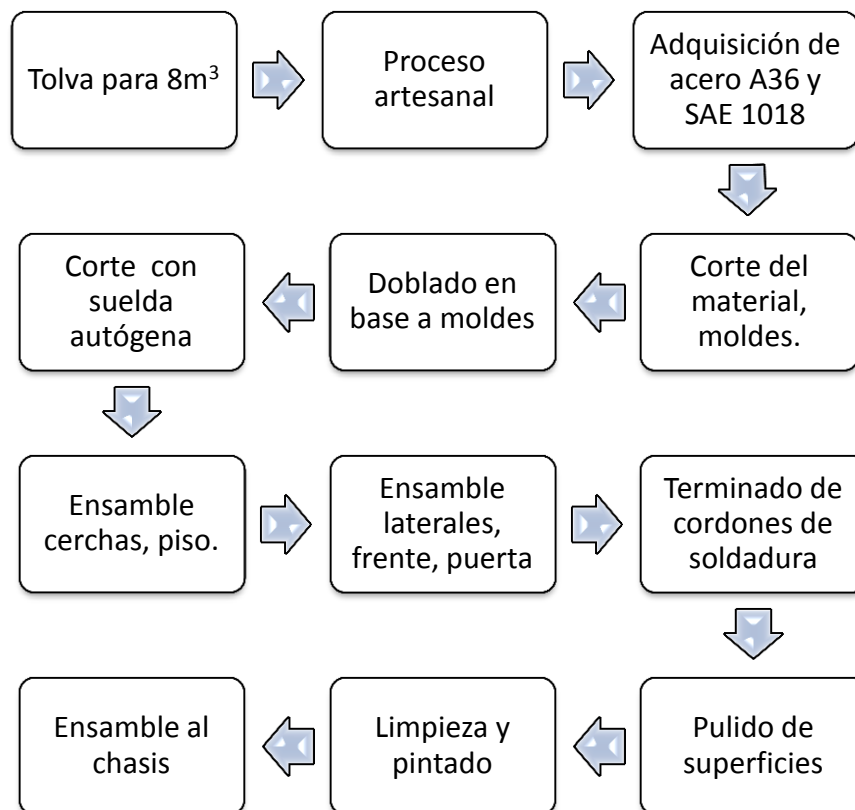
Figura 2.31. Soldadora MIG y diagrama del proceso MIG.
Fuentes. Planta I.M.ESCO - <http://www.herreria-general.com.ar/>

Descripción de GMAW, área de soldado:

- (1) Dirección de avance
- (2) Tubo de contacto
- (3) Electrodo
- (4) Gas
- (5) Metal derretido de soldadura
- (6) Metal de soldadura solidificado
- (7) Pieza a soldar

El método MIG (Metal Inerte Gas) utiliza un gas inerte (Argón, Helio o una mezcla de ambos). Se emplea sobre todo para soldar aceros inoxidable, cobre, aluminio, chapas galvanizadas y aleaciones ligeras. A veces es mejor utilizar helio ya que este gas posee mayor ionización y por lo tanto mayor rapidez de generación de calor.

2.4.5 PROCESO ACTUAL DE MANUFACTURA DE LA TOLVA I.M.ESCO.



Autor. Leonardo Calero.

2.5 HIPÓTESIS

La aplicación de ensayos destructivos y no destructivos permitirá incrementar la calidad de las tolvas producidas por I.M.ESCO.

2.6 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES

2.6.1 VARIABLE INDEPENDIENTE: ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y NO DESTRUCTIVOS.

2.6.2 VARIABLE DEPENDIENTE: CALIDAD DE LAS TOLVAS PARA VOLQUETA PRODUCIDAS POR I.M.ESCO.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE

En el presente trabajo de investigación nos enfocaremos a lo cuantitativo por cuanto, cada proceso requiere la descripción de cualidad para medir su grado de aceptación, dependiendo del tipo de ensayo que se requiera durante la ejecución del proyecto.

3.2 MODALIDAD Y TIPO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1.1 INVESTIGACIÓN DE CAMPO

La investigación de campo corresponde a un tipo de diseño de investigación, que se basa en información obtenida directamente de datos reales, permitiéndole al investigador verificar de las condiciones reales en que se han conseguido los datos. En otras palabras, el investigador realiza una cuantificación de los datos. Sin embargo, qué cantidad de datos se pueden obtener considerando las restricciones de cada estudio como por la carencia de recursos materiales, humanos, económicos, físicos.

3.2.1.2 INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

La investigación experimental consiste en la manipulación de una variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento en particular, es decir encontrar la causa de un determinado

problema mediante ensayos destructivos o no destructivos, según sea el caso. Se trata de un experimento porque precisamente el investigador provoca una situación para introducir determinadas variables de estudio manipuladas por él, para controlar el aumento o disminución de la variable calidad de las tolvas de volqueta, y su efecto en las conductas observadas. El investigador maneja deliberadamente la variable experimental y luego observa lo que sucede en situaciones controladas bajo los estándares que cada ensayo requiere y exige.

3.3 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.3.1 INVESTIGACIÓN EXPLICATIVA

Los resultados que se obtendrán en las investigaciones explicativas contribuyen al desarrollo del conocimiento, razón por la cual el rigor científico se constituye en pilar fundamental para su ejecución. Esta investigación permitirá dar una explicación del porqué del comportamiento de las variables, lo cual implica un esfuerzo por parte del investigador y una gran capacidad de análisis, síntesis e interpretación, en este problema específico orientar, identificar las causas principales del efecto producido en la calidad de las tolvas para volquetas producidas por I.M.ESCO al realizarse en ellas tanto ensayos destructivos y ensayos no destructivos.

3.3.2 INVESTIGACIÓN DESCRIPTIVA

Consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican con un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere.

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1 POBLACIÓN O UNIVERSO DE ESTUDIO

El universo de la población para el estudio, de acuerdo al número de tolvas fabricadas dentro de I.M.ESCO es de 16 unidades al mes, sustentados en la tabla

3.1, y dado que el número no sobrepasa las 25 unidades, se deberá controlar el proceso de armado y ensamblado de todas éstas.

Tabla 3.1. Producción de tolvas de 8m³, año 2010.

MES	CANTIDAD
ENERO	10
FEBRERO	10
MARZO	14
ABRIL	16
MAYO	20
JUNIO	20
JULIO	18
AGOSTO	18
SEPTIEMBRE	19
OCTUBRE	20
NOVIEMBRE	15
DICIEMBRE	12
Total año	192
Promedio mensual	16

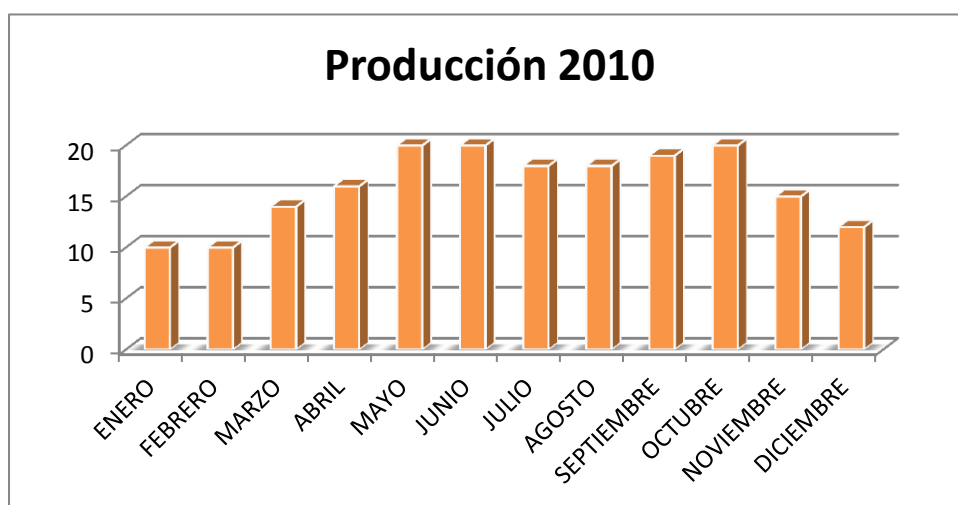


Figura 3.1. Diagrama de producción de tolvas, año 2010.
Autor. Leonardo Calero.

3.5 PLAN DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.5.1 VARIABLE INDEPENDIENTE: ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y NO DESTRUCTIVOS.

CONCEPTUALIZACION	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS BÁSICOS	TECNICAS INSTRUMENTOS
Los ensayos destructivos y no destructivos permiten determinar fallas de la estructura los cuales nos ayuda a una buena selección de los materiales y a través de los diversos tipos de ensayos nos suponen una mejor apreciación de la clase de defecto específico a ser tratado.	<p>Ensayo</p> <p>Ensayo destructivo</p> <p>Ensayos no destructivos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ensayo de tracción • Ensayo de compresión • Ensayo de flexión • Ensayo de dureza. • Ensayo Visual • Radiográfico • Ultrasónico • Ensayo con Líquidos Penetrantes • Ensayo Metalográfico 	<p>¿Qué materiales serán usados en los ensayos?</p> <p>¿Cuáles son las propiedades que se requieren verificar en cada material?</p> <p>¿Qué tipos de ensayos serán aplicados en este análisis?</p> <p>¿Qué norma se aplicará para cada tipo de ensayo destructivo?</p> <p>¿Qué norma se aplicará para cada tipo de ensayo destructivo?</p> <p>¿Qué tipos de ensayos serán aplicados en este análisis?</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Catálogos de materiales - Normas ASTM, ISO - Observación directa - Laboratorios

Autor. Leonardo Calero.

3.5.2 VARIABLE DEPENDIENTE: INCREMENTO DE LA CALIDAD DE LAS TOLVAS PARA VOLQUETA PRODUCIDAS POR I.M.ESCO.

CONCEPTUALIZACION	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS BÁSICOS	TECNICAS INSTRUMENTOS
<p>Se incrementará la calidad en la producción de volquetas, asegurando la seguridad y confiabilidad de las tolvas para volqueta y mantiene la calidad requerida, desde que el diseño del producto es llevado a la fábrica, hasta que el producto es entregado al cliente para su utilización.</p> <p>Los objetivos principales del aseguramiento de la calidad en la producción son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Minimizar costos. • Maximizar la satisfacción del cliente. 	<p>Calidad</p> <p>Diseño</p> <p>Minimizar costos</p> <p>Maximizar la satisfacción del cliente</p>	<p>La norma ISO 9001:2008 la define como:</p> <p>La capacidad de un conjunto de características intrínsecas para satisfacer requisitos.</p> <p>Mejoramiento continuo de la producción.</p> <p>Reducción al mínimo de los gastos y los costos operacionales, sin disminuir la calidad del producto.</p>	<p>¿Cuáles son las características y alcances de la norma ISO 9001-2008?</p> <p>¿Qué tipo de diseño requiere este análisis?</p> <p>¿Cómo se alcanzará el mejoramiento de la producción?</p> <p>¿Se pueden reducir los gastos y costos operaciones dentro de la empresa?</p> <p>¿La calidad es directamente proporcional a la minimización de costos?</p> <p>¿Este análisis logrará satisfacer las expectativas perseguidas por el consumidor?</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Norma ISO 9001-2008 - Registros de producción - Catálogos - Encuestas - Registros oficiales - Estados financieros de la empresa - Observación directa

Autor. Leonardo Calero.

3.6 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

De acuerdo a un número específico de pruebas realizadas se llenará su respectivo formulario, el mismo que deberá cumplir con los parámetros de la norma aplicada.

La recolección de información se realizará mediante formatos referentes a ensayos destructivos y no destructivos para lo cual se procederá de la siguiente manera.

Para Ensayos Destructivos y No Destructivos:

- Verificación de parámetros bajo normas ASTM.
- Dimensionamiento de probetas.
- Calibración del equipo de ensayo.
- Ejecución del ensayo.
- Toma de resultados.
- Comparación y validación de resultados.

3.7 PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

De acuerdo a los datos observados, y de los resultados que se obtendrán de cada tipo de ensayo, su procesamiento se ejecutará:

- ✓ De acuerdo al tipo de ensayo se verificará la validez del formato dispuesto de acuerdo a la norma correspondiente.
- ✓ De acuerdo al propósito específico de cada ensayo, estos serán recolectados y analizados por el daño ocasionado a la parte o pieza sometida para su aplicación, siendo de tipo destructivo o no destructivo, según el requerimiento previsto.
- ✓ Se verificará la correcta disposición de la respectiva probeta y los instrumentos y aparatos requeridos, según especificaciones de la norma que sustente el ensayo.

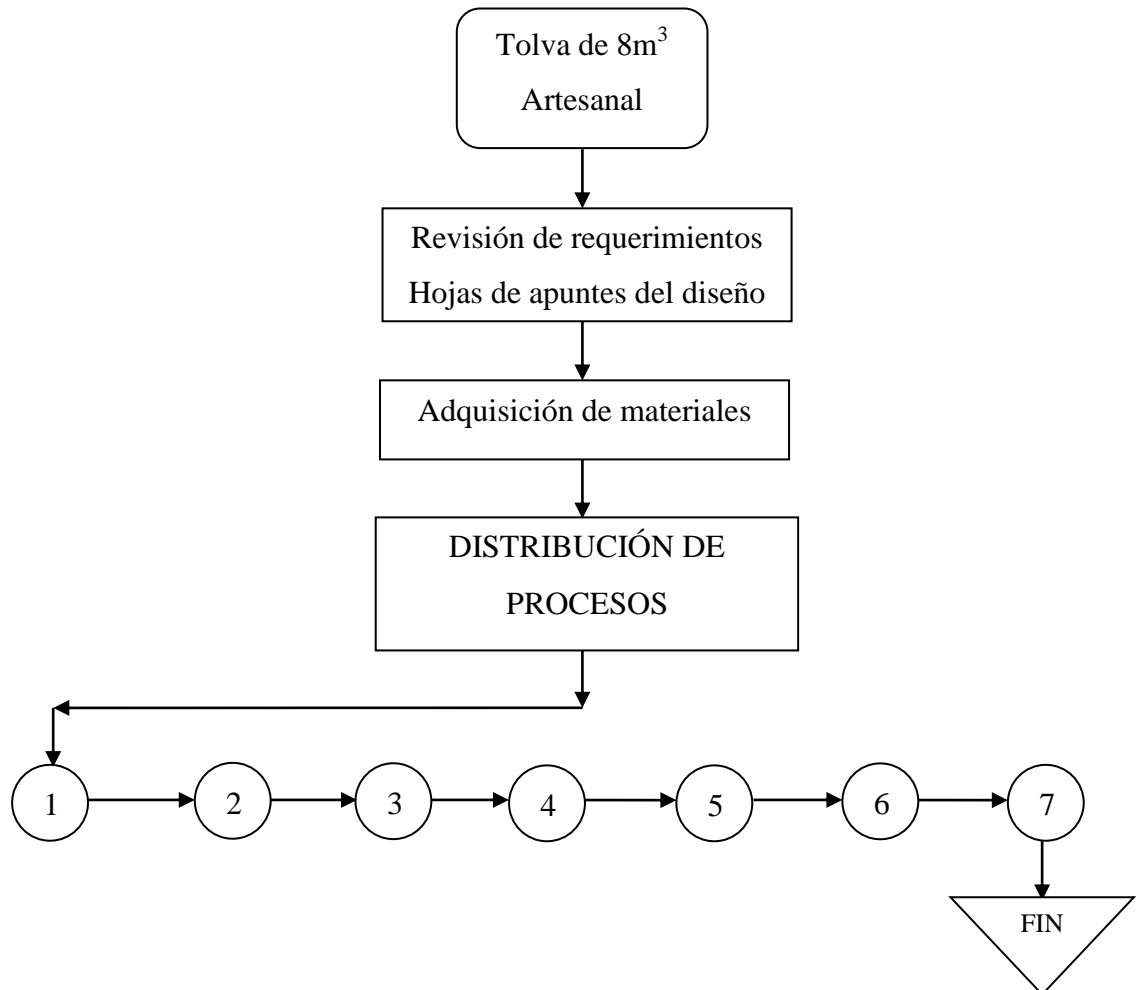
- ✓ Se llevara por escrito, un control de los procesos ejecutados, en el formato referido para cada tipo de ensayo, incluyendo fotografías si así se requiere y detalles específicos de las partes afectadas de haberse encontrado.
- ✓ De acuerdo a los formularios, estos serán analizados e interpretados de acuerdo con los requerimientos de cada ensayo bajo su respectiva normalización.
- ✓ La norma respectiva determinará el estado de la parte o pieza, así como su validez o no de funcionalidad.

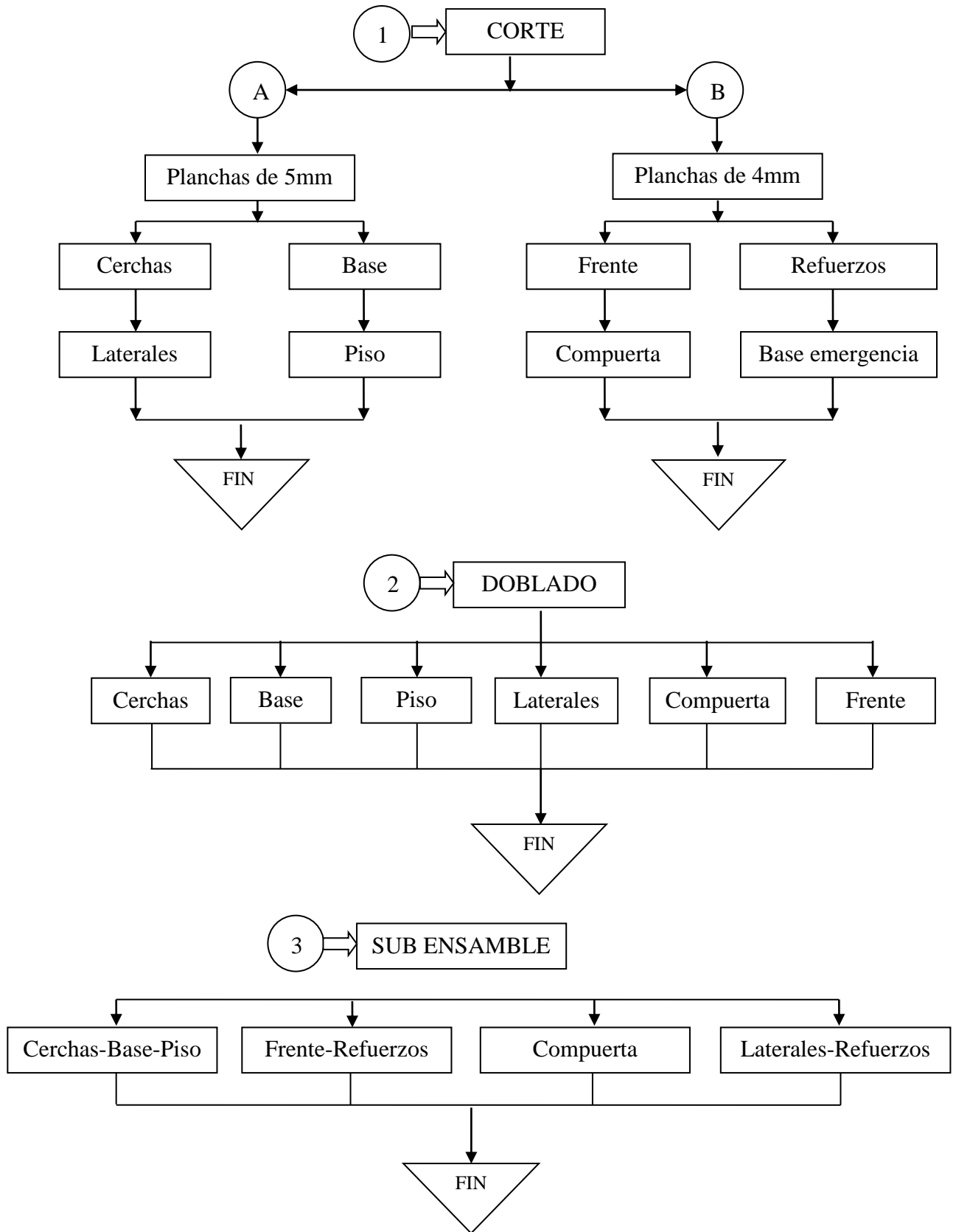
CAPÍTULO IV

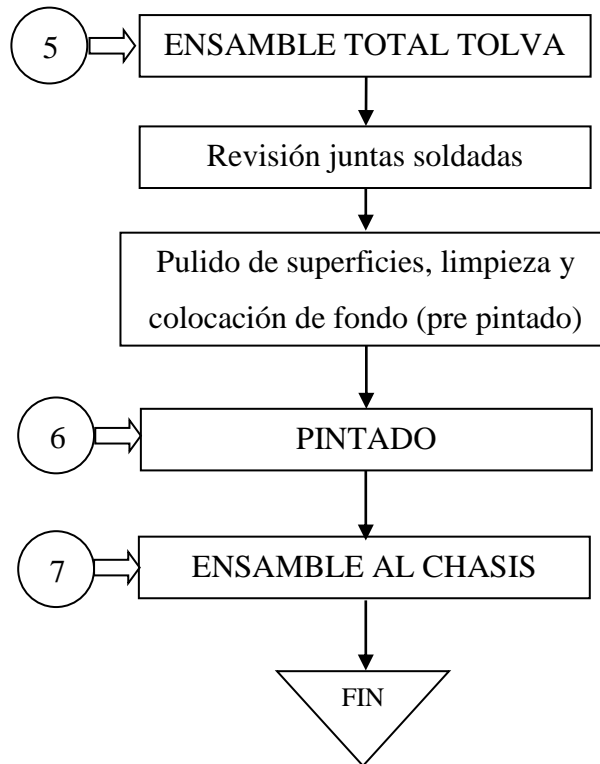
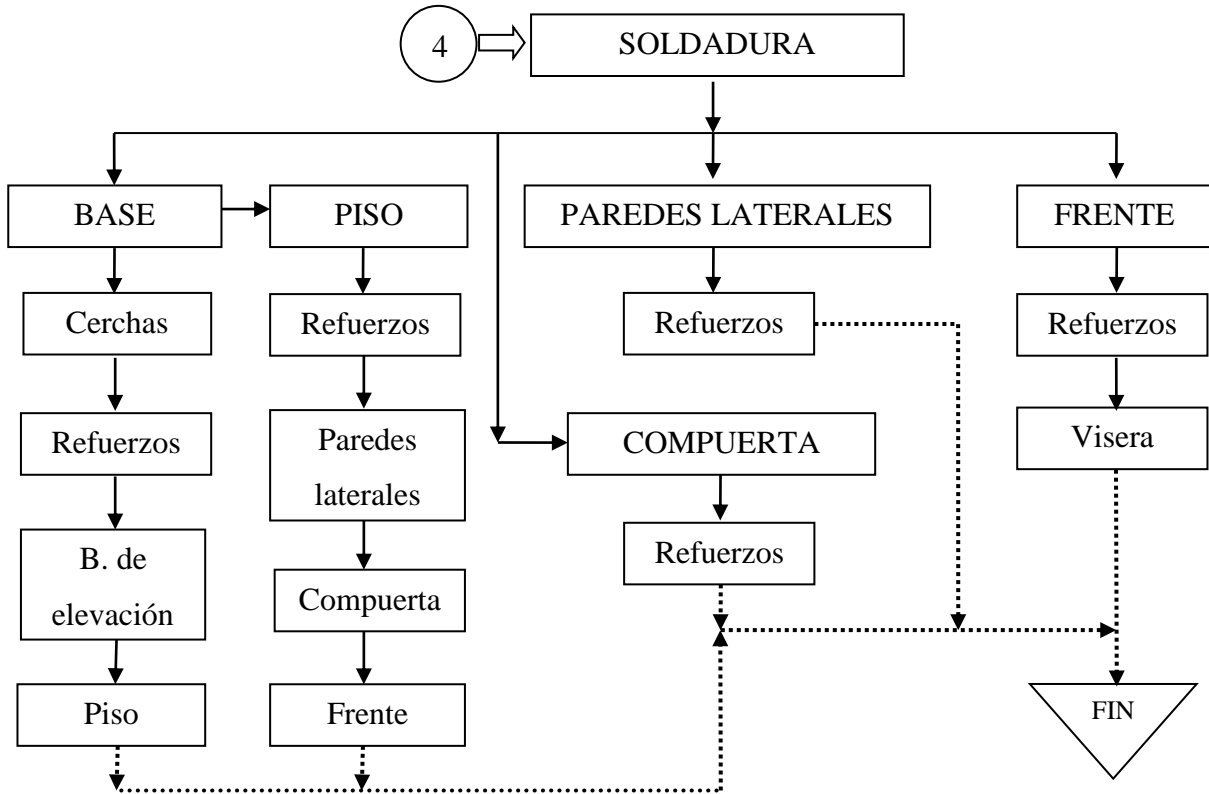
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En este estudio, de acuerdo a las pruebas requeridas, tanto de ensayos destructivos como ensayos no destructivos, para su desarrollo, toma de resultados y su posterior análisis se procederá de acuerdo al siguiente diagrama:







Autor: Leonardo Calero

Tabla 4.1. Resumen de procesos para la construcción de la tolva de 8m³ artesanal.

Designación de proceso	Proceso
1	Corte
2	Doblado
3	Sub ensamble
4	Soldadura
5	Ensamble total de la tolva
6	Pintado
7	Ensamble al chasis

Autor: Leonardo Calero

4.2 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Con el propósito de tener un adecuado manejo de la información recopilado, su evaluación y los resultados correspondientes se procederá a la realización de cada tipo de ensayo, destructivo y no destructivo, se han establecido formatos únicos en los que se incluyen datos generales del ensayo, tipo, características, evaluación y descripción gráfica para su calificación.

Todos los fundamentos que se encuentran a continuación son normalizados; es decir que han sido extraídos de normas internacionales y adecuadas a nuestra necesidad.

Siguiendo con los procesos indicados en la correspondiente norma se realiza la toma de muestras de acuerdo a la necesidad de cada ensayo, los resultados se presentan en los formularios descritos en las siguientes páginas.

Luego de la realización de los ensayos destructivos y no destructivos se procede a evaluar los porcentajes de eficiencia del personal y calidad actual de los procesos de construcción de la tolva de volqueta, para verificar el actual proceso de construcción de éstas.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
INFORME DE INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA



DATOS GENERALES:

Tipo de Estudio: Laboratorio	Ensayo N°: 001	Zona: 3	R.I.
Identificación del componente de estudio			Probeta N° 01
Parte Especifica:	Uniones soldadas, horizontal, piso.		
Solicitado por:	IMESCO	Fecha:	14-11-2010
Centro de Estudios y análisis	ENDE Quito		
Realizado Por:	Leonardo Calero	Supervisado por:	ENDE
Material: Acero A36	Dimensiones: 300*250*5mm	Detalle RX 1	Calificación del soldador

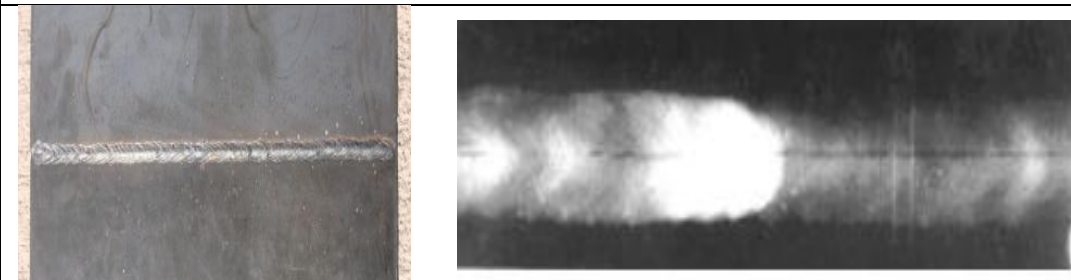
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:

Lugar:	ENDE		
Temperatura Ambiente:	20 °C	Radiación:	123,33 W/m ²
Velocidad aire circundante:	1.33 m/s	Otros:	

PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS :

Realizado bajo la norma:		ASME IX		Designación:		ASME 5				
Estación <u> x </u> Línea		Tamaño focal: 0.175plg		Nivel: II		Película: AGIA-DZ				
Tiempo (min)		Revelado		Baño de Paro		Fijado		Lavado final		
		5		2		10		30		
N° RI	Soldador(es)	Soldadura	Detalle	Calificación		Días	Espesor	Cantidad	Densidad	Ubicación de efectos y observaciones
				Y	N					
RX 1		MIG		X	----		6mm	1	/	IP inadecuada, penetración toda la longitud de la soldadura

FOTOGRAFÍA



Interpretación de resultados: La falta de penetración forma impresiones longitudinales en el centro y a lo largo de la soldadura. El espacio interno no ocupado por el metal de aportación, es origen de fuertes tensiones dando lugar a una corrosión localizada. Las posibles causas son la separación incorrecta de los bordes, diámetro del electrodo demasiado grueso, excesiva velocidad de avance del electrodo, baja intensidad de corriente.

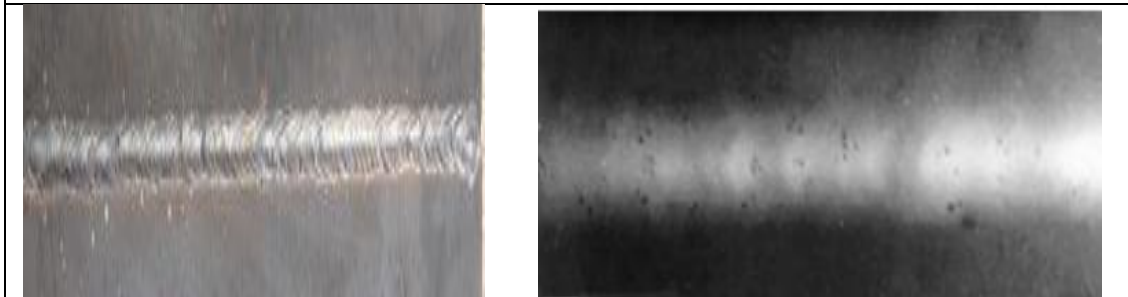
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA INFORME DE INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA	
---	--	---

DATOS GENERALES:			
Tipo de Estudio: Laboratorio	Ensayo N°: 002	Zona: 1	R.I.
Identificación del componente de estudio			Probeta N° 02
Parte Especifica:	Uniones soldadas, horizontal, base al chasis		
Solicitado por:	IMESCO	Fecha:	14-11-2010
Centro de Estudios y análisis	ENDE Quito		
Realizado Por:	Leonardo Calero	Supervisado por:	ENDE
Material: Acero A36	Dimensiones: 300*250*5mm	Detalle RX 1	Calificación del soldador




PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:			
Lugar:	ENDE-QUITO		
Temperatura Ambiente:	20 °C	Radiación:	123,33 W/m ²
Velocidad aire circundante:	1.33 m/s	Otros:	

PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS :										
Realizado bajo la norma:		ASME IX			Designación:		ASME 5			
Estación <u> </u> x <u> </u> Línea		Tamaño focal: 0.175plg			Nivel: II		Película: AGIA-DZ			
Tiempo (min)		Revelado		Baño de Paro		Fijado		Lavado final		
		5		2		10		30		
N° RI	Soldador(es)	Soldadura	Detalle	Calificación		Días	Espesor	Cantidad	Densidad	Ubicación de efectos y observaciones
				Y	N					
RX 1		MIG		X	----		6mm	1	/	IP inadecuada, penetración, sopladuras

FOTOGRAFÍA



Interpretación de resultados: Cavidades, porosidades o sopladuras, forman unas impresiones oscuras redondeadas. Se observa que a veces se unen varios poros formando rosarios. Las causas pueden provenir del metal base por el elevado contenido en C, S, P; por la presencia de óxidos y por falta de limpieza en la junta, una excesiva intensidad de corriente que provoca el despegue del revestimiento, y por excesiva longitud del arco.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA INFORME DE INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA								
DATOS GENERALES:										
Tipo de Estudio: Laboratorio		Ensayo N°: 003		Zona: 1		R.I.				
Identificación del componente de estudio						Probeta N° 03				
Parte Especifica:		Uniones soldadas, horizontal, cerchas del piso								
Solicitado por:		IMESCO		Fecha:		14-11-2010				
Centro de Estudios y análisis		ENDE Quito								
Realizado Por:		Leonardo Calero		Supervisado por:		ENDE				
Material: Acero A36		Dimensiones: 300*250*5mm		Detalle RX 1		Calificación del soldador				
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:										
Lugar:		ENDE								
Temperatura Ambiente:		20 °C		Radiación:		123,33 W/m ²				
Velocidad aire circundante:		1.33 m/s		Otros:						
PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS :										
Realizado bajo la norma:		ASME IX		Designación:		ASME 5				
Estación <u> x </u> Línea		Tamaño focal: 0.175plg		Nivel: II		Película: AGIA-DZ				
Tiempo (min)		Revelado 5		Baño de Paro 2		Fijado 10		Lavado final 30		
N° RI	Soldador(es)	Soldadura	Detalle	Calificación		Días	Espesor	Cantidad	Densidad	Ubicación de efectos y observaciones
				Y	N					
RX 1		MIG		X	---		6mm	1	/	IP inadecuada, penetración, inclusiones, toda la longitud de la soldadura
FOTOGRAFÍA										
										
Interpretación de resultados: Inclusiones sólidas de escoria, se muestran como manchas irregulares de color negro, estas provocan baja resistencia del cordón de soldadura, causada por la falta de limpieza de los cordones y su mala distribución, inclinación incorrecta del electrodo y baja intensidad de corriente.										



**ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS
 REPORTE DE LÍQUIDOS PENETRANTES**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
 INGENIERIA MECÁNICA**

CRITERIO DE ACEPTACIÓN

ACEPTABLE

SI

NO

HOJA 1 de 2

Nombre del cliente	I.M.ESCO	Inspector:	Leonardo Calero		
Dirección del cliente	Huachi Chico	Fecha Inspección:	25/08/2010	Fecha Última	25/08/2010
Teléfono:	2841114	Horario de entrada	8:00	Horario Salida	17:00 pm

REGISTRO DE DATOS


Inspección de:	Tolva de volqueta de 8 metros cúbicos				
Ubicación:	País: Ecuador		Condiciones Ambientales:		
	Provincia: Tungurahua		Clima: Templado 20° C		
	Ciudad: Ambato		Iluminación: Lámparas		
	Lugar Preciso:		Posición:		
Nº de ensayo	1		Detalles Constructivos:		
Material	Acero ASTM A 36				
Capacidad	8 metros cúbicos				
Espesor de pared	6mm				
Tramos de Estudio	Laterales y piso				
Dimensiones:	Largo:	4,5 m			
	Alto:	2,1 m	Zona 3, 4, 5, 6		
	Ancho:	2,7 m			
	Espesor:	-----		Secciones:	

EQUIPO Y TECNOLOGÍAS APLICADAS

		TIPO	UTILIZACIÓN	DETALLE
VT1 (ASME) (10 años)	Equipo de Iluminación	Linterna	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	
		Luz Halógena	SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>	
		Lamparas Portátiles	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	
	Equipo de Visión	Luz Natural	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	
		Espejos Articulados	SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>	
		Lentes de Aumento	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	
Equipos de Medida	Equipos de Medida	cintas métricas	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	
		Reglas	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	
		Calibradores	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	
	Juntas Soldadas	Tipo de Soldadura	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	
		Tipo de corriente	C.C. <input type="checkbox"/> C.A. <input checked="" type="checkbox"/>	
		Electrodo	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	
		Gas	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	
		Pemos	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	
		Tuercas	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	
		Componentes	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	
Pintura	Alojamientos	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		
	Muy buena:	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		
	Regular:	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		
Otros	Desprendimiento total:	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		
VT2 (ASME) (10 años)	Equipo de presurización	Hidrolazer de caudal	SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>	
		Hidrolazer de presión	SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>	
		Bombas de alta presión	SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>	
		Banco de pruebas	SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>	
		Manguera de alta presión	SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>	

Equipos de Medida	Manómetros de Presión	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input checked="" type="checkbox"/>	HOJA 2 de 2
	Válvulas	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Soldaduras	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Tramos de Tubería	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Uniones embridadas	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input checked="" type="checkbox"/>	
Otros						

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

	TIPO	ACEPTACION		DETALLE		
Determinación del estado de Integridad	Grietas	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO		
	Socavación	SI	<input type="checkbox"/>	NO		<input checked="" type="checkbox"/>
	Covexidad	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO		<input type="checkbox"/>
	Porosidad	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	NO		<input type="checkbox"/>
	Desgaste	SI	<input type="checkbox"/>	NO		<input checked="" type="checkbox"/>
	Corrosión	SI	<input type="checkbox"/>	NO		<input checked="" type="checkbox"/>
	Oxidación	SI	<input type="checkbox"/>	NO		<input checked="" type="checkbox"/>
	Erosión	SI	<input type="checkbox"/>	NO		<input checked="" type="checkbox"/>
	Daños Físicos	SI	<input type="checkbox"/>	NO		<input checked="" type="checkbox"/>
	Otros					
Determinación de Fugas	Tuberías	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Cañerías	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Tanques	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Mangueras	SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Otros					

APARIENCIA VISUAL

Apariencia	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>	Análisis de Resultados:	
Textura	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>		Causas ligeras:
Porcentaje de Afectación						Causas más pronunciadas:
Posible recuperación	SI	<input checked="" type="checkbox"/>	No	<input type="checkbox"/>		Criterio del Inspector:

	REGISTRADO POR	REVISADO POR	APROBADO POR	POR EL CLIENTE	FIRMA RESP.
	Register by	Revised by	Approved by	By the client	
NOMBRE - Name:	Calero Leonardo	Ing. Moretta A.	Ing. Moretta A.	I.M.ESCO	
CARGO - Post:	Autor	Tutor	Tutor		
FIRMA - Signature:		E.N.D	E.N.D		
FECHA - Date:		31/10/2011	31-102011		

OBSERVACIONES



De lo observado se puede concluir que la mayor parte de cordones de soldadura presentan imperfecciones en los acabados, por lo cual se deberá dar mayor atención al tipo de soldador que opera en la empresa, las mayores fallas encontradas son: Porosidades, traslapes, falta de fusión y grietas alrededor del cordón de soldadura. Debido a estas discontinuidades se procederá a realizar Ensayos de Radiografía Industrial en los sectores de mayor incidencia de fallas para evaluar tensiones internas en las diversas zonas seleccionadas.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA INFORME DE ULTRASONIDOS	
---	---	---

DATOS GENERALES:

Tipo de Estudio: De laboratorio	Ensayo N°: 005	Zona: 3	Espesor = 5 mm
Identificación del componente de estudio			Probeta N° 04
Parte Especifica:	PISO, probeta		
Solicitado por:	IMESCO	Fecha:	16-09-2010
Centro de Estudios y análisis	Laboratorios FICM-UTA		
Realizado Por:	Leonardo Calero	Supervisado por:	Ing. Moretta A.
Material: Acero A36	Dimensiones: 450x50x5 mm	Detalle: Parte central	Otros: Probeta

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:

Lugar:	UTA-FICM		
Temperatura Ambiente:	22 °C	Radiación:	123,33W/m ²
Velocidad del aire circundante:	1.33 m/s	Otros:	

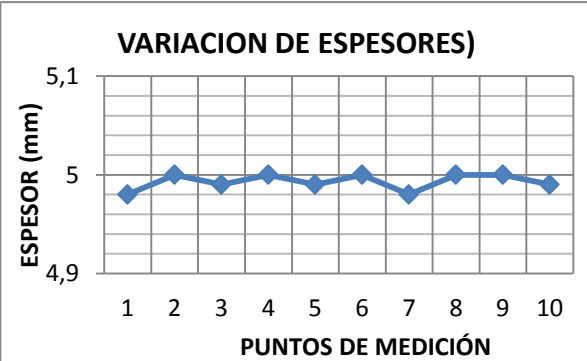
PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS :


Realizado bajo la norma:	ASTM	Designación:	E114-95
Equipo:			

Mediciones(mm)										
N °	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Espesor	4,98	5	4.99	5	4.99	5	4.98	5	5	4.99

RESULTADO:

FOTOGRAFÍA





Interpretación de resultados: Conforme a los datos recolectados, el material cumple con el espesor requerido, su variación no resulta significativa, recalcando que el material en el que se realizan las pruebas es nuevo.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
INFORME DE ULTRASONIDOS**



DATOS GENERALES:

Tipo de Estudio: De laboratorio	Ensayo N°: 006	Zona: 3	Espesor = 5 mm
------------------------------------	----------------	---------	-------------------

Identificación del componente de estudio

Parte Especifica:	PISO		
Solicitado por:	IMESCO	Fecha:	20-09-2010
Centro de Estudios y análisis		UTA-FICM-I.M.ESCO	
Realizado Por:	Leonardo Calero	Supervisado por:	Ing. Moretta A.
Material: Acero A36	Dimensiones: 3670 x 2230 x 5	Detalle:	Otros:

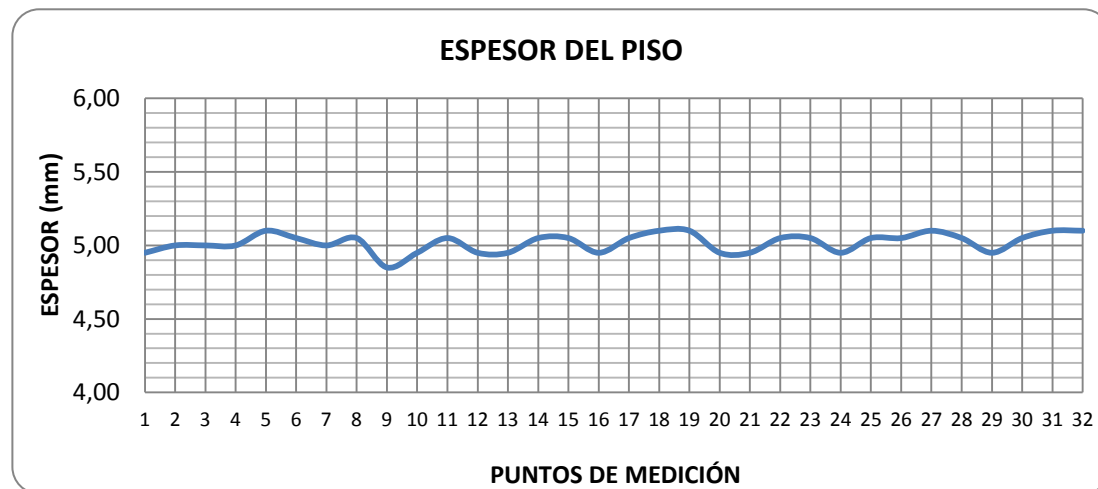
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:

Lugar:	Huachi Chico, Vía Santa Rosa		
Temperatura Ambiente:	22 °C	Radiación:	123,33W/m ²
Velocidad del aire circundante:	1.33 m/s	Otros:	

PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS :

Realizado bajo la norma:	ASTM	Designación:	E114-95
Equipo:			

GRÁFICA DE VARIACIÓN DE ESPESORES



Interpretación de resultados: Conforme a los datos recolectados, el material cumple con el espesor requerido, su variación no resulta significativa, recalcando que el material en el que se realizan las pruebas es nuevo.

Tabla 4.2. Resultados de la medición de espesores en la ZONA 3 (PISO).

Nº de medición	Espesor min. (mm)	Espesor máx. (mm)	Espesor nominal (mm)	Espesor de retiro (mm)	Espesor promedio (mm)
1	4,80	5,10	5,00	3,75	4,95
2	4,70	5,20	5,00	3,75	5,00
3	4,80	5,20	5,00	3,75	5,00
4	4,80	5,20	5,00	3,75	5,00
5	5,00	5,20	5,00	3,75	5,10
6	4,70	5,40	5,00	3,75	5,05
7	4,90	5,10	5,00	3,75	5,00
8	4,90	5,20	5,00	3,75	5,05
9	4,70	5,00	5,00	3,75	4,85
10	4,80	5,10	5,00	3,75	4,95
11	4,70	5,10	5,00	3,75	5,05
12	4,70	5,40	5,00	3,75	4,95
13	4,80	5,10	5,00	3,75	4,95
14	4,90	5,20	5,00	3,75	5,05
15	4,90	5,20	5,00	3,75	5,05
16	4,80	5,10	5,00	3,75	4,95
17	4,90	5,20	5,00	3,75	5,05
18	5,00	5,20	5,00	3,75	5,10
19	4,80	5,40	5,00	3,75	5,10
20	4,70	5,20	5,00	3,75	4,95
21	4,80	5,10	5,00	3,75	4,95
22	4,90	5,20	5,00	3,75	5,05
23	4,90	5,20	5,00	3,75	5,05
24	4,80	5,10	5,00	3,75	4,95
25	4,90	5,20	5,00	3,75	5,05
26	4,90	5,20	5,00	3,75	5,05
27	5,00	5,20	5,00	3,75	5,10
28	4,90	5,20	5,00	3,75	5,05
29	4,80	5,10	5,00	3,75	4,95
30	4,90	5,20	5,00	3,75	5,05
31	5,00	5,20	5,00	3,75	5,10
32	4,80	5,40	5,00	3,75	5,10
				PROMEDIO	5,02 mm

Observación: El espesor está dentro del rango permisible, puesto que el material es nuevo, de lo descrito en catálogos el espesor corresponde a 5 mm.



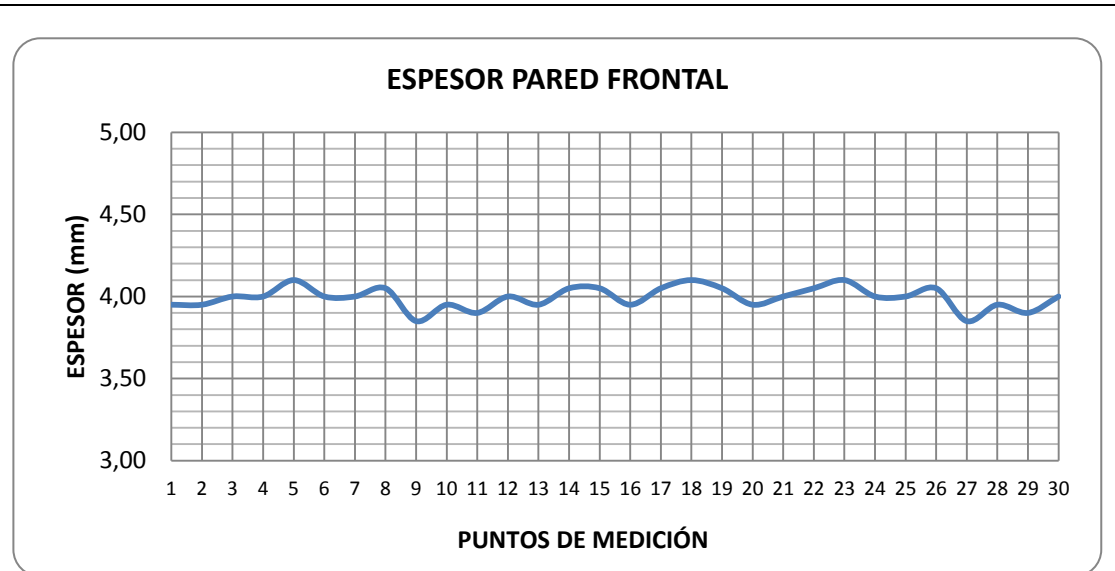
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
INFORME DE ULTRASONIDOS**



DATOS GENERALES:

Tipo de Estudio: De laboratorio	Ensayo N°: 007	Zona: 4	Espesor = 4 mm
Identificación del componente de estudio			
Parte Especifica:	PARED FRONTAL		
Solicitado por:	IMESCO	Fecha:	21-09-2010
Centro de Estudios y análisis		UTA-FICM-I.M.ESCO	
Realizado Por:	Leonardo Calero	Supervisado por:	Ing. Moretta A.
Material: Acero A36	Dimensiones: 2140x1050x4	Detalle: Doblado	Otros:
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:			
Lugar:	Huachi Chico, Vía Santa Rosa		
Temperatura Ambiente:	22 °C	Radiación:	123,33W/m ²
Velocidad del aire circundante:	1.33 m/s	Otros:	
PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS :			
Realizado bajo la norma:	ASTM	Designación:	E114-95
Equipo:			

GRÁFICA DE VARIACIÓN DE ESPESORES



Interpretación de resultados: Conforme a los datos recolectados, el material cumple con el espesor requerido, su variación no resulta significativa, recalcando que el material en el que se realizan las pruebas es nuevo.

Tabla 4.3. Resultados de la medición de espesores en la ZONA 4 (P. FRONTAL).

Nº de medición	Espesor min. (mm)	Espesor máx. (mm)	Espesor nominal (mm)	Espesor de retiro (mm)	Espesor promedio (mm)
1	3,80	4,10	4,00	3,00	3,95
2	3,70	4,20	4,00	3,00	3,95
3	3,80	4,20	4,00	3,00	4,00
4	3,80	4,20	4,00	3,00	4,00
5	4,00	4,20	4,00	3,00	4,10
6	3,70	4,30	4,00	3,00	4,00
7	3,90	4,10	4,00	3,00	4,00
8	3,90	4,20	4,00	3,00	4,05
9	3,70	4,00	4,00	3,00	3,85
10	3,80	4,10	4,00	3,00	3,95
11	3,70	4,10	4,00	3,00	3,90
12	3,70	4,30	4,00	3,00	4,00
13	3,80	4,10	4,00	3,00	3,95
14	3,90	4,20	4,00	3,00	4,05
15	3,90	4,20	4,00	3,00	4,05
16	3,80	4,10	4,00	3,00	3,95
17	3,90	4,20	4,00	3,00	4,05
18	4,00	4,20	4,00	3,00	4,10
19	3,80	4,30	4,00	3,00	4,05
20	3,70	4,20	4,00	3,00	3,95
21	3,90	4,10	4,00	3,00	4,00
22	3,90	4,20	4,00	3,00	4,05
23	4,00	4,20	4,00	3,00	4,10
24	3,70	4,30	4,00	3,00	4,00
25	3,90	4,10	4,00	3,00	4,00
26	3,90	4,20	4,00	3,00	4,05
27	3,70	4,00	4,00	3,00	3,85
28	3,80	4,10	4,00	3,00	3,95
29	3,70	4,10	4,00	3,00	3,90
30	3,70	4,30	4,00	3,00	4,00
				PROMEDIO	4,00 mm

Observación: El espesor está dentro del rango permisible, puesto que el material es nuevo, de lo descrito en catálogos el espesor corresponde a 4 mm.



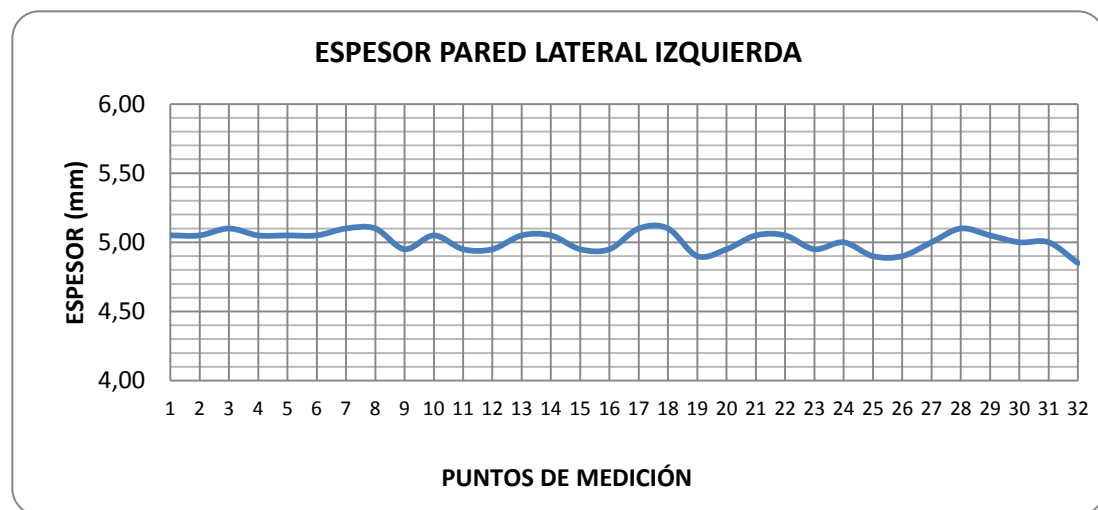
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
INFORME DE ULTRASONIDOS**



DATOS GENERALES:

Tipo de Estudio: De laboratorio	Ensayo N°: 008	Zona: 5	Espesor = 5 mm
Identificación del componente de estudio			
Parte Especifica:	PARED LATERAL IZQUIERDA		
Solicitado por:	IMESCO	Fecha:	22-09-2010
Centro de Estudios y análisis		UTA-FICM-I.M.ESCO	
Realizado Por:	Leonardo Calero	Supervisado por:	Ing. Moretta A.
Material: Acero A36	Dimensiones: 1820x1160x5 mm	Detalle: ENSAMBLE	Otros:
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:			
Lugar:	Huachi Chico, Vía Santa Rosa		
Temperatura Ambiente:	22 °C	Radiación:	123,33W/m ²
Velocidad del aire circundante:	1.33 m/s	Otros:	
PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS :			
Realizado bajo la norma:	ASTM	Designación:	E114-95
Equipo:			

GRÁFICA DE VARIACIÓN DE ESPESORES



Interpretación de resultados: Conforme a los datos recolectados, el material cumple con el espesor requerido, su variación no resulta significativa, recalcando que el material en el que se realizan las pruebas es nuevo.

Tabla 4.4. Resultados de la medición de espesores en la ZONA 5. IZQUIERDA.

Nº de medición	Espesor min. (mm)	Espesor máx. (mm)	Espesor nominal (mm)	Espesor de retiro (mm)	Espesor promedio (mm)
1	4,90	5,20	5,00	3,75	5,05
2	4,90	5,20	5,00	3,75	5,05
3	5,00	5,20	5,00	3,75	5,10
4	4,90	5,20	5,00	3,75	5,05
5	5,00	5,10	5,00	3,75	5,05
6	4,90	5,20	5,00	3,75	5,05
7	5,00	5,20	5,00	3,75	5,10
8	4,80	5,40	5,00	3,75	5,10
9	4,80	5,10	5,00	3,75	4,95
10	4,70	5,10	5,00	3,75	5,05
11	4,70	5,40	5,00	3,75	4,95
12	4,80	5,10	5,00	3,75	4,95
13	4,90	5,20	5,00	3,75	5,05
14	4,90	5,20	5,00	3,75	5,05
15	4,80	5,10	5,00	3,75	4,95
16	4,70	5,20	5,00	3,75	4,95
17	5,00	5,20	5,00	3,75	5,10
18	4,80	5,40	5,00	3,75	5,10
19	4,80	5,00	5,00	3,75	4,90
20	4,80	5,10	5,00	3,75	4,95
21	4,90	5,20	5,00	3,75	5,05
22	4,90	5,20	5,00	3,75	5,05
23	4,80	5,10	5,00	3,75	4,95
24	4,70	5,10	5,00	3,75	5,00
25	4,80	5,20	5,00	3,75	4,90
26	4,80	5,00	5,00	3,75	4,90
27	4,80	5,20	5,00	3,75	5,00
28	5,00	5,20	5,00	3,75	5,10
29	4,70	5,40	5,00	3,75	5,05
30	4,90	5,10	5,00	3,75	5,00
31	4,80	5,20	5,00	3,75	5,00
32	4,70	5,00	5,00	3,75	4,85
				PROMEDIO	5,01 mm

Observación: El espesor está dentro del rango permisible, puesto que el material es nuevo, de lo descrito en catálogos el espesor corresponde a 5 mm.



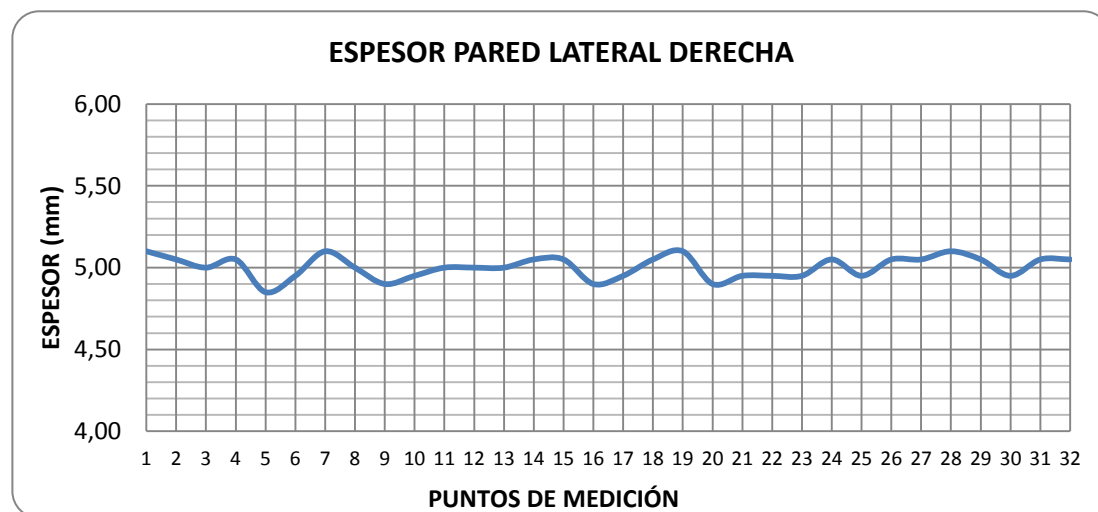
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
INFORME DE ULTRASONIDOS**



DATOS GENERALES:

Tipo de Estudio: De laboratorio	Ensayo N°: 009	Zona: 5	Espesor = 5 mm
Identificación del componente de estudio			
Parte Especifica:	PARED LATERAL DERECHA		
Solicitado por:	IMESCO	Fecha:	23-09-2010
Centro de Estudios y análisis		UTA-FICM-I.M.ESCO	
Realizado Por:	Leonardo Calero	Supervisado por:	Ing. Moretta A.
Material: Acero A36	Dimensiones: 1820x1160x5 mm	Detalle:	Otros:
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:			
Lugar:	Huachi Chico, Vía Santa Rosa		
Temperatura Ambiente:	22 °C	Radiación:	123,33W/m ²
Velocidad del aire circundante:	1.33 m/s	Otros:	
PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS :			
Realizado bajo la norma:	ASTM	Designación:	E114-95
Equipo:			

GRÁFICA DE VARIACIÓN DE ESPESORES



Interpretación de resultados: Conforme a los datos recolectados, el material cumple con el espesor requerido, su variación no resulta significativa, recalcando que el material en el que se realizan las pruebas es nuevo.

Tabla 4.5. Resultados de la medición de espesores en la ZONA 5. DERECHA.

Nº de medición	Espesor min. (mm)	Espesor máx. (mm)	Espesor nominal (mm)	Espesor de retiro (mm)	Espesor promedio (mm)
1	5,00	5,20	5,00	3,75	5,10
2	4,70	5,40	5,00	3,75	5,05
3	4,90	5,10	5,00	3,75	5,00
4	4,90	5,20	5,00	3,75	5,05
5	4,70	5,00	5,00	3,75	4,85
6	4,80	5,10	5,00	3,75	4,95
7	5,00	5,20	5,00	3,75	5,10
8	4,80	5,20	5,00	3,75	5,00
9	4,70	5,10	5,00	3,75	4,90
10	4,80	5,10	5,00	3,75	4,95
11	4,70	5,20	5,00	3,75	5,00
12	4,80	5,20	5,00	3,75	5,00
13	4,80	5,20	5,00	3,75	5,00
14	4,90	5,20	5,00	3,75	5,05
15	5,00	5,10	5,00	3,75	5,05
16	4,80	5,00	5,00	3,75	4,90
17	4,80	5,10	5,00	3,75	4,95
18	4,90	5,20	5,00	3,75	5,05
19	5,00	5,20	5,00	3,75	5,10
20	4,80	5,00	5,00	3,75	4,90
21	4,70	5,20	5,00	3,75	4,95
22	4,80	5,10	5,00	3,75	4,95
23	4,70	5,20	5,00	3,75	4,95
24	4,90	5,20	5,00	3,75	5,05
25	4,80	5,10	5,00	3,75	4,95
26	4,90	5,20	5,00	3,75	5,05
27	4,90	5,20	5,00	3,75	5,05
28	5,00	5,20	5,00	3,75	5,10
29	4,90	5,20	5,00	3,75	5,05
30	4,80	5,10	5,00	3,75	4,95
31	4,90	5,20	5,00	3,75	5,05
32	4,90	5,20	5,00	3,75	5,05
				PROMEDIO	5,00 mm

Observación: El espesor está dentro del rango permisible, puesto que el material es nuevo, de lo descrito en catálogos el espesor corresponde a 5 mm.



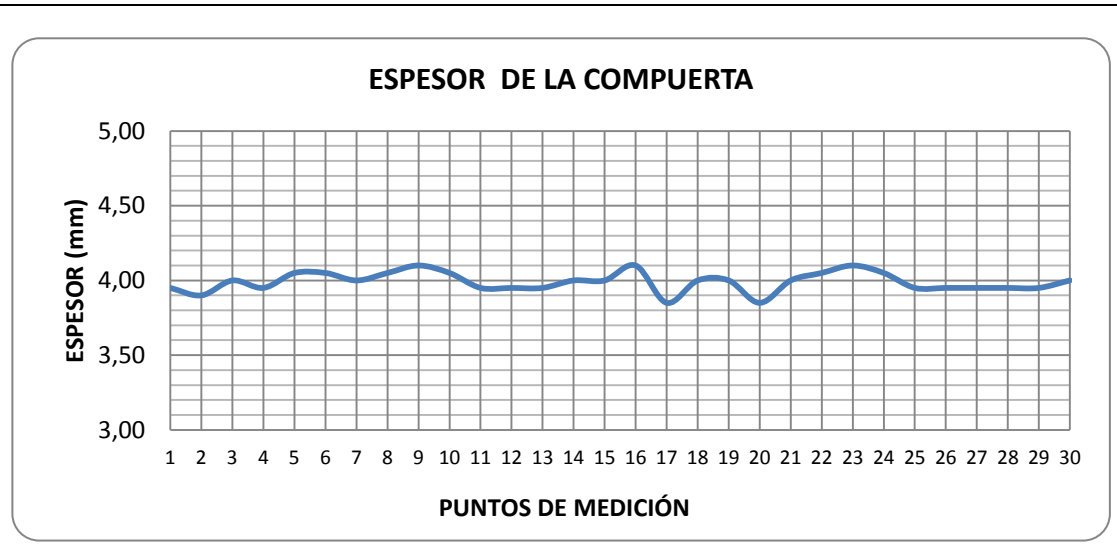
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
INFORME DE ULTRASONIDOS**



DATOS GENERALES:

Tipo de Estudio: De laboratorio	Ensayo N°: 010	Zona: 6	Espesor = 4 mm
Identificación del componente de estudio			
Parte Especifica:	COMPUERTA		
Solicitado por:	IMESCO	Fecha:	25-09-2010
Centro de Estudios y análisis		UTA-FICM-I.M.ESCO	
Realizado Por:	Leonardo Calero	Supervisado por:	Ing. Moretta A.
Material: Acero A36	Dimensiones: 2230x1180x4	Detalle:	Otros:
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:			
Lugar:	Huachi Chico, Vía Santa Rosa		
Temperatura Ambiente:	22 °C	Radiación:	123,33W/m ²
Velocidad del aire circundante:	1.33 m/s	Otros:	
PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS :			
Realizado bajo la norma:	ASTM	Designación:	E114-95
Equipo:			

GRÁFICA DE VARIACIÓN DE ESPESORES



Interpretación de resultados: Conforme a los datos recolectados, el material cumple con el espesor requerido, su variación no resulta significativa, recalcando que el material en el que se realizan las pruebas es nuevo.

Tabla 4.6. Resultados de la medición de espesores en la ZONA 6 COMPUERTA.

Nº de medición	Espesor min. (mm)	Espesor máx. (mm)	Espesor nominal (mm)	Espesor de retiro (mm)	Espesor promedio (mm)
1	3,80	4,10	4,00	3,00	3,95
2	3,70	4,10	4,00	3,00	3,90
3	3,70	4,30	4,00	3,00	4,00
4	3,80	4,10	4,00	3,00	3,95
5	3,90	4,20	4,00	3,00	4,05
6	3,90	4,20	4,00	3,00	4,05
7	3,90	4,10	4,00	3,00	4,00
8	3,90	4,20	4,00	3,00	4,05
9	4,00	4,20	4,00	3,00	4,10
10	3,80	4,30	4,00	3,00	4,05
11	3,70	4,20	4,00	3,00	3,95
12	3,80	4,10	4,00	3,00	3,95
13	3,70	4,20	4,00	3,00	3,95
14	3,80	4,20	4,00	3,00	4,00
15	3,80	4,20	4,00	3,00	4,00
16	4,00	4,20	4,00	3,00	4,10
17	3,70	4,00	4,00	3,00	3,85
18	3,90	4,10	4,00	3,00	4,00
19	3,90	4,10	4,00	3,00	4,00
20	3,70	4,00	4,00	3,00	3,85
21	3,90	4,10	4,00	3,00	4,00
22	3,90	4,20	4,00	3,00	4,05
23	4,00	4,20	4,00	3,00	4,10
24	3,80	4,30	4,00	3,00	4,05
25	3,70	4,20	4,00	3,00	3,95
26	3,80	4,10	4,00	3,00	3,95
27	3,70	4,20	4,00	3,00	3,95
28	3,80	4,10	4,00	3,00	3,95
29	3,70	4,20	4,00	3,00	3,95
30	3,80	4,20	4,00	3,00	4,00
				PROMEDIO	3,99 mm

Observación: El espesor está dentro del rango permisible, puesto que el material es nuevo, de lo descrito en catálogos el espesor corresponde a 4 mm.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA INFORME DE TRACCIÓN	
---	---	---

DATOS GENERALES:

Tipo de Estudio: De Laboratorio	Ensayo N°: 011	Zona: 4
---------------------------------	----------------	---------

IDENTIFICACIÓN DEL COMPONENTE DE ESTUDIO Probetas N° 01-TR hasta 09-TR

Parte Especifica:	PARED FRONTAL		
Solicitado por:	IMESCO	Fecha:	04-10-2010
Centro de Estudios:	Laboratorios FICM-UTA		
Realizado Por:	Leonardo Calero	Supervisado por:	Ing. Moretta A.
Material:	Dimensiones:	Detalle:	Otros:
Aceros A36	500*50*4 mm		ANEXO A8

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:

Lugar:	Laboratorios FICM-UTA		
Temperatura Ambiente:	22 °C	Radiación:	123,33 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	1.33 m/s	Otros:	

PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS :

Realizado bajo la norma:	ASTM	Designación:	E 8M – 04
Equipo:	Máquina Universal, Tinus Holsen		

RESULTADOS DE PRUEBAS (kgf/cm²)									
# de medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fluencia	2500	2400	2600	2300	2800	2750	2500	2700	2600
Carga min.	4100	4300	4300	4200	4000	4100	4100	4000	4200
Carga máx.	5700	5500	5500	5600	5700	5600	5700	5600	5700
Elongación(mm)	21	18	15	19	20	18	21	17	22

Fluencia: 2572,22 Carga min: 4144,44 Carga máx: 5622,22 Elongación:



INTERPRETACION DE RESULTADOS: De datos tomados del ANEXO A8 $S_y = 36\text{KPSI}(2549,3 \text{ kgf/cm}^2)$ comparados al valor de pruebas $S_y' = 2572,22 \text{ kgf/cm}^2$, el material cumple con las especificaciones técnicas del acero A36; así mismo con $S_{ut\text{MIN}} = 400\text{MPa} (4078,86 \text{ kgf/cm}^2)$ y $S_{ut\text{MAX}} = 550\text{MPa} (5608,44 \text{ kgf/cm}^2)$ comparados con los valores de pruebas $S_{ut'\text{MIN}} = 4144,44 \text{ kgf/cm}^2$ y $S_{ut'\text{MAX}} = 5622,2 \text{ kgf/cm}^2$, el material cumple satisfactoriamente con las especificaciones del límite de fluencia y resistencia a la tracción.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA INFORME DE TRACCIÓN	
---	---	---

DATOS GENERALES:

Tipo de Estudio: De Laboratorio	Ensayo N°: 012	Zona: 5	
---------------------------------	----------------	---------	--

IDENTIFICACIÓN DEL COMPONENTE DE ESTUDIO Probetas N° 10-TR a la 18-TR

Parte Especifica:	PARED LATERAL IZQUIERDA		
Solicitado por:	IMESCO	Fecha:	06-10-2010
Centro de Estudios:	Laboratorios FICM-UTA		
Realizado Por:	Leonardo Calero	Supervisado por:	Ing. Moretta A.
Material: Acero A36	Dimensiones: 500*50*5 mm	Detalle:	Otros: ANEXO A8

PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:

Lugar:	Laboratorios FICM-UTA		
Temperatura Ambiente:	22 °C	Radiación:	123,33 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	1.33 m/s	Otros:	

PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS :

Realizado bajo la norma:	ASTM	Designación:	E 8M – 04
Equipo:	Máquina Universal, Tinus Holsen		

RESULTADOS DE PRUEBAS (kgf/ cm²)

# de medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fluencia	2650	2530	2600	2550	2420	2550	2600	2500	2530
Carga min.	4080	4000	4210	4080	4050	4100	4250	4180	4100
Carga máx.	5630	5700	5620	5500	5550	5620	5650	5600	5580
Elongación(mm)	1	21	17	16	16	18	20	18	16



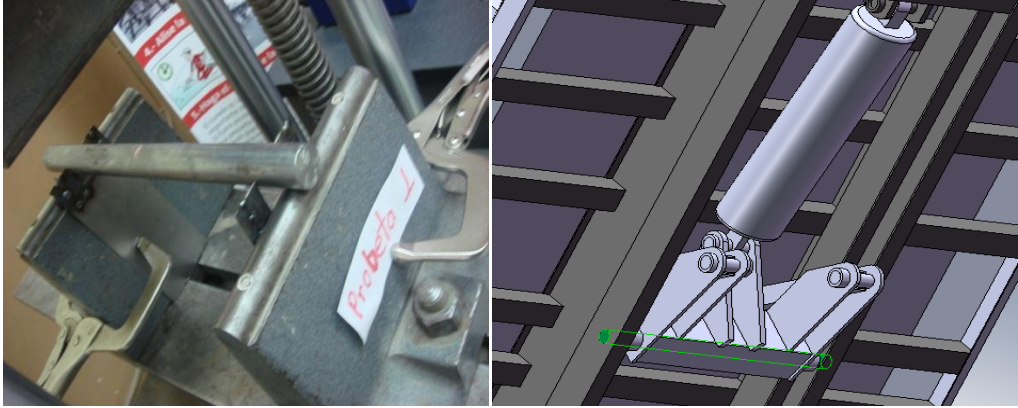
Fluencia: 2547,78	Carga min: 4116,67	Carga máx: 5605,56	Elongación:
--------------------------	---------------------------	---------------------------	--------------------



INTERPRETACION DE RESULTADOS: De datos tomados del ANEXO A8 $S_y = 36\text{KPSI}(2549,3 \text{ kgf/cm}^2)$ comparados al valor de pruebas $S_y' = 2547,78 \text{ kgf/cm}^2$, el material cumple con las especificaciones técnicas del acero A36; así mismo con $S_{ut\text{MIN}} = 400\text{MPa} (4078,86 \text{ kgf/cm}^2)$ y $S_{ut\text{MAX}} = 550\text{MPa} (5608,44 \text{ kgf/cm}^2)$ comparados con los valores de pruebas $S_{ut'\text{MIN}} = 4116,467 \text{ kgf/cm}^2$ y $S_{ut'\text{MAX}} = 5605,56 \text{ kgf/cm}^2$, el material cumple satisfactoriamente con las especificaciones del límite de fluencia y resistencia a la tracción.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA INFORME DE TRACCIÓN								
DATOS GENERALES:									
Tipo de Estudio: De Laboratorio	Ensayo N°: 013	Zona: 5							
IDENTIFICACIÓN DEL COMPONENTE DE ESTUDIO		Probetas N° 18-TR a la 27-TR							
Parte Especifica:	PARED LATERAL DERECHA								
Solicitado por:	IMESCO	Fecha: 06-10-2010							
Centro de Estudios:	Laboratorios FICM-UTA								
Realizado Por:	Leonardo Calero	Supervisado por: Ing. Moretta A.							
Material: Acero A36	Dimensiones: 500*50*5 mm	Detalle: Otros: ANEXO A8							
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:									
Lugar:	Laboratorios FICM-UTA								
Temperatura Ambiente:	22 °C	Radiación: 123,33 W/m ^A 2							
Velocidad del aire circundante:	1.33 m/s	Otros:							
PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS :									
Realizado bajo la norma:	ASTM	Designación: E 8M – 04							
Equipo:	Máquina Universal, Tinus Holsen								
RESULTADOS DE PRUEBAS (kgf/ cm²)									
# de medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Carga min.	2600	2500	2610	2480	2530	2500	2610	2550	2580
Fluencia	4110	4050	4200	4150	4080	4120	4100	4120	4180
Carga máx.	5600	5580	5600	5650	5610	5550	5600	5630	5570
Elongación(mm)	18	16	17	18	17	16	18	17	16
Fluencia: 2551,11	Carga min: 4123,33			Carga máx: 5598,89			Elongación:		
									
<p>INTERPRETACION DE RESULTADOS: De datos tomados del ANEXO A8 $S_y = 36\text{KPSI}(2549,3 \text{ kgf/cm}^2)$ comparados al valor de pruebas $S_y' = 2551,11 \text{ kgf/cm}^2$, el material cumple con las especificaciones técnicas del acero A36; así mismo con $S_{ut_{\text{MIN}}} = 400\text{MPa} (4078,86 \text{ kgf/cm}^2)$ y $S_{ut_{\text{MAX}}} = 550\text{MPa} (5608,44 \text{ kgf/cm}^2)$ comparados con los valores de pruebas $S_{ut'_{\text{MIN}}} = 4123,33 \text{ kgf/cm}^2$ y $S_{ut'_{\text{MAX}}} = 5598,89 \text{ kgf/cm}^2$, el material cumple satisfactoriamente con las especificaciones del límite de fluencia y resistencia a la tracción.</p>									

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA INFORME DE TRACCIÓN							
DATOS GENERALES:									
Tipo de Estudio: De Laboratorio		Ensayo N°: 014		Zona: 6					
IDENTIFICACIÓN DEL COMPONENTE DE ESTUDIO				Probetas N° 27-TR a la 36-TR					
Parte Especifica:		COMPUERTA							
Solicitado por:		IMESCO		Fecha:		08-10-2010			
Centro de Estudios:		Laboratorios FICM-UTA							
Realizado Por:		Leonardo Calero		Supervisado por:		Ing. Moretta A.			
Material: Acero A36		Dimensiones: 500*50*4 mm		Detalle:		Otros: ANEXO A8			
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:									
Lugar:		Laboratorios FICM-UTA							
Temperatura Ambiente:		22 °C		Radiación:		123,33 W/m ²			
Velocidad del aire circundante:		1.33 m/s		Otros:					
PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS :									
Realizado bajo la norma:		ASTM		Designación:		E 8M – 04			
Equipo:		Máquina Universal, Tinus Holsen							
RESULTADOS DE PRUEBAS (kgf / cm²)									
# de medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Carga min.	2620	2600	2550	2580	2650	2600	2500	2580	2600
Fluencia	4000	4100	4050	4080	4000	4070	4100	4130	4180
Carga máx.	5680	5500	5580	5600	5650	5570	5500	5520	5500
Elongación(mm)	18	16	17	17	18	16	16	15	15
Fluencia: 2586,67		Carga min: 4078,89		Carga máx: 5566,67		Elongación:			
									
INTERPRETACION DE RESULTADOS: De datos tomados del ANEXO A8 $S_y = 36\text{KPSI}(2549,3 \text{ kgf/cm}^2)$ comparados al valor de pruebas $S_y' = 2586,67 \text{ kgf/cm}^2$, el material cumple con las especificaciones técnicas del acero A36; así mismo con $S_{ut_MIN} = 400\text{MPa} (4078,86 \text{ kgf/cm}^2)$ y $S_{ut_MAX} = 550\text{MPa} (5608,44 \text{ kgf/cm}^2)$ comparados con los valores de pruebas $S_{ut_MIN}' = 4078,89 \text{ kgf/cm}^2$ y $S_{ut_MAX}' = 5566,67 \text{ kgf/cm}^2$, el material cumple satisfactoriamente con las especificaciones del límite de fluencia y resistencia a la tracción.									

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA INFORME DE FLEXIÓN							
DATOS GENERALES:									
Tipo de Estudio: De Laboratorio		Ensayo N°: 015		Zona: 1					
Identificación del componente de estudio				Probetas N° 01-FL a la 09-FL					
Parte Especifica:		Base de la tortuga							
Solicitado por:		IMESCO		Fecha:		12-10-2010			
Centro de Estudios y análisis:		Laboratorios FICM-UTA							
Realizado Por:		Leonardo Calero		Supervisado por:		Ing. Moretta A.			
Material: Acero SAE 1018		Dimensiones (mm): D=31,75; L=317,5		Detalle: Sy= 240MPa(2447,32kgf/cm ²)		Otros: ANEXO A7			
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:									
Lugar:		Laboratorios FICM-UTA							
Temperatura Ambiente:		22 °C		Radiación:		123,33 W/m ²			
Velocidad del aire circundante:		1.33 m/s		Otros:					
PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS :									
Realizado bajo la norma:		ASTM		Designación:		E8			
Equipo:		Máquina Universal, Tinus Holsen							
RESULTADOS DE PRUEBAS (kgf/ cm²)									
N °	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Carga min.	2500	2400	2450	2500	2380	2480	2410	2500	2400
Carga máx.	3120	2890	2900	3000	2800	2900	2900	3100	2950
Carga min. Promedio: 2446,67 kgf/ cm ²					Carga máx. Promedio: 2951,11 kgf/ cm ²				
									
<p>Interpretación de resultados: De las pruebas realizadas se ha obtenido el valor mínimo y máximo de carga admisible en flexión para las probetas descritas. El valor mínimo representa la carga con la cual el eje presenta la mínima deformación permisible (2446,67 kgf/ cm²), mientras que el valor máximo representa el valor para el cuál el eje falla por flexión, (2951,11 kgf/ cm²); siendo el límite de fluencia del material Sy= 2447,32 kgf/cm², por lo cual el material no presenta problemas para estas pruebas.</p>									

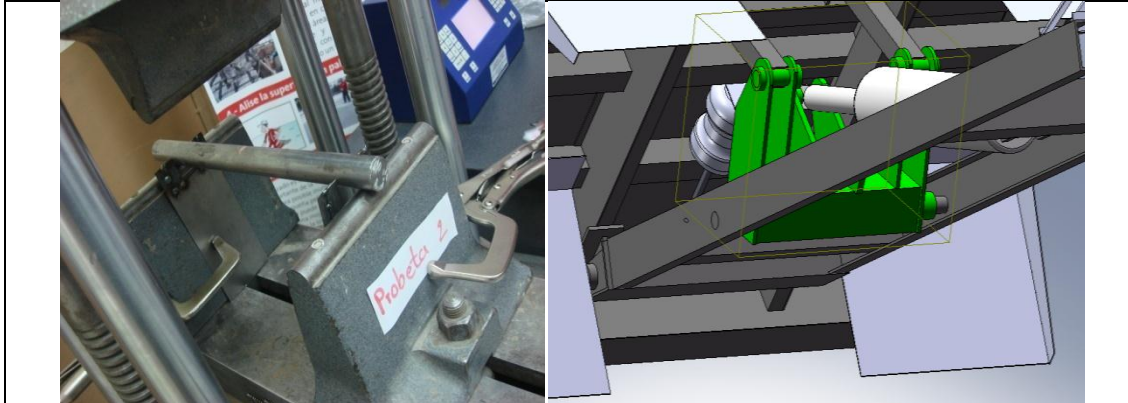
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA INFORME DE FLEXIÓN	
---	--	---

DATOS GENERALES:			
Tipo de Estudio: De Laboratorio	Ensayo N°: 016	Zona: 1	
Identificación del componente de estudio		Probetas N° 10-FL a la 18-FL	
Parte Especifica:	Eje de volteo de la tolva		
Solicitado por:	IMESCO	Fecha:	12-10-2010
Centro de Estudios y análisis:	Laboratorios FICM-UTA		
Realizado Por:	Leonardo Calero	Supervisado por:	Ing. Moretta A.
Material: Acero SAE 1018	Dimensiones (mm): D=31,75; L=317,5	Detalle: Sy= 240MPa(2447,32kgf/cm ²)	Otros: ANEXO A7




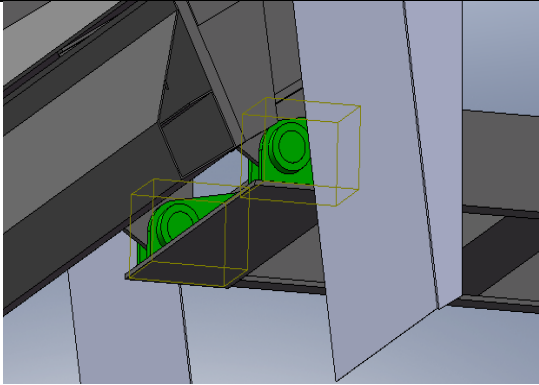
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:			
Lugar:	Laboratorios FICM-UTA		
Temperatura Ambiente:	22 °C	Radiación:	123,33 W/m ²
Velocidad del aire circundante:	1.33 m/s	Otros:	




PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS :			
Realizado bajo la norma:	ASTM	Designación:	E8
Equipo:	Máquina Universal, Tinus Holsen		





RESULTADOS DE PRUEBAS (kgf/ cm²)									
N °	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Carga min.	2400	2500	2500	2550	2470	2500	2400	2400	2500
Carga max.	2800	3100	3100	2900	2850	3000	2950	2790	2800
Carga min. Promedio: 2468,88 kgf/ cm²					Carga max. Promedio: 2921,11 kgf/ cm²				








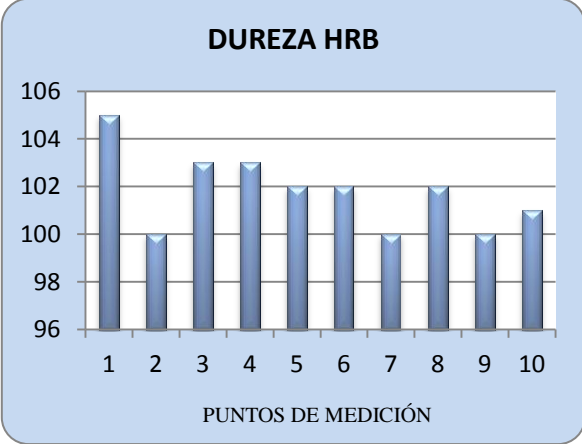

Interpretación de resultados: De las pruebas realizadas se ha obtenido el valor mínimo y máximo de carga admisible en flexión para las probetas descritas. El valor mínimo representa la carga con la cual el eje presenta la mínima deformación permisible (2468,88 kgf/ cm²), mientras que el valor máximo representa el valor para el cuál el eje falla por flexión (2921,11 kgf/ cm²); siendo el límite de fluencia del material Sy= 2447,32 kgf/cm², por lo cual el material no presenta problemas para estas pruebas.



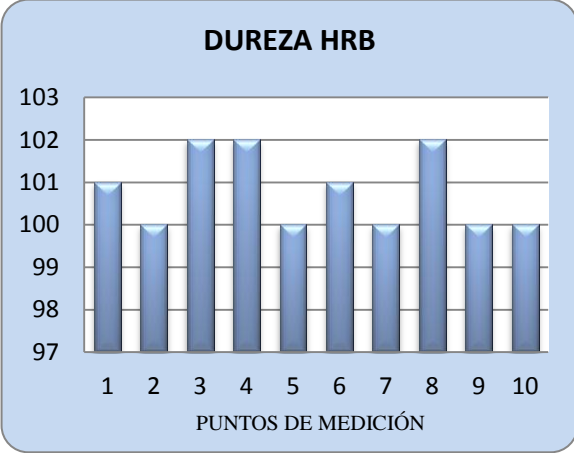

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA INFORME DE FLEXIÓN							
DATOS GENERALES:									
Tipo de Estudio: De Laboratorio		Ensayo N°: 017		Zona: 1					
Identificación del componente de estudio				Probetas N° 19-FL a la 27-FL					
Parte Especifica:		Ejes de volteo de la tolva							
Solicitado por:		IMESCO		Fecha:		12-10-2010			
Centro de Estudios y análisis:		Laboratorios FICM-UTA							
Realizado Por:		Leonardo Calero		Supervisado por:		Ing. Moretta A.			
Material: Acero SAE 1018		Dimensiones: D=31,75; L=317,5		Detalle: Sy= 240MPa(2447,32kgf/cm ²)		Otros: ANEXO A7			
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:									
Lugar:		Laboratorios FICM-UTA							
Temperatura Ambiente:		22 °C		Radiación:		123,33 W/m ^A 2			
Velocidad del aire circundante:		1.33 m/s		Otros:					
PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS :									
Realizado bajo la norma:		ASTM		Designación:		E8			
Equipo:		Máquina Universal, Tinus Holsen							
RESULTADOS DE PRUEBAS (kgf/ cm²)									
N °	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Carga min.	2500	2400	2390	2410	2500	2500	2400	2390	2500
Carga máx.	2900	2990	2310	2970	2800	2850	3050	2970	3000
Carga min. Promedio: 2433,33 kgf/ cm²					Carga máx. Promedio: 2871,11kgf/ cm²				
									
<p>Interpretación de resultados: De las pruebas realizadas se ha obtenido el valor mínimo y máximo de carga admisible en flexión para las probetas descritas. El valor mínimo representa la carga con la cual el eje presenta la mínima deformación permisible (2433,33 kgf/ cm²), mientras que el valor máximo representa el valor para el cuál el eje falla por flexión (2871,11 kgf/ cm²); siendo el límite de fluencia del material Sy= 2447,32 kgf/cm², por lo cual el material no presenta problemas para estas pruebas.</p>									



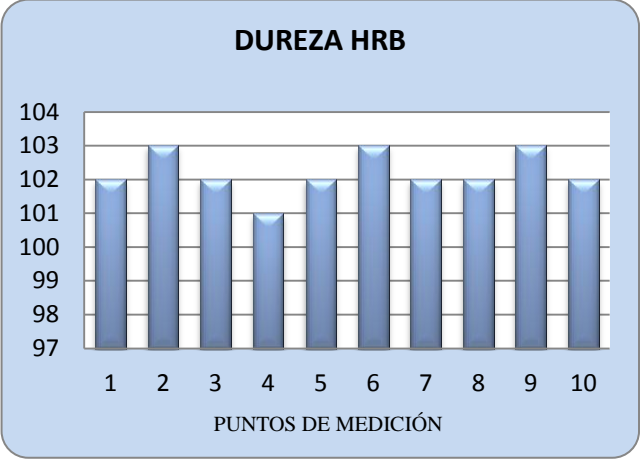
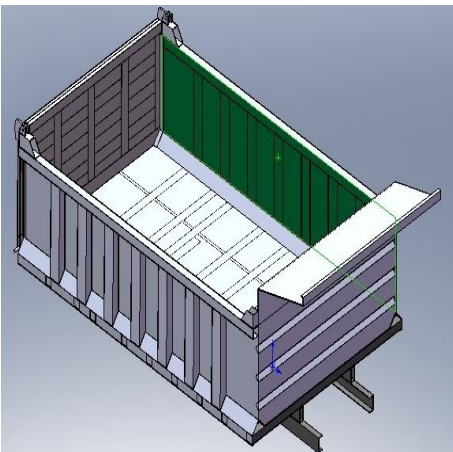
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA INFORME DE COMPRESIÓN					
DATOS GENERALES:							
Tipo de Estudio: De Laboratorio		Ensayo N°: 018		Zona: 1			
Identificación del componente de estudio				Probetas N° 01-COM a la 07-COM			
Parte Especifica:		Base de la tortuga					
Solicitado por:		IMESCO		Fecha:		12-10-2010	
Centro de Estudios y análisis:		Laboratorios FICM-UTA					
Realizado Por:		Leonardo Calero		Supervisado por:		Ing. Moretta A.	
Material: Acero SAE 1018		Dimensiones (plg): D=25,4; L=76,2		Detalle: Sy= 32KPSI E= 29700KPSI		Otros: ANEXO A7	
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:							
Lugar:		Laboratorios FICM-UTA					
Temperatura Ambiente:		22 °C		Radiación:		123,33 W/m ²	
Velocidad del aire circundante:		1.33 m/s		Otros:			
PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS :				Columna de doble empotramiento (C=1)			
Realizado bajo la norma:		ASTM		Designación:		E9-89a	
Equipo:		Máquina de compresión, SOIL TEST					
RESULTADOS DE PRUEBAS (Lbf)							
Medición N °	1	2	3	4	5	6	7
Carga mín.	32000	28000	30000	35000	30000	31000	32000
Carga máx.	55000	58000	56000	58000	59000	59000	58000
Carga mín. Promedio: 31142,86 lbf				Carga máx. Promedio: 57571,43 lbf			
				$\frac{P_{cr}}{A} = \frac{C \cdot \pi^2 \cdot E}{(L/\rho)^2}$ $\frac{P_{cr}}{0,78plg^2} = \frac{1 \times \pi^2 \times 29700KPSI}{(3plg/0,25plg)^2}$ $P_{cr} = 25034lbf$			
Interpretación de resultados: De las pruebas realizadas se ha obtenido el valor mínimo y máximo de carga admisible en compresión para las probetas descritas. El valor mínimo representa la carga con la cual el eje presenta deformación (31142,86 lbf), valor superior al calculado de acuerdo a la norma ASTM E9-89a, esto debido a que las condiciones de empotramiento no son exactas, mientras que el valor máximo representa el valor para el cuál el eje falla por compresión, (57571,43 lbf).							



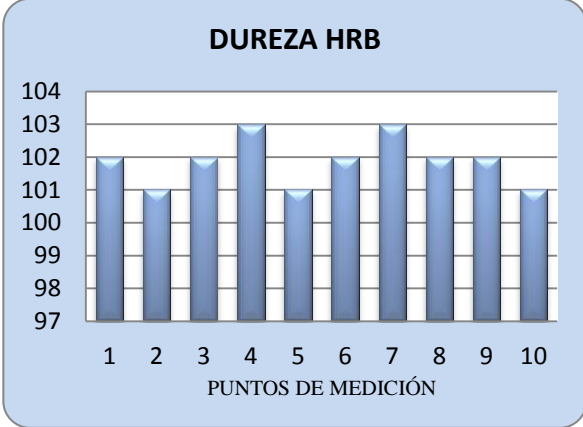
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA INFORME DE COMPRESIÓN					
DATOS GENERALES:							
Tipo de Estudio: De Laboratorio		Ensayo N°: 019		Zona: 1			
Identificación del componente de estudio				Probetas N° 08-COM a la 14-COM			
Parte Especifica:		Eje de volteo de la tolva					
Solicitado por:		IMESCO		Fecha:		12-10-2010	
Centro de Estudios y análisis:		Laboratorios FICM-UTA					
Realizado Por:		Leonardo Calero		Supervisado por:		Ing. Moretta A.	
Material: Acero SAE 1018		Dimensiones (mm): D=25,4; L=76,2		Detalle: Sy= 32KPSI E= 29700KPSI		Otros: ANEXO A7	
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:							
Lugar:		Laboratorios FICM-UTA					
Temperatura Ambiente:		22 °C		Radiación:		123,33 W/m ²	
Velocidad del aire circundante:		1.33 m/s		Otros:			
PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS :				Columna de doble empotramiento (C=1)			
Realizado bajo la norma:		ASTM		Designación:		E9-89a	
Equipo:		Máquina de compresión, SOIL TEST					
RESULTADOS DE PRUEBAS (Lbf)							
N °	1	2	3	4	5	6	7
Carga min.	29000	27000	28000	32000	29000	30000	32000
Carga max.	60000	59000	61000	58000	57000	61000	60000
Carga min. Promedio: 29571,43lbf				Carga máx. Promedio: 50714,29lbf			
							
<p>Interpretación de resultados: De las pruebas realizadas se ha obtenido el valor mínimo y máximo de carga admisible en compresión para las probetas descritas. El valor mínimo representa la carga con la cual el eje presenta deformación (29571,43 lbf), valor superior al calculado de acuerdo a la norma ASTM E9-89a, esto debido a que las condiciones de empotramiento no son exactas, mientras que el valor máximo representa el valor para el cuál el eje falla por compresión, (50714,29 lbf).</p>							

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA INFORME DE COMPRESIÓN					
DATOS GENERALES:							
Tipo de Estudio: De Laboratorio		Ensayo N°: 020		Zona: 1			
Identificación del componente de estudio				Probetas N° 15-COM a la 21-COM			
Parte Especifica:		Ejes de volteo de la tolva					
Solicitado por:		IMESCO		Fecha:		12-10-2010	
Centro de Estudios y análisis:		Laboratorios FICM-UTA					
Realizado Por:		Leonardo Calero		Supervisado por:		Ing. Moretta A.	
Material: Acero SAE 1018		Dimensiones: D=31,75; L=317,5		Detalle: Sy= 32KPSI E= 29700KPSI		Otros: ANEXO A7	
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:							
Lugar:		Laboratorios FICM-UTA					
Temperatura Ambiente:		22 °C		Radiación:		123,33 W/m ²	
Velocidad del aire circundante:		1.33 m/s		Otros:			
PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS :				Columna de doble empotramiento (C=1)			
Realizado bajo la norma:		ASTM		Designación:		E9-89a	
Equipo:		Máquina de compresión, SOIL TEST					
RESULTADOS DE PRUEBAS (Lbf)							
N °	1	2	3	4	5	6	7
Carga min.	30000	32000	30000	28000	35000	30000	32000
Carga máx.	58000	57000	59000	55000	60000	58000	57000
Carga min. Promedio: 31000lbf				Carga máx. Promedio: 57714,29 lbf			
							
Interpretación de resultados: De las pruebas realizadas se ha obtenido el valor mínimo y máximo de carga admisible en compresión para las probetas descritas. El valor mínimo representa la carga con la cual el eje presenta deformación (31000 lbf), valor superior al calculado de acuerdo a la norma ASTM E9-89a, esto debido a que las condiciones de empotramiento no son exactas, mientras que el valor máximo representa el valor para el cuál el eje falla por compresión, (57714,29lbf).							

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA ENSAYO DE DUREZA BRINELL								
DATOS GENERALES:										
Tipo de Estudio: De laboratorio		Ensayo N°: 021		Zona: 3						
IDENTIFICACIÓN DEL COMPONENTE DE ESTUDIO					Probetas N° 01D a la 10D					
Parte Especifica:		PISO								
Solicitado por:		IMESCO		Fecha:		02-09-2010				
Centro de Estudios y análisis		Laboratorios FICM-UTA								
Realizado Por:		Leonardo Calero		Supervisado por:		Ing. Moretta A.				
Material: Acero ASTM A36		Dimensiones: 50*10*5 mm		Detalle: ANEXO A8-A9		Otro: HRB = 99				
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:										
Lugar:		Laboratorios FICM-UTA								
Temperatura Ambiente:		22 °C		Radiación:		123,33 W/m ²				
Velocidad del aire circundante:		1.33 m/s		Otros:						
PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS :										
Realizado bajo la norma:		ASTM		Designación:		E92-82				
Equipo:		Durómetro Rockwell CV60								
Mediciones(mm)										
Punto de medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
HRB	105	100	103	103	102	102	100	102	100	101
RESULTADO PROMEDIO = 101.8 HRB										
FOTOGRAFÍA										
										
Interpretación de resultados: De los datos obtenidos, el valor real del acero estructural es HRB = 99, y en las pruebas el valor promedio es HRB = 101.8, por tanto la dureza está en un rango aceptable.										

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA ENSAYO DE DUREZA BRINELL								
DATOS GENERALES:										
Tipo de Estudio: De laboratorio		Ensayo N°: 022		Zona: 4						
IDENTIFICACIÓN DEL COMPONENTE DE ESTUDIO				Probetas N° 11D a la 20D						
Parte Especifica:		PARED FRONTAL								
Solicitado por:		IMESCO		Fecha:		02-09-2010				
Centro de Estudios y análisis		Laboratorios FICM-UTA								
Realizado Por:		Leonardo Calero		Supervisado por:		Ing. Moretta A.				
Material: Acero ASTM A36		Dimensiones: 50*10*4 mm		Detalle: ANEXO A8-A9		Otro: HRB = 99				
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:										
Lugar:		Laboratorios FICM-UTA								
Temperatura Ambiente:		22 °C		Radiación:		123,33 W/m ²				
Velocidad del aire circundante:		1.33 m/s		Otros:						
PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS :										
Realizado bajo la norma:		ASTM		Designación:		E92-82				
Equipo:		Durómetros Rockwell CV60								
Mediciones(mm)										
Punto de medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
HRB	101	100	102	102	100	101	100	102	100	100
RESULTADO PEROMEDIO = 100.8 HRB										
FOTOGRAFÍA										
										
Interpretación de resultados: De los datos obtenidos, el valor real del acero estructural es HRB = 99, y en las pruebas HRB = 100.8, por tanto la dureza está en un rango aceptable.										

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA ENSAYO DE DUREZA BRINELL								
DATOS GENERALES:										
Tipo de Estudio: De laboratorio			Ensayo N°: 023		Zona: 5					
IDENTIFICACIÓN DEL COMPONENTE DE ESTUDIO					Probetas N° 21D a la 30D					
Parte Especifica:		PARED LATERAL								
Solicitado por:		IMESCO			Fecha:		02-09-2010			
Centro de Estudios y análisis		Laboratorios FICM-UTA								
Realizado Por:		Leonardo Calero		Supervisado por:		Ing. Moretta A.				
Material: Acero ASTM A36		Dimensiones: 50*10*5 mm		Detalle: ANEXO A8-A9		Otro: HRB = 99				
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:										
Lugar:		Laboratorios FICM-UTA								
Temperatura Ambiente:		22 °C		Radiación:		123,33 W/m ²				
Velocidad del aire circundante:		1.33 m/s		Otros:						
PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS :										
Realizado bajo la norma:		ASTM		Designación:		E92-82				
Equipo:		Durómetros Rockwell CV60								
Mediciones(mm)										
Punto de medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
HRB	102	103	102	101	102	103	102	102	103	102
RESULTADO PROMEDIO = 102.2 HRB										
FOTOGRAFÍA										
										
Interpretación de resultados: De los datos obtenidos, el valor real del acero estructural es HRB = 99, y en las pruebas HRB = 102.2, por lo cual la dureza está en un rango aceptable.										

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA ENSAYO DE DUREZA BRINELL								
DATOS GENERALES:										
Tipo de Estudio: De laboratorio		Ensayo N°: 024		Zona: 3						
IDENTIFICACIÓN DEL COMPONENTE DE ESTUDIO					Probetas N° 31D a la 40D					
Parte Especifica:		PISO								
Solicitado por:		IMESCO		Fecha:		02-09-2010				
Centro de Estudios y análisis		Laboratorios FICM-UTA								
Realizado Por:		Leonardo Calero		Supervisado por:		Ing. Moretta A.				
Material: Acero ASTM A36		Dimensiones: 50*10*5 mm		Detalle: ANEXO A8-A9		Otro: HRB = 99				
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:										
Lugar:		Laboratorios FICM-UTA								
Temperatura Ambiente:		22 °C		Radiación:		123,33 W/m ²				
Velocidad del aire circundante:		1.33 m/s		Otros:						
PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS :										
Realizado bajo la norma:		ASTM		Designación:		E92-82				
Equipo:		Durómetros Rockwell CV60								
Mediciones(mm)										
Punto de medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
HRB	102	101	102	103	101	102	103	102	102	101
RESULTADO promedio = 102 HRB										
FOTOGRAFÍA										
										
Interpretación de resultados: De los datos obtenidos, el valor real del acero estructural es HRB=99, y en las pruebas HRB = 102, por lo cual la dureza está en un rango aceptable.										



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
INFORME METALOGRAFICO**



DATOS GENERALES:

Tipo de Estudio: De laboratorio	Ensayo N°: 25	Zona: 3	Verificación de material
------------------------------------	---------------	---------	-----------------------------

Identificación del componente de estudio

Parte Especifica:	PISO		
Solicitado por:	IMESCO	Fecha:	23-02-2012
Centro de Estudios y análisis		UTA-FICM	
Realizado Por:	Leonardo Calero	Supervisado por:	Ing. Moretta A.
Material: Por verificar	Dimensiones:	Detalle:	Otros:

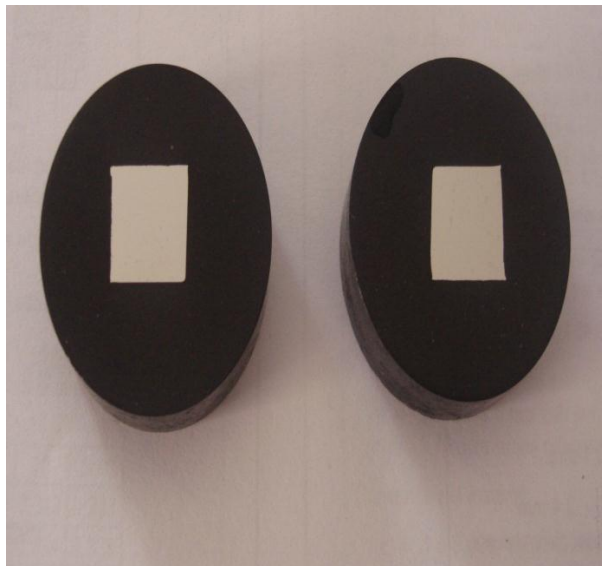
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:

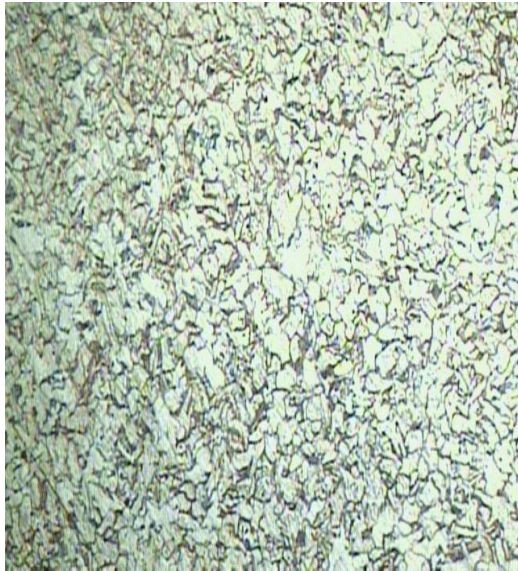

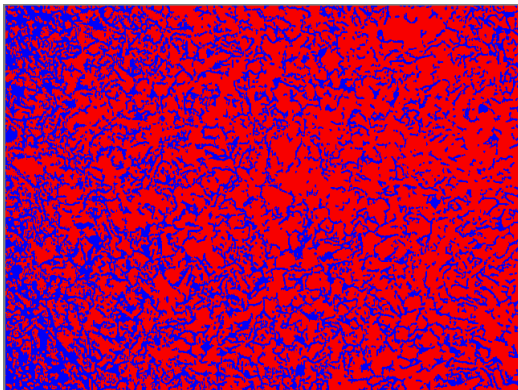
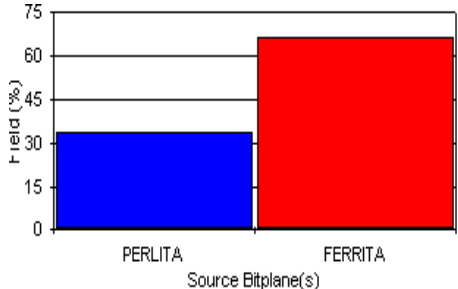
Lugar:	Sector de Huachi Chico / Campus Universitario UTA		
Temperatura Ambiente:	22 °C	Radiación:	123,33W/m ^A 2
Velocidad del aire circundante:	1.33 m/s	Otros:	



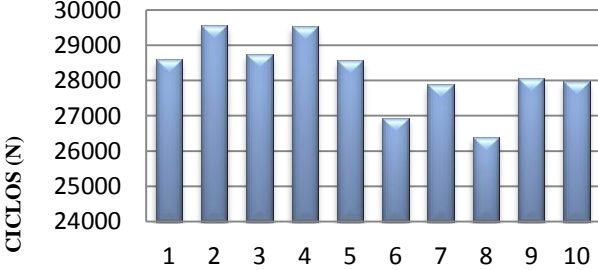
PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS :

Realizado bajo la norma:	ASTM	Designación:	E112
Superficie acondicionada por:	Pulido mecánico		
Temperatura:	20.5 °C	Tiempo de pulido:	110 min
Ataque químico con:	NITAL 4	Tiempo:	4sg

RESULTADO



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA							
MICROESTRUCTURA A 100X	MICROESTRUCTURA A 400X						
							
Componentes:							
Componentes micro estructurales:	Porcentajes:						
	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>S. Bitplane(s)</th> <th>Field (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PERLITA</td> <td>33,3</td> </tr> <tr> <td>FERRITA</td> <td>66,7</td> </tr> </tbody> </table>	S. Bitplane(s)	Field (%)	PERLITA	33,3	FERRITA	66,7
S. Bitplane(s)	Field (%)						
PERLITA	33,3						
FERRITA	66,7						
Resistencia a la tracción aproximada (R.T.A):							
Cálculo							
$R.T.A = \frac{28x(\%Ferrita) + 84x(\$Perlita)}{100} = \frac{28x66,7 + 84x33,3}{100}$							
R.T.A = 4664,8 kg/cm ² = 457,4 MPa	R.T. (Anexo A8)= De 400MPa – 550MPa						
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS:							
<p>Se determinó que la microestructura obtenida corresponde al Acero ASTM A36, por cuando la resistencia a la tracción teórica se encuentra dentro del rango de la resistencia a la tracción correspondiente al dato bibliográfico: 400 < RTA < 550 MPa.</p>							

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA ENSAYO DE FATIGA									
DATOS GENERALES:										
Tipo de Estudio: De laboratorio	Ensayo N°: 026	EJES BASE								
IDENTIFICACIÓN DEL COMPONENTE DE ESTUDIO		Probetas N° 01FAT a la 10FAT								
Parte Especifica:	BASE									
Solicitado por:	IMESCO	Fecha: 05-10-2010								
Centro de Estudios y análisis	Laboratorios FICM-UTA									
Realizado Por:	Leonardo Calero	Supervisado por: Ing. Moretta A.								
Material: Acero AISI 1018	Dimensiones: D= 6,35 mm, L= 0,17m	Detalle: ANEXO A7 Otro: E=207GPa								
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:										
Lugar:	Laboratorios FICM-UTA									
Temperatura Ambiente:	22 °C	Radiación: 123,33 W/m ²								
Velocidad del aire circundante:	1.33 m/s	Otros:								
PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS :										
Realizado bajo la norma:	ASTM	Designación: E-606								
Equipo:	Máquina de fatiga UTA									
Potencia:	1,5 KW a 1700rpm	Fuerza = 300N Probeta sin cambio de sección								
Mediciones(mm)										
# de ensayo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CICLOS	28600	29565	28754	29542	28568	26943	27896	26383	28056	27986
RESULTADO promedio = 28229,3 CICLOS										
FOTOGRAFÍA										
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div data-bbox="282 1222 943 1635"> <p style="text-align: center;">CICLOS DE FATIGA</p>  </div> <div data-bbox="943 1222 1409 1635"> $N = 10^{\frac{c}{b}} \times S_f^{\frac{1}{b}}$ <p>Siendo: $S_f = 294.25 \text{ KPSI}$</p> <p>$a = 0.9; b = -0.085; c = 2.853$</p> <p>$N = 32.07 \times 10^3 \text{ CICLOS}$</p> </div> </div>										
Interpretación de resultados: De los datos obtenidos, la vida útil de las probetas sometidas a fatiga presentan una duración aproximada de $28,3 \times 10^3$ CICLOS, valor cercano al calculado, $N = 32,07 \times 10^3$ CICLOS, concluyendo que el material se encuentra en un valor aceptable de resistencia a la fatiga.										
NOTA: Este ensayo se realizó en la máquina de fatiga del Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la UTA, debiendo indicar que ésta máquina no es certificada ni calibrada, por lo que estos resultados servirán únicamente como guía.										

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA ENSAYO CONTRA ACRIDUD									
DATOS GENERALES:											
Tipo de Estudio: De laboratorio		Ensayo N°: 027		Zona: 3							
IDENTIFICACIÓN DEL COMPONENTE DE ESTUDIO						Probetas N° 27-TR a la 36-TR					
Parte Especifica:		Probetas de tracción									
Solicitado por:		IMESCO		Fecha:		02-03-2012					
Centro de Estudios y análisis		Laboratorios FICM-UTA									
Realizado Por:		Leonardo Calero		Supervisado por:		Ing. Moretta A.					
Material: Acero ASTM A36		Dimensiones: 500*50*5 mm		Detalle: ANEXO A8-A9		Otro: HRB = 99					
PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:											
Lugar:		Laboratorios FICM-UTA									
Temperatura Ambiente:		22 °C		Radiación:		123,33 W/m ^A 2					
Velocidad del aire circundante:		1.33 m/s		Otros:							
PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE RESULTADOS :											
Equipo de medición		Durómetros Rockwell CV60									
Equipo de recocido		Horno I.M.ESCO		Temperatura: 750°C		T. de enfriamiento: 3 Horas					
Mediciones(mm)											
Punto de medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Prom.
HRB por acritud	108	110	109	115	112	115	113	110	120	110	112.2
HRB contra acritud(Recocido)	69	75	72	76	75	76	75	73	77	70	73.8
RESULTADO promedio = 131.72 HRB											
FOTOGRAFÍA											
											
<p>Interpretación de resultados: De los datos obtenidos, el valor real del acero estructural ASTM A36 es HRB=99, y en las pruebas el endurecimiento por acritud es HRB = 112.3, con un aumento significativo del 13% en la dureza; al contrario al realizar el recocido contra acritud HRB = 73.8, representa una disminución de la dureza de un 25.5%. De esto se puede concluir que en este tipo de ensayos las propiedades del material varían significativamente sin opción a la recuperación de sus características originales, de acuerdo a lo expuesto en este informe.</p>											
<p>NOTA: El recocido de este ensayo se realizó en la planta de producción de I.M.ESCO, debiendo indicar que el horno no es certificado por lo que estos resultados servirán únicamente como guía.</p>											

4.2.1 EDUCACIÓN DEL PERSONAL DE I.M.ESCO

En cuanto al nivel de preparación del personal y criterio del autor del presente trabajo de tesis se procedió con la evaluación del personal en base a su educación personal y cargo desempeñado en cada proceso, según lo descrito en la sección 4.1.

Tabla 4.7. Educación y experiencia del personal de I.M.ESCO

Sección	Personal	EDUCACIÓN PERSONAL			OCUPACIÓN PERSONAL	
		Primaria	Secundaria	Capacitación I.M.ESCO	Ayudante	Maestro artesanal
Corte	5	5	-	-	3	2
Doblado	5	5	-	-	3	2
Soldadura	8	8	1	-	4	4
Ensamble	8	8	1	-	6	2
Pintura	6	6	-	-	4	2
No definido	6	6	-	-	6	-
Total	38	38	2	0	26	12

Autor: Leonardo Calero. **Fuente:** I.M.ESCO, ANEXOS SECCIÓN E.

4.2.2 EFICIENCIA EN PROCESOS

4.2.2.1 CORTE

De acuerdo al diagrama de procesos de la sección 4.1 se procedió a verificar el tipo de equipo utilizado en el corte de cada parte constitutiva de la tolva como se presenta en la figura 4.1.

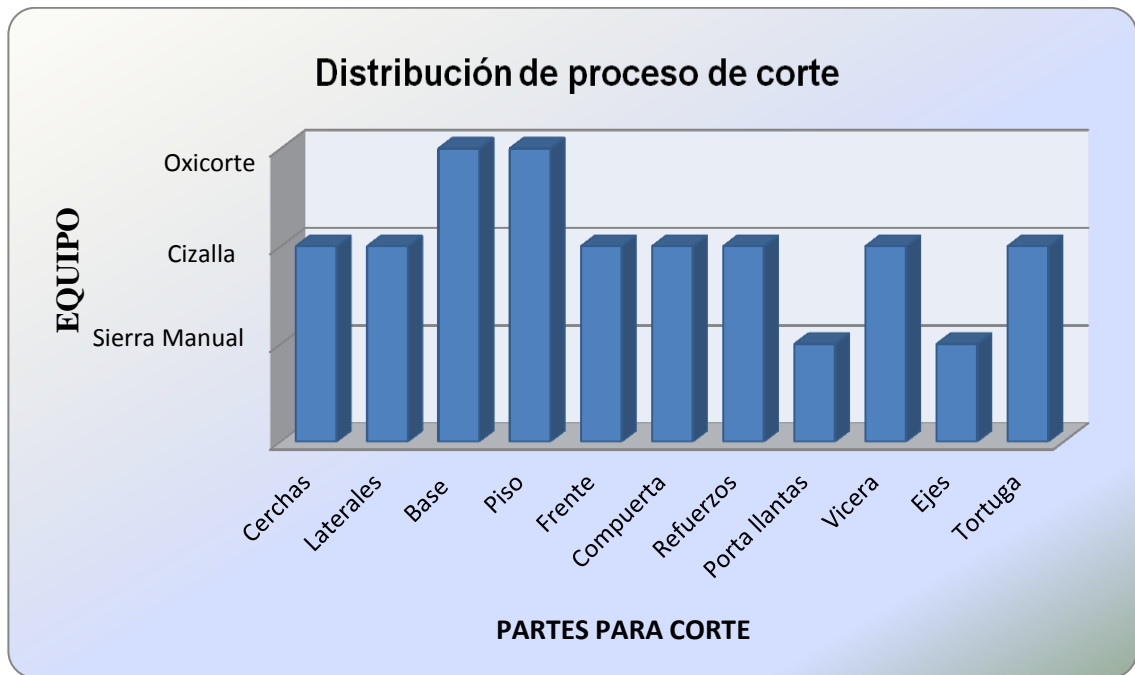


Figura 4.1. Diagrama de distribución del proceso de corte, partes en el eje x y equipo utilizado en el eje y.
Autor. Leonardo Calero.

Se revisó la frecuencia de utilización de cada equipo, siendo el más utilizado el equipo de oxicorte con un 64%; se recomienda redistribuir el uso de la sierra manual y la cizalla, o a su vez su remplazo por un nuevo equipo que facilite el corte de las partes, mejorando el tiempo en cada proceso, como el uso de una sierra eléctrica.

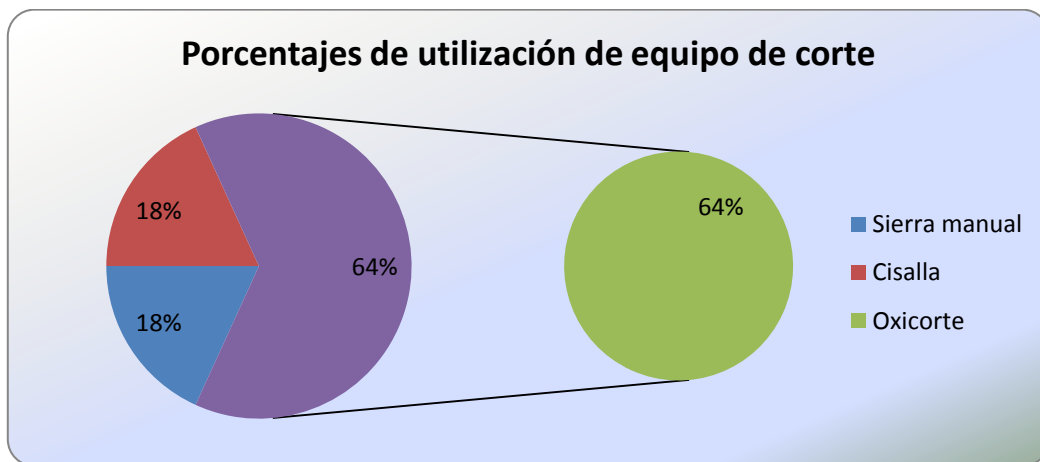


Figura 4.2. Diagrama de frecuencia de utilización de equipos.
Autor. Leonardo Calero.

Tabla 4.8. Resumen de frecuencia de utilización de equipos.

Detalle	Porcentaje	Recomendada
Sierra Manual	18%	-----
Cizalla	18%	-----
Oxicorte	64%	x

Autor: Leonardo Calero

4.2.2.2 DOBLADO

En cuanto a la forma de doblado, I.M.ESCO utiliza equipo manual y equipo de doblado eléctrico, su utilización se observa en la figura 4.3.

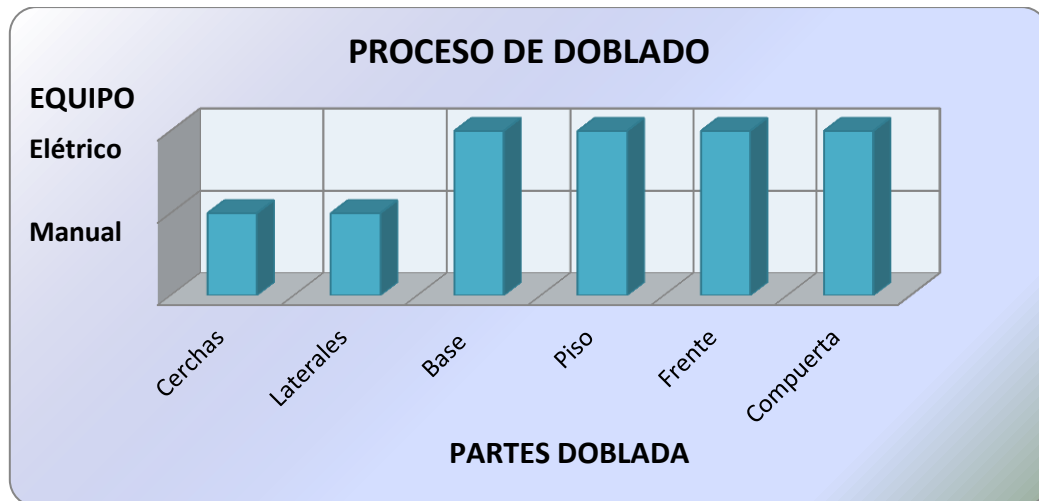


Figura 4.3. Diagrama del proceso de doblado, partes dobladas y equipo utilizado.

Autor. Leonardo Calero.

En el diagrama de la figura 4.4 se observa que el doblado eléctrico es el más utilizado respecto a la utilización de una dobladora manual, dentro del proceso de construcción

de la tolva, por lo cual se debe considerar la utilización de un solo equipo de doblado, reduciendo costos y tiempos en este proceso, así como mejores acabados y dobles de alta precisión, o se puede considerar la utilización de la dobladora manual para funciones diferentes a la aplicación actual, sea para procesos de construcción de palas, carretillas o pequeñas estructuras, manufacturados también en I.M.ESCO.

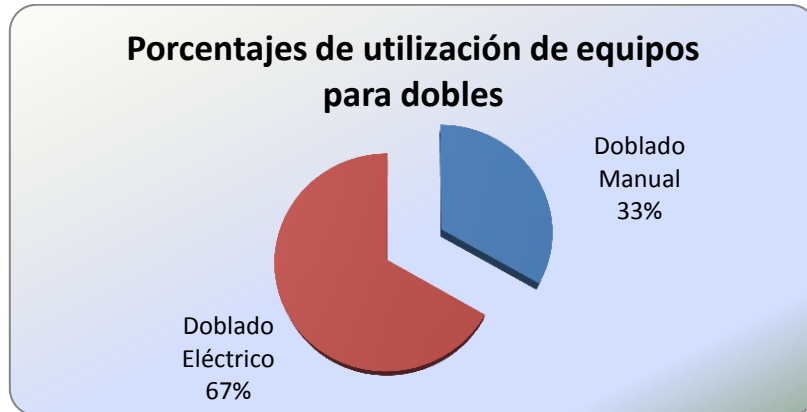


Figura 4.4. Porcentajes de utilización de dobladora manual y dobladora eléctrica.
Autor. Leonardo Calero.

Tabla 4.9. Resumen de porcentajes evaluados en el proceso de doblado.

Detalle	Porcentaje	Recomendada
Doblado Manual	33%	-----
Doblado Eléctrico	67%	x

Autor: Leonardo Calero

4.2.2.3 SOLDADURA

En lo referente al proceso de soldadura dentro de la planta de producción de I.M.ESCO se utiliza la soldadura de arco eléctrico SMAW y soldadura MIG, la utilización de estas se detalla en el diagrama de la figura 4.5.

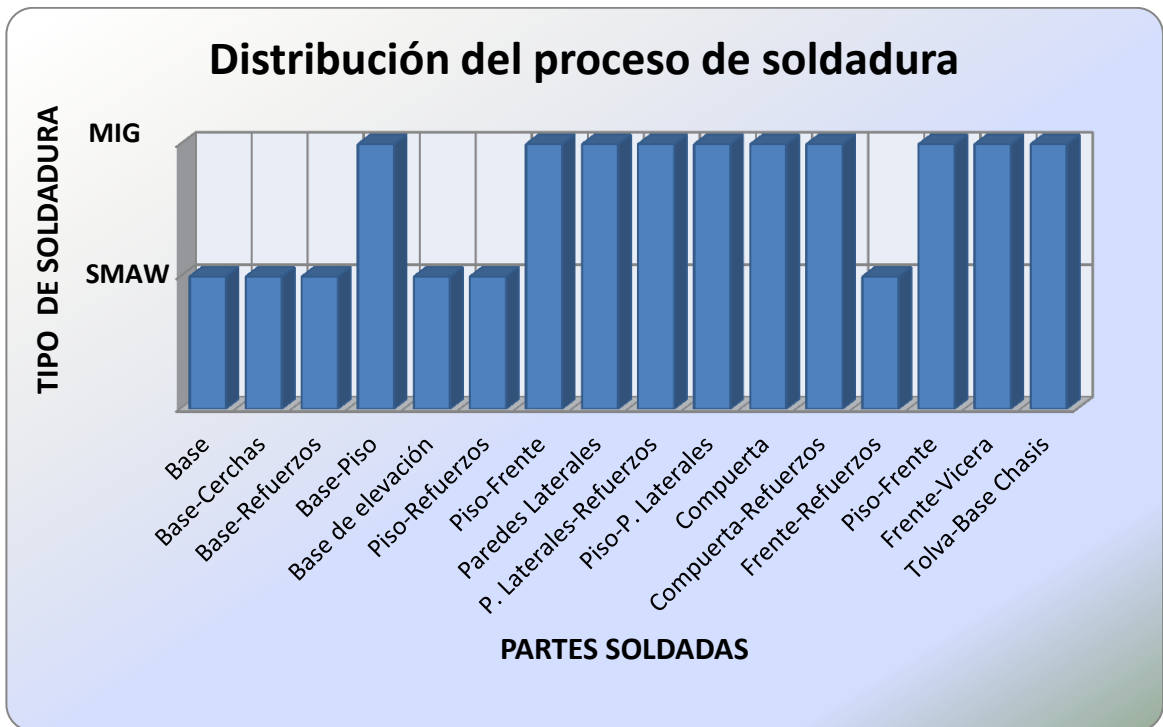


Figura 4.5. Distribución del proceso de soldadura, partes soldadas y tipo de soldadura.
Autor. Leonardo Calero.

A continuación se detalla el porcentaje de utilización de cada proceso en el diagrama de la figura 4.6, donde se observa una mayor utilización del proceso de soldadura MIG con un 63%,

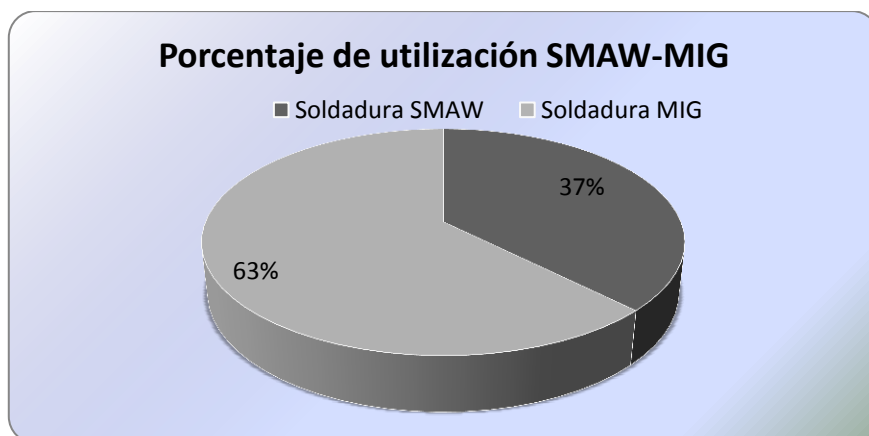


Figura 4.6. Porcentajes de utilización del proceso SMAW y MIG
Autor. Leonardo Calero.

Tabla 4.10. Resumen del porcentaje de utilización del proceso de soldadura SMAW y MIG.

Detalle	Porcentaje	Recomendada
SMAW	37%	-----
MIG	63%	x

Autor: Leonardo Calero

4.2.2.4 ENSAMBLE

Referente a la forma de ensamble de las partes de la tolva de volqueta, I.M.ESCO posee un tecele con motor eléctrico y un montacargas, el uso de estos no se somete a evaluación debido a que los dos equipos se encuentran constantemente en funcionamiento, su utilización depende solo del peso de la parte a transportar y de la capacidad de cada equipo, así como de la facilidad de manipulación, según lo descrito en la tabla 4.6. A su vez se ha constatado la utilización simultánea de los dos equipos.

Tabla 4.11. Descripción general de las capacidades técnicas del tecele eléctrico y montacargas.

Detalle	Capacidad máx.	Altura de operación	Ancho permisible	Largo permisible
Tecele eléctrico	4 Ton	6 m	3 m	No definido
Montacargas	4Ton	3 m	2,25 m	2,30 m

Autor. Leonardo Calero.

4.2.2.5 SECCIÓN PINTURA

El proceso actual de pintura consiste en una limpieza previa, aplicación de un fondo y aplicación de pintura del tipo sintética en toda la tolva de volqueta, por cuanto no requiere de una evaluación del proceso. En la tabla 4.7 se hace una evaluación general de la pintura aplicada en comparación con un proceso de pintura recomendada, uso de pintura de poliuretano.

Tabla 4.12. Tipo de pintura, detalles generales.

Detalle	Detalle	Durabilidad	Costo Galón
Sintética	Poca adherencia	3 años	\$ 16
Poliuretano	Excelente adherencia	7 años	\$ 45

Autor: Leonardo Calero

4.2.2.6 REVISIÓN FINAL APLICACIÓN DE END

De lo evaluado de forma directa dentro de I.M.ESCO no se efectúa ningún tipo de ensayo, tanto destructivo como END, en ninguna etapa del proceso de construcción de la tolva de 8 m³.

Es clara la necesidad de realizar este tipo de ensayos para asegurar la calidad de las tolvas, así como su confiabilidad.

4.2.3 EVALUACIÓN DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN ARTESANAL DE LA TOLVA DE VOLQUETA

Se ha determinado que I.M.ESCO no alcanza los niveles de producción deseados en cuanto a eficiencia de procesos, su mayor alcance es del 67% y un promedio del

33.33% de eficiencia total en la producción de tolvas, por lo que debe reestructurar los procesos en los cuales determinado equipo no es utilizado con tanta frecuencia en relación a otro, aun cuando ejecutan la misma actividad, como por ejemplo la utilización de una soldadora eléctrica y una soldadora MIG en el mismo proceso, teniendo la posibilidad de utilizar solo la soldadora MIG cuyos acabados son de gran calidad y presenta una mayor facilidad de manipulación; la renovación de equipos y disposición de capacitación constante del personal, son factores que ayudan a mejorar la productividad de una empresa, satisfacción del cliente y satisfacción del personal de producción.

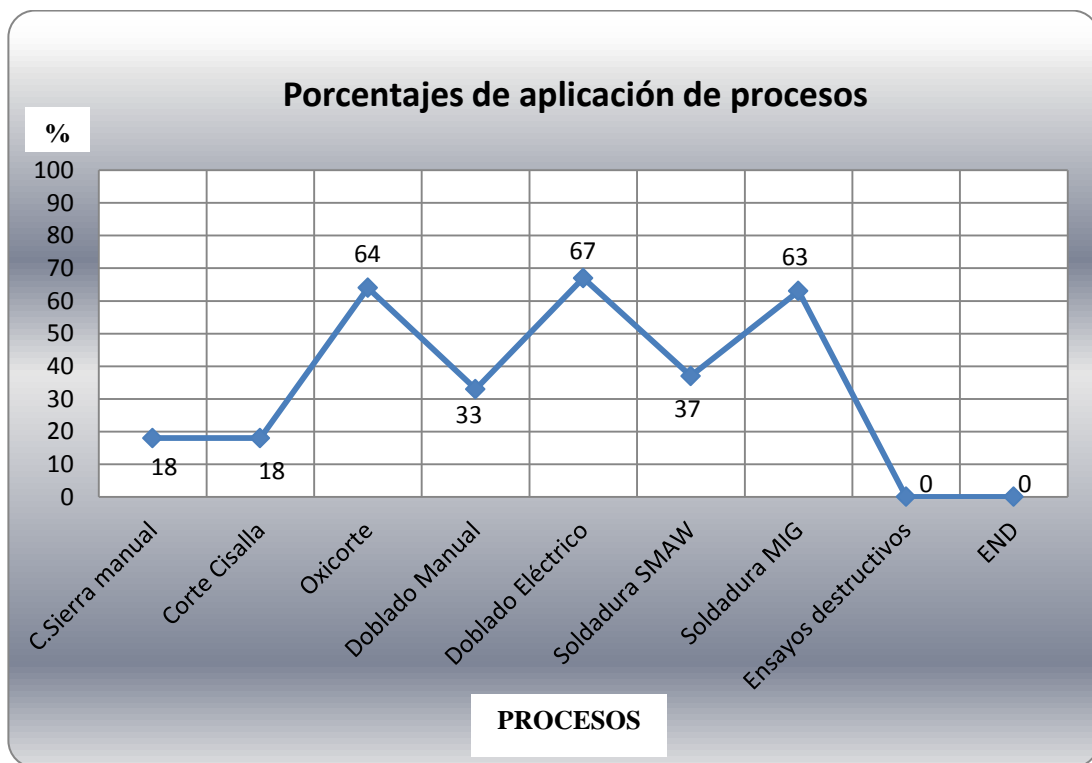


Figura 4.7. Diagrama de los porcentajes de aplicación de procesos de construcción, resumen.
Autor. Leonardo Calero.

4.3 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La interpretación de los resultados obtenidos en todos los ensayos y evaluaciones se detalla en la parte inferior de los formatos correspondientes, se debe considerar que el

número de ensayos para cada estudio varía de acuerdo a la necesidad propia del estudio y a los parámetros bajo los cuales se realizan.

4.4 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

Respecto a la verificación de la hipótesis, se debe indicar que en base a los diferentes ensayos realizados y resultados obtenidos, se ha mejorado la calidad, tanto en los procesos de construcción de la tolva para volquetas, así como en el seguimiento de la capacitación de los trabajadores, estos parámetros se encuentran sustentándose en los ANEXO SECCIÓN B, Norma ISO 9001, por tanto se concluye que: *La aplicación de ensayos destructivos y no destructivos permite incrementar la calidad de las tolvas producidas por I.M.ESCO.*

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Los procedimientos planteados en este trabajo permiten a I.M.ESCO manejar la información producida por las pruebas destructivas y no destructivas de forma fácil y estandarizada, asegurando la calidad de la tolva para volquetas de 8m³, optimizando así sus procesos de producción, reparando apropiadamente las posibles fallas detectadas.
- La inspección visual ha demostrado ser el medio más factible en la identificación de defectos superficiales sobre las tolvas de volqueta.
- El ensayo por radiografía industrial demuestra ser el complemento indicado a la aplicación de tintas penetrantes en la revisión de juntas soldadas, obteniéndose información completa sobre el estado de la soldadura, y la capacidad del soldador.
- Se ha demostrado que el ensayo por ultrasonidos es una aplicación eficiente tanto en estudios de laboratorio y de campo, al aplicarse a probetas, y a la tolva de volqueta analizada en la planta industrial de I.M.ESCO.
- La realización de los ensayos destructivos de tracción, flexión, compresión, fatiga y dureza han demostrado ser los métodos más accesibles para la comprobación de las propiedades mecánicas de materiales, tales como límite de fluencia, resistencia a la tracción, flexión, compresión, dureza.
- El ensayo contra acritud ha mostrado ser un complemento para verificar los cambios en las propiedades mecánicas de un material, al someterlo a

esfuerzos, verificando que estas propiedades no han podido ser recuperadas en este estudio.

- El estricto cumplimiento de estos procedimientos, y otras regulaciones, permitirán a mediano plazo una certificación de la empresa I.M.ESCO. En lo que se refiere a gestión de calidad.

5.2 RECOMENDACIONES

- Al realizar inspección visual verificar por completo todas las partes constitutivas de la tolva para tener información suficiente sobre las condiciones de la misma, teniendo así un criterio claro del tipo de ensayos necesarios en cada sección.
- Para la realización de radiografía industrial verificar que los equipos de soldadura, probetas y el personal, estén en las mejores condiciones, garantizando la calidad de las probetas para una correcta ejecución de la práctica.
- En cuanto a la aplicación de tintas penetrantes y aplicación de reactivos químicos para metalografía, tomar las debidas medidas de seguridad personal, como la utilización de gafas, mascarilla y guantes, al tratarse de químicos nocivos para la salud.
- Cuando se realice inspección por ultrasonidos verificar que las superficies a medir se encuentren libres de grasas, aceites o compuestos que puedan alterar la correcta ejecución de la práctica y por ende lecturas erróneas en cuando a espesores.
- Respecto al desarrollo de ensayos destructivos, revisar que cada probeta tenga la geometría que cada norma establece, así como un correcto acabado superficial.
- Es necesario, para el mejor funcionamiento de la empresa contar en su equipo de trabajo con personal Capacitado, Calificado y Certificado y por ende, con experiencia en la industria metal mecánica.

- Se recomienda que a futuro, la empresa implemente nuevas técnicas de END como, corrientes inducidas, partículas magnéticas, etc., mejorando la calidad de los ensayos que posteriormente se realicen a las tolvas de volqueta de 8m³ producidas en I.M.ESCO.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1 DATOS INFORMATIVOS

Al realizar el estudio sobre el efecto producido en la calidad de las tolvas de volqueta hay que efectuar ensayos destructivos y ensayos no destructivos para este estudio hay que tomar en cuenta principalmente, los materiales que la constituyen y las características de estos, tanto los datos del proveedor y de los ensayos realizados bajo normas nacionales e internacionales; además, se consideran los procesos de construcción y el ambiente de ejecución, seguidamente se verifica si se cumplen parámetros de construcción impuestos por la empresa I.M.ESCO en cada proceso.

De todo lo expuesto anteriormente se da seguimiento del proceso de construcción y se continúa con la toma de diversas muestras para su posterior ensayo bajo normas tales como: E 94 - 04 radiografía industrial E 114 - 95 ultrasonidos E 1417 - 99 Líquidos penetrantes, etc.

Los métodos descritos se aplicarán en lugares donde se evidencie la presencia de fallas, corrosión, fisuras y grietas, deformaciones variadas, todas identificadas por inspección visual de la tolva y con un programa de simulación de esfuerzos.

Con el propósito de obtener una certificación de calidad INEN, vigente a nivel nacional, todos las pruebas y ensayos se desarrollaran bajo los parámetros de dicha norma, al no existir una disposición específica por las entidades pertinentes como son las normas INEN en nuestro medio para la construcción de tolvas para volquetas, con capacidad de 8m^3 , se implementará un proceso de construcción estándar para que

la empresa I.M.ESCO, respaldando cada fase de construcción en normas reguladas por organismos internacionales como la ASTM, DIN, AWS, entre las más relevantes.

6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

Para la construcción de tolvas propuesto se debe tomar en cuenta el mejoramiento de los procesos de construcción, como es la renovación tecnológica en cada área de producción y utilización de maquinaria y equipos acordes a la necesidad de cada proceso, estableciendo además una guía técnica dentro de la empresa.

En cuanto a control de calidad, al realizar ensayos destructivos y no destructivos en las partes constituyentes de una tolva para volqueta, hay que considerar el costo que representa; la rentabilidad que generaría a la empresa; por lo que la opción más económica será de realizar cada ensayo en la tolva por muestreo o al azar de acuerdo a los requerimientos del cliente.

La calidad de los materiales es otro factor a considerar, utilizando ensayos destructivos y no destructivos y comparando las características dadas por cada proveedor y los obtenidos en pruebas de laboratorio. El estudio se realizará tomando en cuenta los parámetros que indican las normas referentes de cada ensayo, así como las condiciones ambientales, y parámetros propios del autor.

6.3 JUSTIFICACIÓN

Cada servicio y producto tiene sus propios requisitos a cumplir, dentro de este trabajo se ha buscado una forma clara de dar a conocer todo un proceso que va desde una idea hasta el reconocimiento internacional para la empresa, generando confianza en la capacidad de sus procesos, en la calidad de sus productos y proporcionando las bases para la mejora constante, estableciendo una política y un sistema de calidad, estableciendo responsabilidades tanto de la dirección y el personal, asegurando una comunicación continua entre los involucrados. Esto debido principalmente a que nuestro entorno cada vez más globalizado continúa demandando cambios. La

velocidad con la que avanza la tecnología, nos lleva a plantear la necesidad de gestionar una mejora en los procesos de fabricación de forma muy distinta a como históricamente se lo hacía en el pasado, solo en busca del beneficio económico propio de una empresa.

De ahí que el modelo propuesto en la Norma ISO_9001 en su versión del año 2008, es sin lugar a dudas, una evolución natural de las demandas de las organizaciones públicas y privadas para contar con herramientas de gestión más sólidas y efectivas para hacerse al incierto mar de la globalización y capitalizar sus esfuerzos, enfocado siempre a la provisión correcta y equitativa de recursos, tanto de Recursos Humanos, infraestructura, ambiente de trabajo, determinemos los recursos necesarios para operar con calidad y de esa manera hacer más probable lograr la satisfacción del cliente.

6.4 OBJETIVOS

6.4.1 OBJETIVO GENERAL

- Mejoramiento de la calidad en el proceso de construcción de tolvas de 8m^3 bajo parámetros de la certificación ISO 9001-2008.

6.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer un modelo estándar de procesos de construcción para tolvas de volqueta de 8 metros cúbicos para I.M.ESCO.
- Plantear un diagrama de control de procesos de construcción de tolvas para volqueta.
- Determinar una guía de ensayos destructivos y no destructivos para mejorar el proceso de construcción.

MODELO ESTÁNDAR DE CONTRUCCIÓN PARA TOLVAS DE VOLQUETA DE 8 METROS CÚBICOS

- Cumplir los requisitos de los elementos adecuados para la construcción de la tolva de volqueta de 8 metros cúbicos, de acuerdo a los ANEXOS sección C.
- Proporcionar información apropiada para la compra, la producción y la prestación del servicio.
- Contener o hacer referencia a los criterios de aceptación del producto.
- Especificar las características del producto que son esenciales para el uso seguro y correcto.

NOTA. La información para la producción y la prestación del servicio puede incluir detalles para la preservación del producto.

REVISIÓN

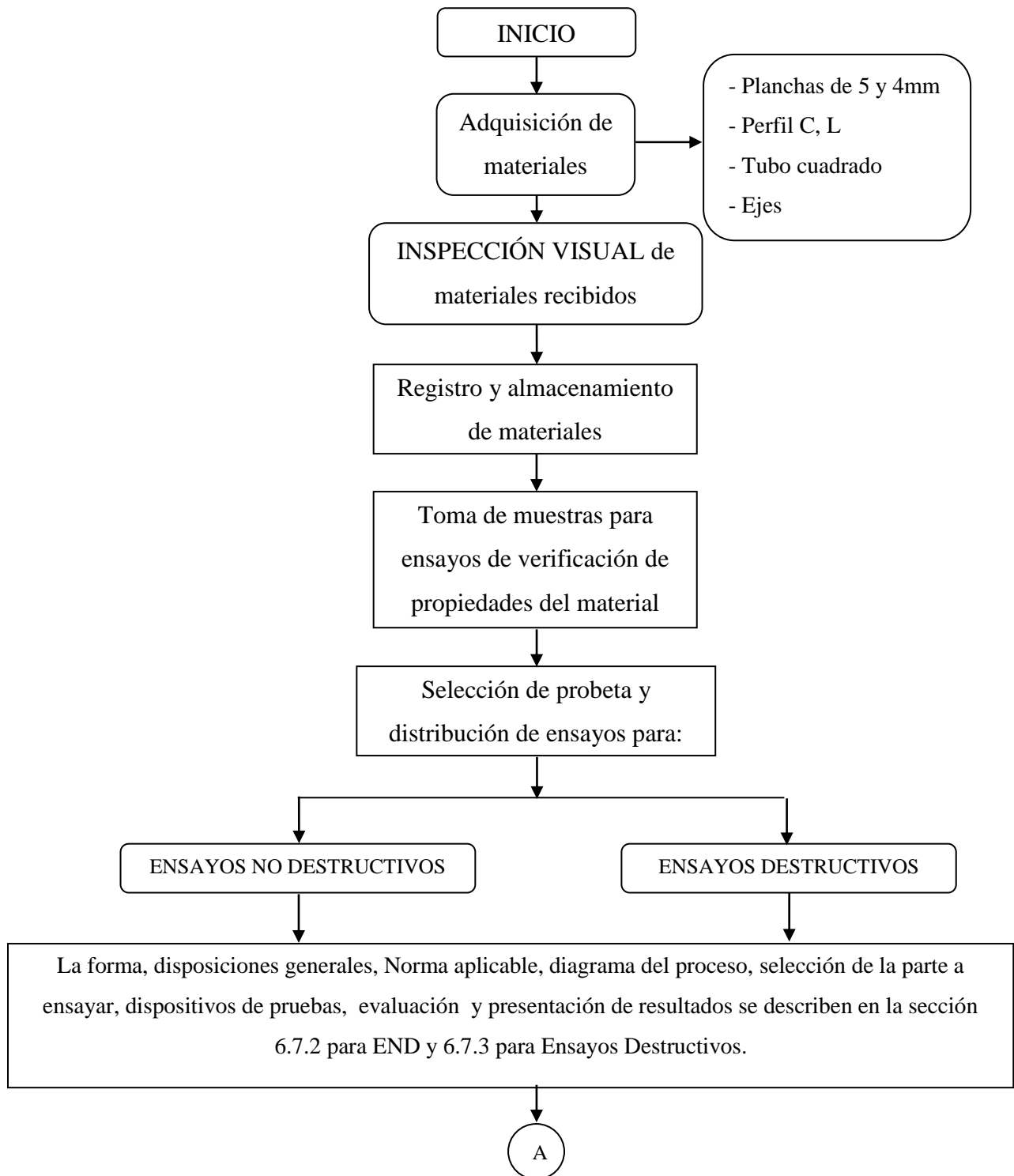
En las etapas adecuadas, deben realizarse revisiones sistemáticas del proceso de construcción y desarrollo de acuerdo con lo planificado para:

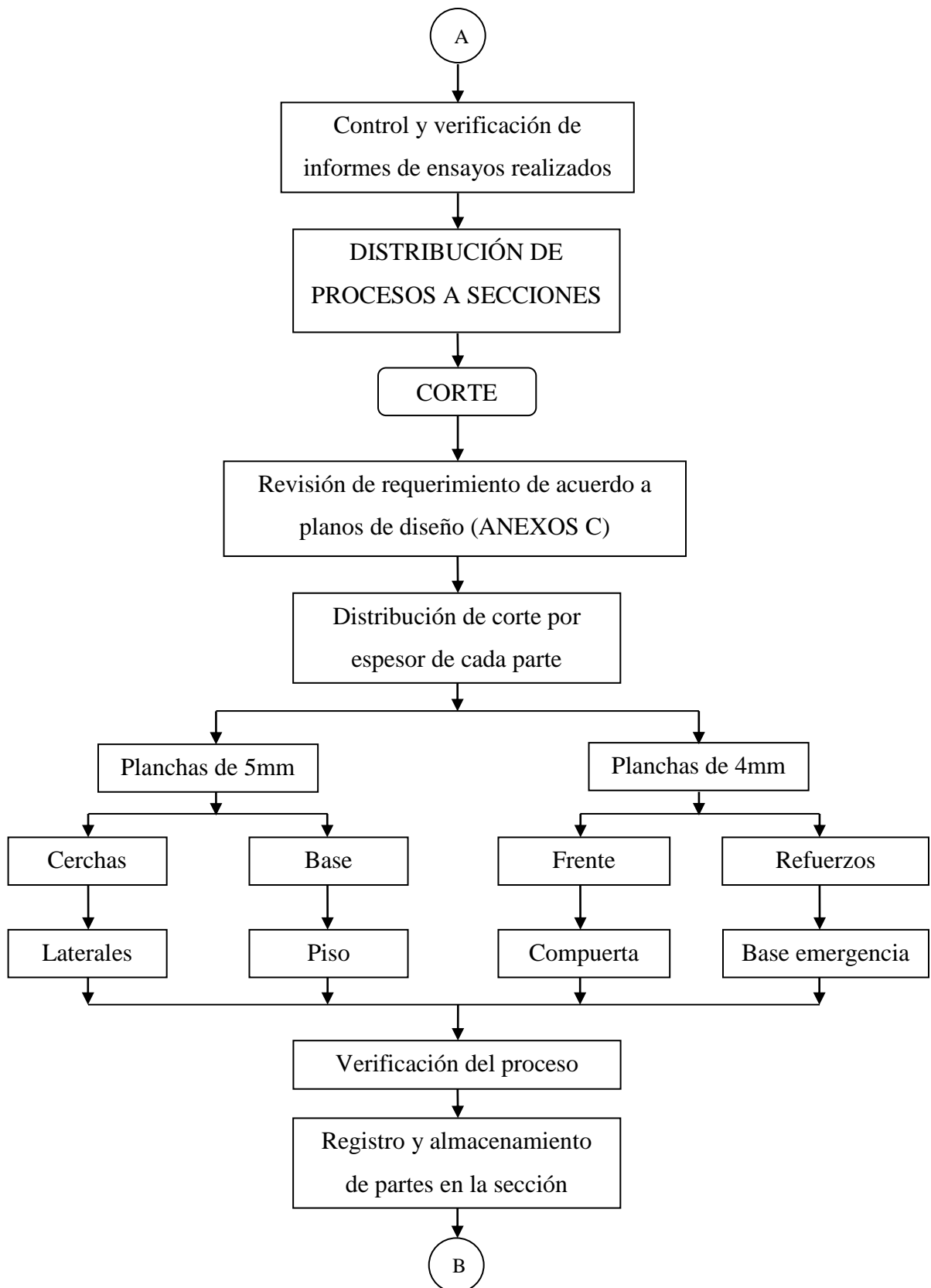
- Evaluar la capacidad de los resultados del modelo y desarrollo para cumplir los requisitos de acuerdo a la norma ISO 9001-2008.
- Identificar cualquier problema y proponer las acciones necesarias.
- Los participantes en dichas revisiones deben incluir representantes de las funciones relacionadas con las etapas de desarrollo que se están revisando. Deben mantenerse registros de los resultados de las revisiones y de cualquier acción necesaria.

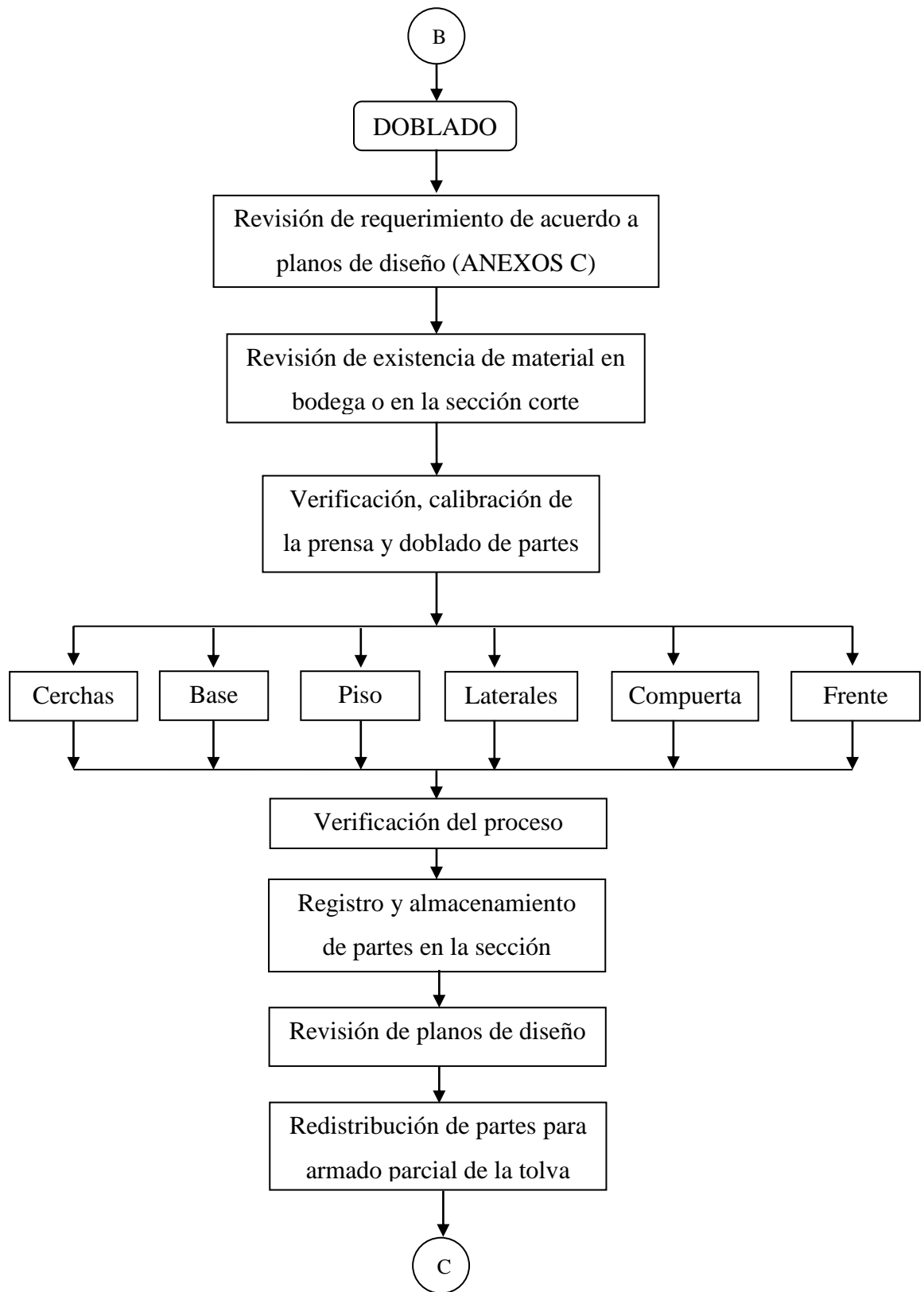
VALIDACIÓN DEL DISEÑO Y DESARROLLO

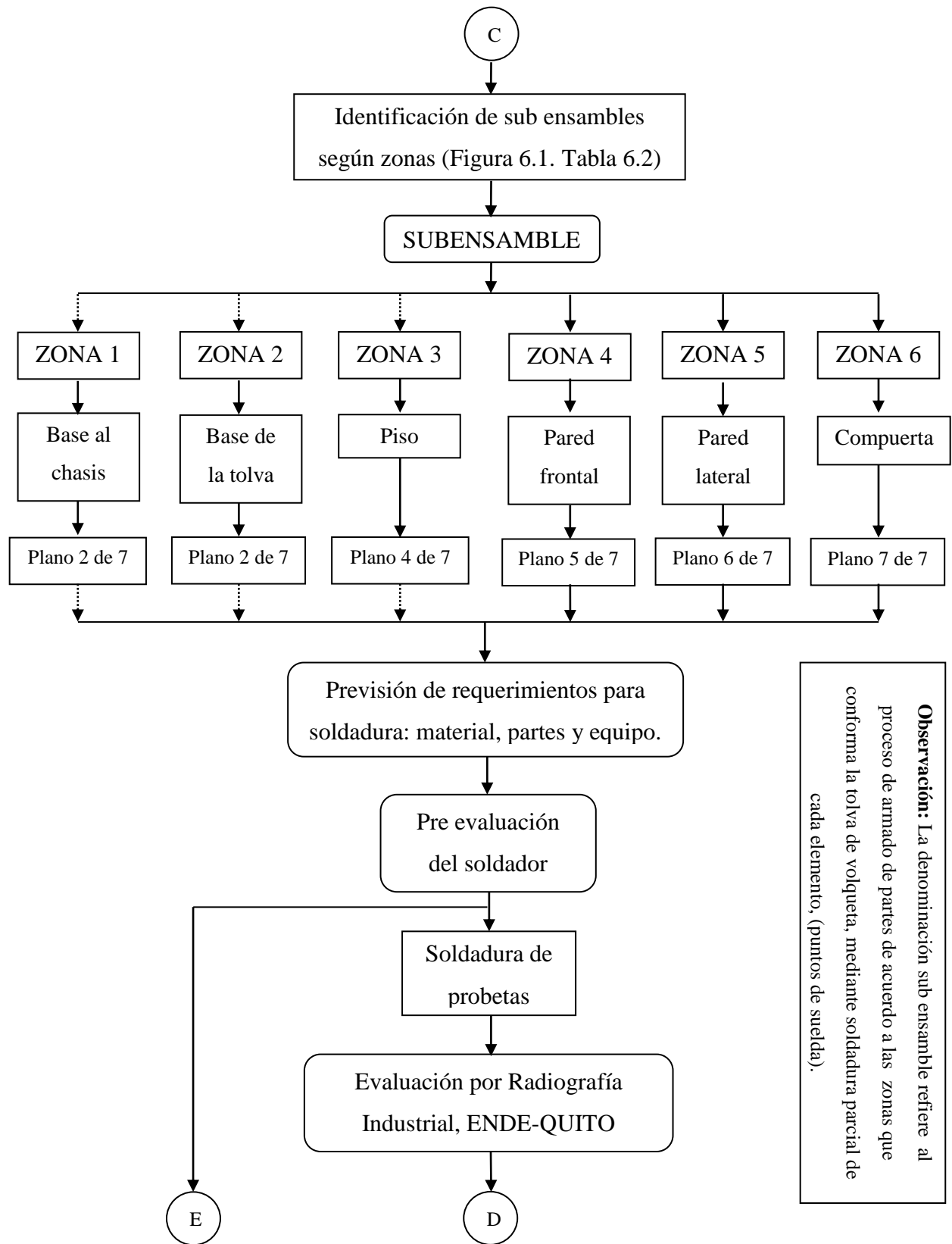
Se debe realizar la validación del modelo y procesos de desarrollo de acuerdo con lo planificado para asegurarse de que el producto resultante es capaz de satisfacer los requisitos para su aplicación especificada o uso previsto, cuando sea conocido.

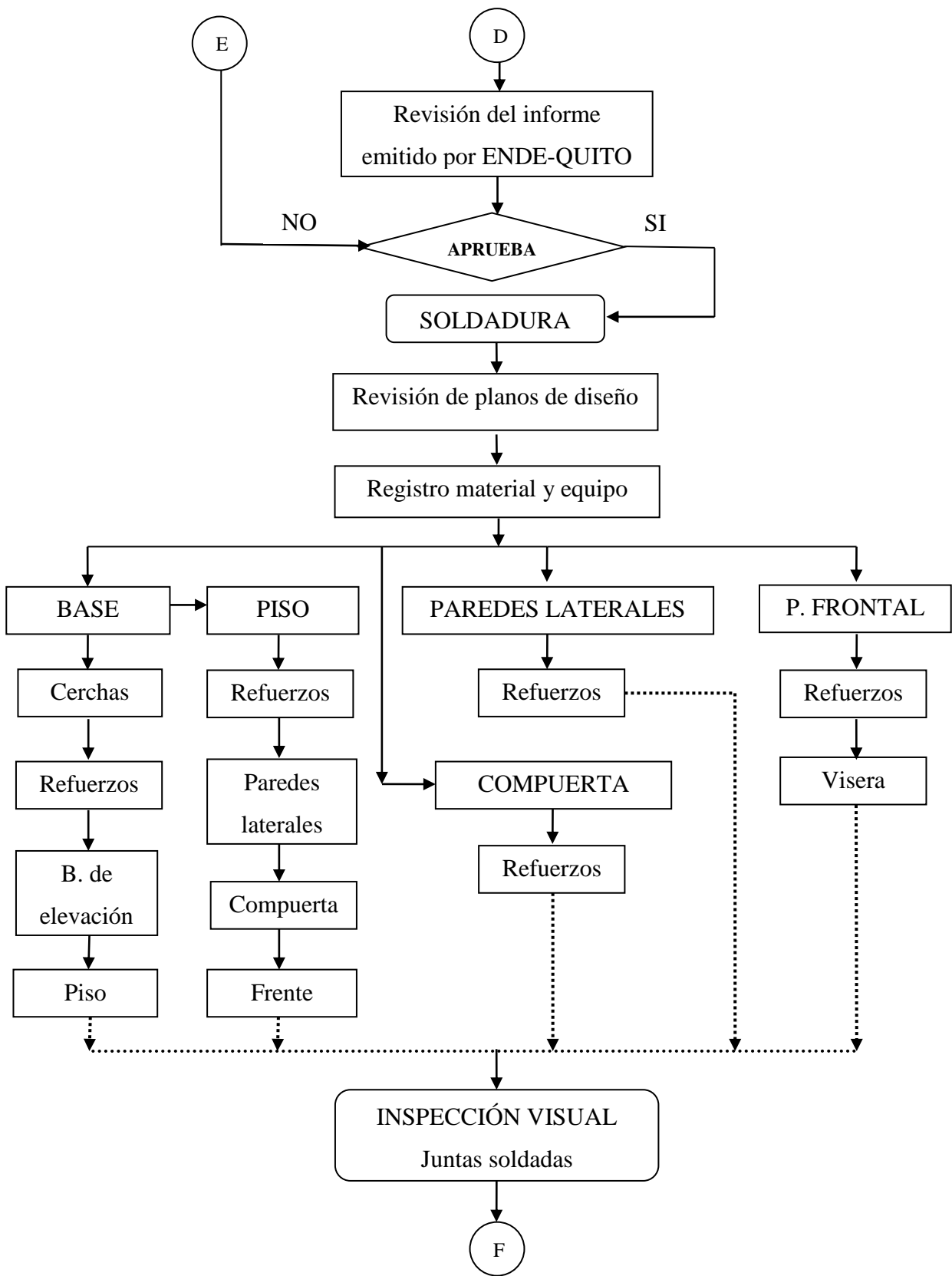
**DIAGRAMA DE CONTROL DE PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN
DE TOLVAS DE VOLQUETA DE 8m³**

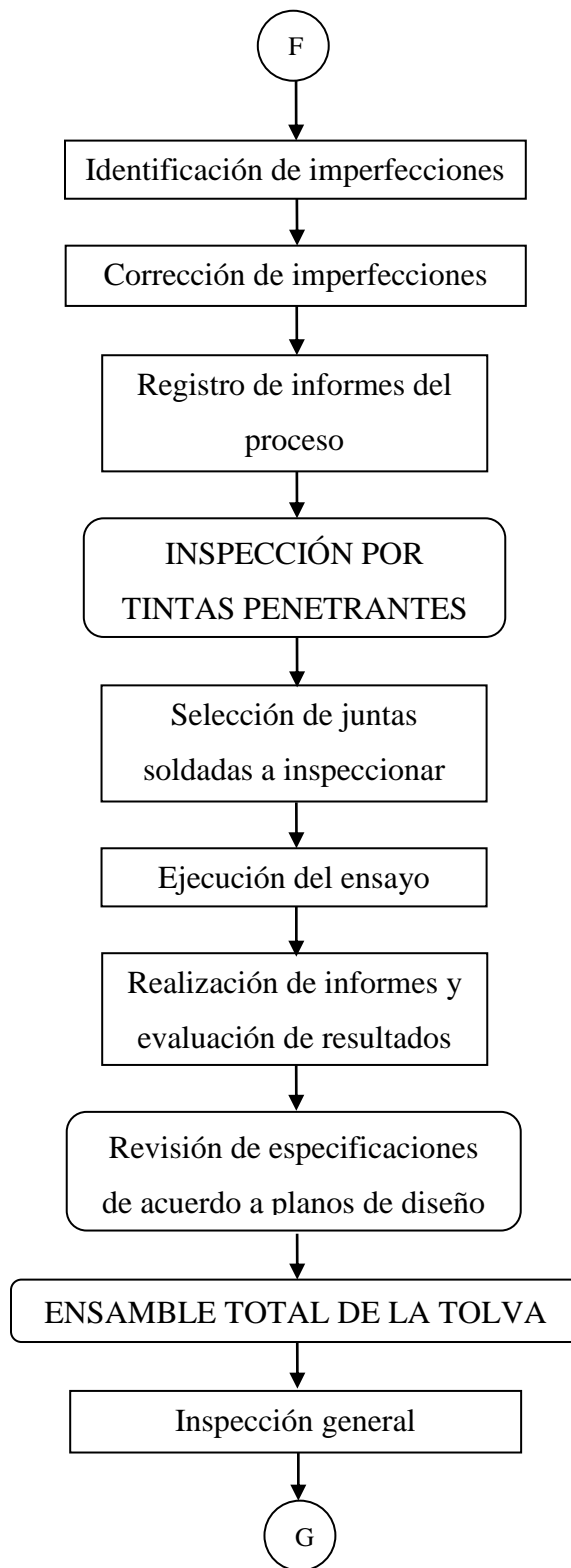


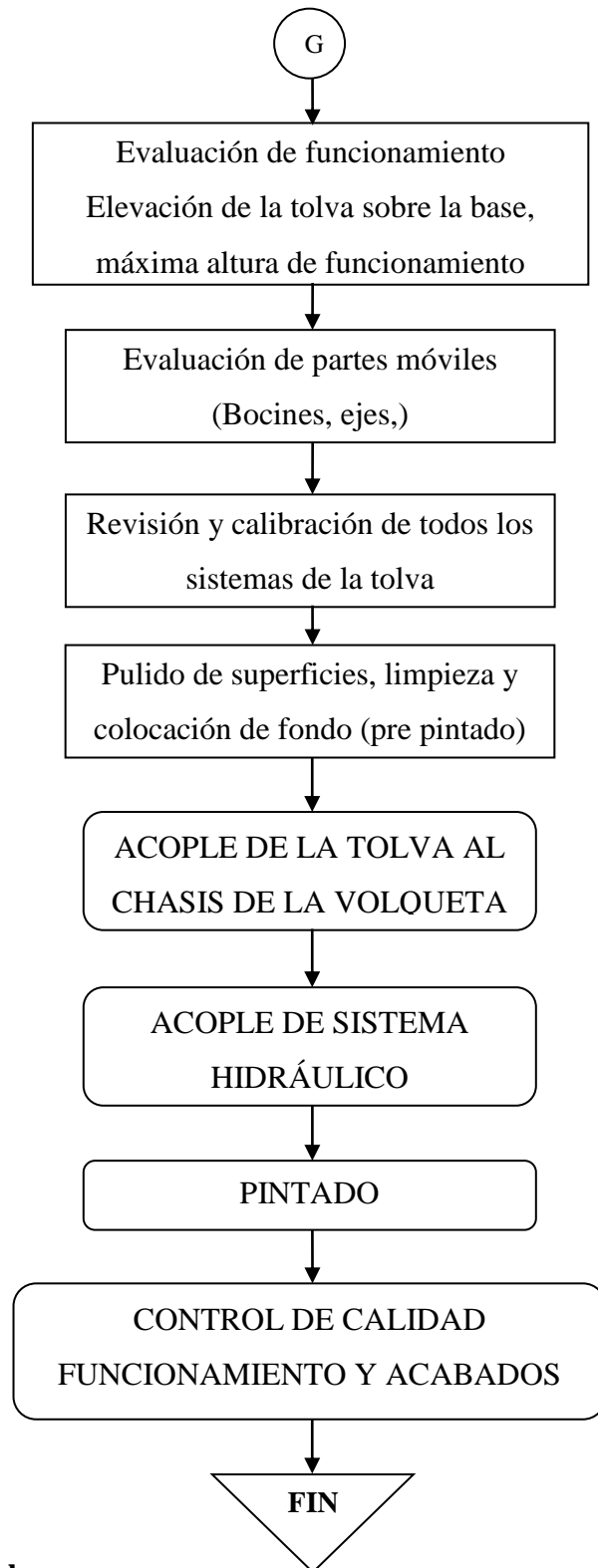














Autor: Leonardo Calero

	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</p> <p>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> <p>GUÍA GENERAL DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS</p>	
---	--	---



ENSAYO DE INSPECCIÓN VISUAL, RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL, LÍQUIDOS PENETRANTES, ULTRASONIDOS

- ✚ Determinar las secciones o zonas de evaluación.
- ✚ Revisar la norma correspondiente a cada ensayo y revisar la sección correspondiente para verificación del procedimiento.
 - a) AWS D11-2004 sección 6, ASTM E-165, Inspección visual.
 - b) ASTM E165-02, E1417-99, E433-71, Líquidos penetrantes.
 - c) ASTM E94-04, Radiografía industrial.
 - d) ASTM E114-95, E1065-99, Ultrasonidos.
- ✚ La realización de este tipo de ensayos se realizará directamente sobre la tolva para volqueta, sola y exclusivamente el ensayo de radiografía industrial requiere de una probeta para su envío a ENDE Quito, debido a que la Universidad Técnica de Ambato no cuenta con el equipo.
- ✚ Selección del equipo requerido:
 - a) Inspección visual: Lupa, escariador, desengrasantes, paños para limpieza, linterna, calibrador, flexómetro.
 - b) Radiografía industrial: No aplica
 - c) Líquidos penetrantes: Líquido penetrante, removedor y debelador, paños de limpieza.
 - d) Ultrasonidos: Medidor de espesores INNOVATEST.
- ✚ La ejecución de cada tipo de ensayo se realizará bajo la supervisión de un profesional del área de END.

- ✚ Calibrar y encerar el equipo, en el caso de medición de espesores, con el bloque de calibración correspondiente.
- ✚ Los ensayos se realizarán de acuerdo a lo prescrito en la norma correspondiente y de acuerdo al procedimiento descrito en la sección 6.7.1.

RECOMENDACIONES:

- ✚ Para END se recomienda utilizar equipo de protección personal como guantes, mascarilla, gafas de protección, orejeras, casco, entre los más necesarios.
- ✚ Debido a que los ensayos se realizan directamente en la tolva en la sección de producción de la empresa, evitar interferir con las actividades de los operarios, una distracción pudiese ser un factor de riesgo a la seguridad del personal.

	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</p> <p>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> <p>GUÍA GENERAL DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS</p>	
---	---	---

ENSAYO DE TRACCIÓN, FLEXIÓN, COMPRESIÓN, DUREZA, FATIGA Y METALOGRAFICO

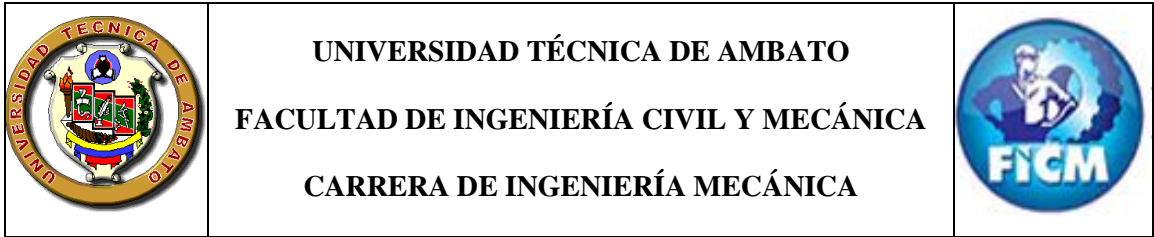
- ✚ Determinar las secciones o zonas de evaluación.
- ✚ Revisar la norma correspondiente a cada ensayo y revisar la sección correspondiente para verificación del procedimiento.
 - a) ASTM E8-04, métodos estándar para ensayo de tracción de materiales metálicos.
 - b) ASTM A60, DIN 50110 y ASTM E9, para dimensionamiento de probetas para el Ensayo de Flexión.
 - c) ASTM E9-89a, método estándar para ensayo de compresión de materiales metálicos a temperatura ambiente.
 - d) ASTM E18-03, método estándar para ensayo de dureza Rockwell de materiales metálicos.
 - e) ASTM E606, Práctica estándar para la prueba de fatiga de tensión controlada
 - f) ASTM E112, Ensayo Metalográfico.
- ✚ Tomarlas respectivas muestras de las zonas seleccionadas.
- ✚ Revisar el correcto dimensionamiento de cada probeta.
- ✚ Selección del equipo requerido, capacidad de carga, tipo de sujeción, limitaciones y disponibilidad:
 - a) Tracción: Máquina Universal
 - b) Flexión: Máquina Universal

- c) Compresión: Máquina de compresión SOIL TEST
- d) Dureza: Durómetro INNOVATEST
- e) Fatiga: Máquina de fatiga UTA, sin serie.
- ✚ La ejecución de cada tipo de ensayo se realizará bajo la supervisión de la persona encargada de los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.
- ✚ Se recomienda verificar la disposición de la máquina en cuanto al tipo de sujeción, para probetas de cara plana o cilíndrica, respecto a los tres primeros ensayos. Para estos se indica el procedimiento:
 - a) Colocar la probeta cuidadosamente en los extremos dispuestos para sujeción.
 - b) Verificar que la probeta se encuentre exactamente centrada sobre la bancada de la máquina.
 - c) Revisar dispositivos de seguridad, tanto de la máquina como de las personas que desarrollan el ensayo.
 - d) Aplicar pre carga mínima para comprobar el correcto ajuste de la probeta en los extremos de sujeción.
 - e) Aplicar la carga gradualmente observando la reacción de la probeta mientras se aumenta la carga.
 - f) Una vez que la probeta alcance su resistencia máxima a la tracción, flexión o compresión, según el requerimiento de cada ensayo, la probeta puede romperse o flexionarse hasta cuando la máquina mantenga una carga máxima constante, cuando esto suceda disminuya la carga aplicada hasta tener un valor de cero absoluto.
 - g) Desajustar la probeta de cada extremo de sujeción y colocar ésta sobre una superficie plana para evaluar su geometría y los efectos de la aplicación de la carga.
 - h) Tomar nota de todos los valores posibles durante el ensayo, así como dimensiones iniciales y finales de cada probeta.
 - i) Llenar el informe correspondiente de acuerdo al formato establecido para cada tipo de ensayo.

- ✚ Respecto al ensayo de dureza, el procedimiento será el siguiente:
 - a) Toma de la muestra y comprobación del dimensionamiento de ésta.
 - b) Calibración del equipo; selección de indentador y fuerza.
 - c) Colocación de la probeta sobre la máquina de ensayo.
 - d) El espesor de la probeta debe cumplir lo especificado en la norma que es: en la superficie opuesta al ensayo no deben aparecer huellas u otras marcas, por lo tanto el espesor debe ser cuando menos 10 veces la profundidad de la huella. La distancia del centro de la huella a la orilla de la probeta debe ser cuando menos 3 veces el diámetro de la misma. Las caras de la probeta deben ser paralelas. Una de las caras de la probeta debe estar pulida con un material de tipo fino, con el fin de evitar malos ensayos por impurezas.
 - e) La prueba debe ser realizada a un mínimo de tres veces el diámetro de la huella de separación de cada lado de la probeta.
 - f) La probeta deberá tener un ancho mínimo de 10 veces la profundidad de la huella.
 - g) La separación entre las huellas de diferentes ensayos deberá ser de un mínimo de dos veces el diámetro de la huella.
 - h) Terminado el ensayo, describir los resultados en el formato correspondiente para su posterior interpretación y evaluación.

RECOMENDACIONES:

- ✚ Se recomienda realizar éste ensayo en un grupo no menor de tres personas, para facilidad de manipulación de partes móviles de la máquina de ensayo, cuyo peso es considerable; así también para la colaboración en cuanto a la toma de resultados, fotografías y desarrollo mismo del ensayo.
- ✚ Para una mayor comprensión de la forma de desarrollo de este ensayo, revisar la sección 6.7.2.



GUÍA DE GESTIÓN DE CALIDAD DE I.M.ESCO

INTRODUCCIÓN

La adopción de un Sistema de Gestión de Calidad debería ser una decisión estratégica de la organización y su diseño, documentación e implementación deberían responder a las características, objetivos y necesidades de dicha organización.

ALCANCE

La presente guía será aplicable a los procesos realizados por I.M.ESCO, para el:

“Proceso de fabricación de tolvas para volqueta de 8m³”

CONCEPTOS GENERALES

Calidad: La calidad es una cualidad y propiedad inherente de las cosas, que permite que éstas sean comparadas con otras de su misma especie.

Desempeño: Resultados obtenidos de los procesos o del producto, que permiten evaluarlos y compararlos en relación a las metas, o a los resultados, y a otros procesos o productos.

ISO 9001: Norma Internacional que describe los Requisitos para la Implantación y Funcionamiento de un Sistema de Gestión de la Calidad.

Sistema de Gestión de la Calidad es el conjunto de elementos (estrategias, objetivos, políticas, estructuras, recursos y capacidades, métodos, tecnologías, procesos, procedimientos, reglas e instrucciones de trabajo) mediante el cual la dirección

planifica, ejecuta y controla todas sus actividades en aras al logro de los objetivos preestablecidos.

I.M.ESCO, está convencida que las estrategias para ser considerada una empresa competitiva son:

- El mejoramiento de la Calidad
- El incremento de la Productividad.

Y a su vez cree firmemente que el manejo de un sistema de gestión de calidad, establece un camino exitoso hacia una empresa de reconocimiento nacional e internacional; por lo que da a conocer su compromiso e involucramiento en la Gestión de Calidad mediante su Política de la Calidad:

POLÍTICA DE LA CALIDAD DE I.M.ESCO

“Ofrecer productos de calidad ,para satisfaciendo las necesidades de nuestros clientes, mediante una mejora continua de procesos y el desarrollo permanente con capacitacion de nuestro recurso humano”

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD

Requisitos generales

I.M.ESCO establece, documenta, implementa y mejora continuamente su sistema de gestión de la calidad de acuerdo con los requisitos de la Norma Internacional ISO 9001:2008

I.M.ESCO.

- a. Determinar las necesidades y expectativas de los clientes;
- b. Establecer la política y objetivos de la calidad de la organización;

- c. Determinar y proporcionar los recursos necesarios para el logro de los objetivos de la Calidad;
- d. Establecer los métodos para medir la eficacia de cada proceso y aplicar las medidas Correspondientes;
- e. Establecer y aplicar un proceso para la mejora continua del SGC.

Requisitos generales de documentación

La documentación del sistema de gestión de la calidad de I.M.ESCO, incluye:

- El Manual de Gestión de la Calidad, que describe la estructura y funcionamiento general del sistema de calidad, así como la política y objetivos de la Calidad.
- Planes de Calidad, que describen los procesos, variables o atributos a controlar o supervisar, especificaciones, responsables, así como los documentos y registros por operación o producto.
- Procedimientos Documentados, que describen los métodos de trabajo que aseguran la operación continua y sistemática de los distintos procesos de la empresa . Forma especificada para llevar a cabo un proceso en la que se encuentran involucrados más de una persona.
- Instructivos de Trabajo, forma especificada para llevar a cabo una actividad en la que se encuentra involucrada una sola persona.
- Documentación Referencia, o anexa al sistema de calidad (planos, fichas técnicas, etc).
- Documentación Externa, como reglamentaciones normativas (Estatales, Municipales, Internacionales o del Cliente) aplicables al sistema de calidad de I.M.ESCO .
- Registros de la Calidad, generados en el desarrollo de los procesos y actividades, como evidencia de su cumplimiento (Informes, Reportes, etc.)

MANUAL DE GESTIÓN DE LA CALIDAD

El presente manual de la calidad incluye:

- La estructura básica y un mejor alcance del sistema de gestión de la calidad
- Referencia a los procedimientos documentados del sistema de gestión de la calidad
- La descripción de los procesos del sistema de gestión de la calidad.
- La política de la calidad

Control de los documentos

Los documentos requeridos por el sistema de gestión de la calidad son controlados en cuanto a su:

- Identificación de documentos de origen externo
- Aprobación, revisión y distribución de documentos
- Método para evitar el uso no intencionado de documentos obsoletos.

Control de los Registros

I.M.ESCO.- mantiene registros que proporcionan evidencia del correcto funcionamiento del sistema de gestión de la calidad.

I.M.ESCO.- en su procedimiento de control de registros define los controles necesarios para la identificación, legibilidad, almacenamiento, protección, recobro, tiempo de retención y disposición de los registros de calidad.

ENFOQUE AL CLIENTE

I.M.ESCO.- asegura que los requisitos del cliente, así como sus expectativas y quejas se determinen claramente, se evalúen y se realicen todas las gestiones para lograr su máxima satisfacción.

POLÍTICA DE LA CALIDAD

I.M.ESCO.- define una política de calidad, donde declara el compromiso de la Empresa con la calidad. Esta política sirve como base para la planificación de la organización.

COMUNICACIÓN INTERNA

I.M.ESCO.- asegura un buen nivel de comunicación dentro de la organización, considerando la eficacia del Sistema de Gestión de Calidad. Los medios de comunicación utilizados por seran los siguientes:

- Teléfonos
- Memorándums
- Reuniones
- Carteleras
- Correos Electrónicos

GESTIÓN DE LOS RECURSOS

- PROVISIÓN DE RECURSOS

I.M.ESCO.- planifica, determina y proporciona los recursos necesarios para:

Implantar y mantener todos los procesos y prácticas descritas por el presente sistema de gestión de la calidad.

- RECURSOS HUMANOS

Generalidades

Los Colaboradores de I.M.ESCO que realizan trabajos que afectan directamente la calidad del producto son competentes en:

- Educación

- Formación
- Entrenamiento para el desempeño de su trabajo y funciones
- Habilidades mínimas requeridas
- Experiencia apropiada

Por lo que I.M.ESCO define los perfiles, evaluación de desempeño y entrenamiento apropiado para su estricto cumplimiento.

I.M.ESCO. gestiona las condiciones del ambiente de trabajo necesarios para suministrar un producto acorde a los requerimientos de sus clientes.

SATISFACCIÓN DEL CLIENTE

Como una de las medidas del desempeño del sistema de gestión de la calidad, I.M.ESCO realiza periódicamente el seguimiento de la información relativa a la percepción del cliente en cuanto al grado en que I.M.ESCO satisface sus requisitos.

Se debe determinar e implementar disposiciones eficaces para la comunicación con los clientes, relativas ha:

- a) la información sobre el producto,
- b) las consultas, contratos o atención de pedidos, incluyendo las modificaciones, y
- c) la retroalimentación del cliente, incluyendo sus quejas.

Cuando el cliente no proporcione una declaración documentada de los requisitos, la organización debe confirmar los requisitos del cliente antes de la aceptación.

Cuando se cambien los requisitos del producto, la organización debe asegurarse de que la documentación pertinente sea modificada y de que el personal correspondiente sea consciente de los requisitos modificados.

6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

6.5.1 DE TIPO ECONÓMICO

Costos de la realización de ensayos destructivos y ensayos no destructivos en tolvas de 8m³ detallados en la siguiente tabla.

Tabla 6.1. Descripción de costos de ensayos destructivos y no destructivos.

PROCESO	DESCRIPCIÓN	DETALLE	MATERIAL	COSTO (\$)
TRACCIÓN	Preparación de probetas	Zona 4	ACERO ASTM A36	60.00
	Ejecución de pruebas			40.00
	Evaluación de resultados			70.00
COMPRESIÓN	Preparación de probetas	Zona 2 Zona 6	ACERO SAE 1018	60.00
	Ejecución de pruebas			40.00
	Evaluación de resultados			70.00

PROCESO	DESCRIPCIÓN	DETALLE	MATERIAL	COSTO (\$)
FLEXION	Preparación de probetas			90.00
	Ejecución de pruebas	Zona 1 Zona 2	ACERO SAE 1018	40.00
	Evaluación de resultados			70.00
DUREZA	Preparación de probetas	Zona 3		23.00
	Ejecución de pruebas	Zona 4 Zona 5	ACERO ASTM A36	40.00
	Evaluación de resultados	Zona 6		50.00
RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL	Preparación de probetas(de juntas soldadas)	Zona 3		86.00
	Envío de probetas a ENDE C. Ltda.	Zona 4 Zona 5	ACERO ASTM A36	100.00
	Evaluación de ENDE C. Ltda.	Zona 6		350.00

PROCESO	DESCRIPCIÓN	DETALLE	MATERIAL	COSTO (\$)
ULTRA- SONIDOS	Preparación de probetas(medición de espesores)	Zona 3	ACERO ASTM A36	100.00
	Ejecución de pruebas	Zona 4		300.00
		Zona 5		
		Zona 6		
Evaluación		150.00		
TINTAS PENETRANTES	Preparación de las zonas a inspeccionar	Zona 3	ACERO ASTM A36	200
	Ejecución de pruebas	Zona 4		200
		Zona 5		
		Zona 6		
Evaluación		100		
TOTAL				\$ 2239

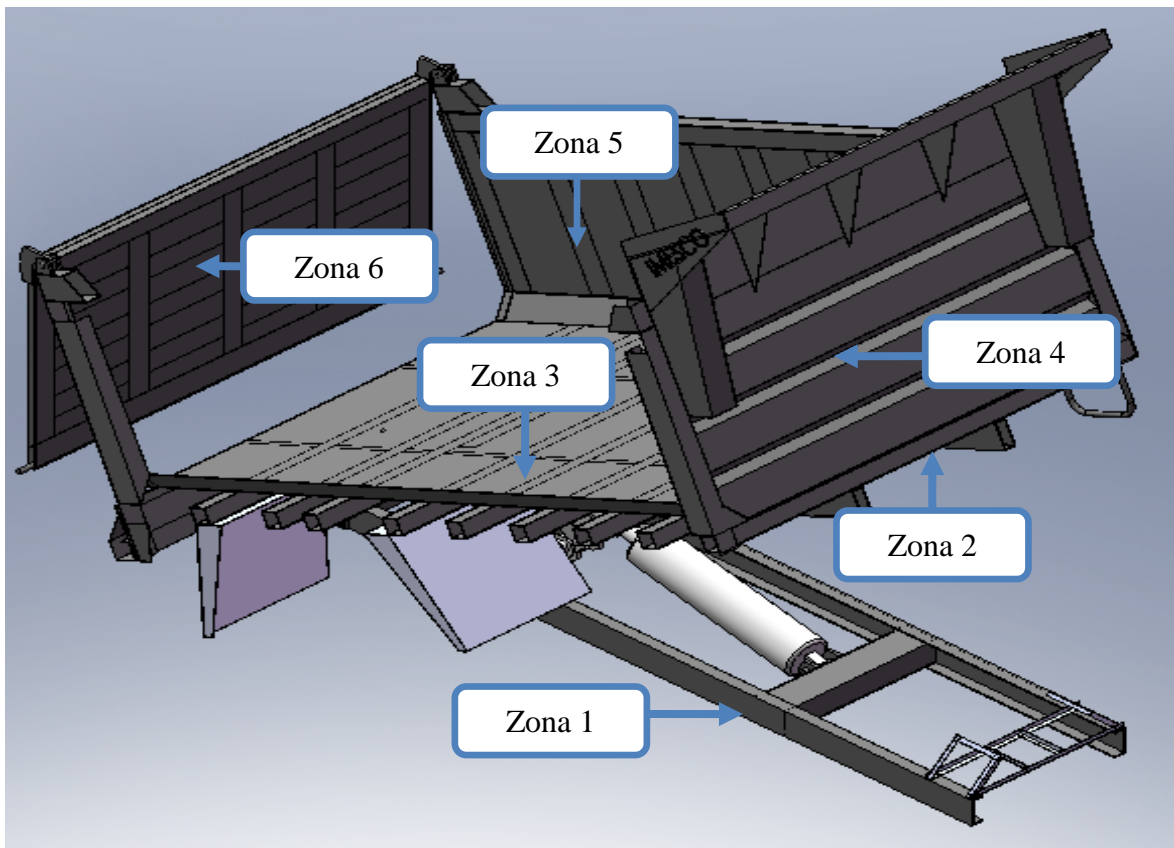
Autor: Leonardo Calero.

NOTA: El detalle de las zonas se especifica en la figura 6.1

La evaluación económica implica la determinación de la posibilidad de la realización o de este proyecto, el cual sea desarrollado sin inconvenientes atenuantes a este factor. En la tabla anterior se describen los valores que conlleva la realización de

todas las pruebas, tanto de ensayos destructivos y ensayos no destructivos, realizados dentro y fuera de la Universidad Técnica de Ambato, cada una de ellas sustentadas en el capítulo dos, de ahí que todos los valores prescritos se justifican en su totalidad al ser su realización indispensable para el libre desarrollo del presente trabajo de investigación. Cabe recalcar que el 50% de los ensayos se han realizado dentro de los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, lo que ha significado un considerable ahorro relación a costos de ejecución de los ensayos.

En el siguiente gráfico se detalla específicamente las zonas en las cuales se ha distribuido la tolva para seleccionar las partes a ensayar.



**FIGURA 6.1. Distribución de la tolva en zonas.
Autor. Leonardo Calero**

Se debe considerar que la designación de zonas se realiza de acuerdo al proceso de construcción real de la tolva y que la descripción o nombres dados no denotan todas las partes constitutivas del modelo real, estas se encuentran claramente detalladas en la sección de planos concerniente a los anexos.

Las correspondientes designaciones en cuanto a distribución de zonas y sus correspondientes materiales se describen en la tabla siguiente:

Tabla 6.2. Descripción de zonas descritas en la figura 6.2.

DETALLE	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
Zona 1	Base al chasis	ASTM A36
Zona 2	Base de la tolva, estructura	ASTM A36
Zona 3	Piso	ASTM A36
Zona 4	Pared frontal	ASTM A36
Zona 5	Pared lateral	ASTM A36
Zona 6	Compuerta	ASTM A36

Autor. Leonardo Calero

6.5.2 DE TIPO TECNOLÓGICO

Ya determinados los medios requeridos , así como los equipos, instrumentación y materiales necesarios para el desarrollo de cada prueba requerida en las partes que constituyen la tolva, en aquellas que se ha verificado por medio de un ensayo visual el desgaste la misma que se deteriora usualmente; se ha establecido la factibilidad de

desarrollar todos los ensayos, ya que cada procedimiento de ensayo y evaluación es común dentro del área de la ingeniería, en cuanto a equipos más precisos, su ubicación y utilización están dentro del alcance del autor de este trabajo, aun siendo estas pertenecientes a instituciones privadas.

6.5.3 DE TIPO AMBIENTAL

Respecto a lo que a contaminación del medio ambiente por agentes químicos utilizados en cada ensayo, no se ha determinado riesgo alguno, esto debido a que las cantidades de productos químicos utilizados en las pruebas son pequeñas, y no representan un riesgo directo o indirecto al medio ambiente en el que se desarrollan, ni al ejecutor del ensayo; sin embargo se han tomado las respectivas medidas de prevención, como es la utilización de guantes, mascarilla y gafas. En cuanto a los procesos más complejos realizados en empresas privadas, como lo es ensayo de radiografía industrial, el autor solo se responsabiliza del envío de las muestras y el retiro de los resultados de las pruebas realizadas.

6.5.4 DE TIPO JURÍDICO

Este es un parámetro fundamental para la realización del objetivo principal de la propuesta que genera este proyecto, ya que para la obtención de una certificación de calidad, bajo la Norma ISO 9001-2008, exige que tanto los procesos, ejecución y presentación de resultados, así como el dimensionamiento de la tolva estén dentro de sus parámetros, no obstante estos lineamientos no se encuentran en sus registros, por lo que solo se requerirá patentar el diseño y sustentar cada proceso de evaluación bajo las normas establecidas en el capítulo 2 sección 3.

6.6 FUNDAMENTACIÓN

Los parámetros bajo los cuales se ha desarrollado este trabajo son la carga a la que usualmente es sometida una volqueta respecto a la capacidad para la cual ha sido diseñada. De lo expuesto anteriormente, los materiales que usualmente transporta

una volqueta son: tierra, arena, piedra, cascajo, asfalto, el material que mayor daño causa es la piedra, la misma que impacta contra paredes, piso y puerta de la tolva de la volqueta, arrojadas desde una altura promedio de 3.5m. Otro factor que disminuye la vida útil de la tolva es la humedad del material, cuyos efectos más visibles y comunes son la oxidación y corrosión.

Respecto a la capacidad, el modelo estudiado es una tolva de 8m^3 de volumen total de carga, independientemente del tipo de material, carga que ejerce una presión constante al toda la volqueta, específicamente al piso y paredes de la tolva, así como a las cerchas que acoplan el chasis con la tolva, ejes de volteo y sistema de elevación de la misma, representando además un esfuerzo constante en las uniones soldadas de las partes mencionadas.

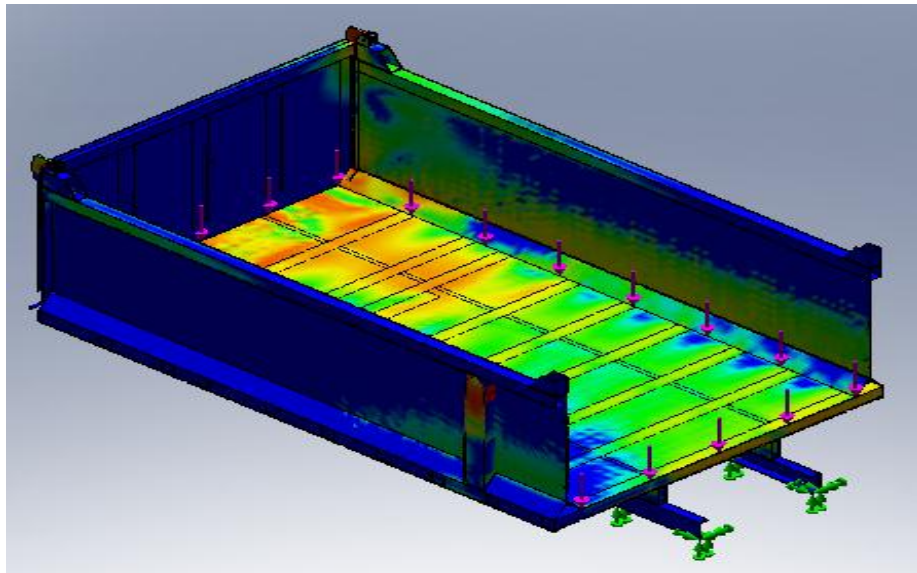


FIGURA 6.2. Simulación de la tolva sometida a esfuerzos normales al piso.
FUENTE: Leonardo Calero

Efectos superficiales se pueden evidenciar realizando una inspección visual de la tolva, en cuanto a efectos más específicos y micro estructurales, como tensiones en cordones de soldadura, agrietamientos internos, y cambios en la estructura de la tolva, requieren de métodos de ensayo especiales para evaluar. Una forma general de obtener la ubicación específica de esfuerzos en la tolva, es someterlo a un modelo o

a una simulación; modelo que corrobora la conceptualización planteadas con antelación.

En la figura 6.2 se pueden evidenciar las partes que se someten a mayor concentración de esfuerzos, de mayor a menor esfuerzo registrado, los colores son rojos y amarillos, críticos, verdes y azules, mínimos.

La simulación se realizó en función del máximo peso al que se encuentra sometida una volqueta, determinado por la siguiente ecuación:

$$d = M/v$$

$$M = (1500 \text{ kg/m}^3) \times 8\text{m}^3$$

$$M = 12000\text{kg}$$

Dónde: M= masa total

d= densidad de la piedra de rio (1500 kg/m^3)

v= volumen

6.7 METODOLOGÍA. MODELO OPERATIVO

Para la determinación de los efectos de los ensayos destructivos y no destructivos en las tolvas para volquetas, cada método implica un proceso único de análisis, los cuales se detallan en los siguientes ítems.

6.7.1 ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

6.7.1.1 INSPECCIÓN VISUAL ASME IV, SECCIÓN V, ARTICULO 9

Al igual que en la aplicación de otros métodos de ensayo no destructivo, refiriéndonos al código ASME, el examen visual debe ser realizados en base a

procedimientos escritos y lista de comprobación (ASME, Sección V, Artículo 9 y sección XI, Artículo IWA - 2000).

Primeramente se verificó los materiales de aporte, a su vez se certifica que los materiales a utilizar como electrodos, CO₂, alambre etc., cumplen con los parámetros de calidad necesarios para dicha función.

Se verificó los materiales a los cuales se les realizara la inspección a su vez se verifica la calidad de acabado, alineaciones y limpieza requerida aplicando correspondientemente el procedimiento. Observando el depósito de los cordones en las diferentes uniones de cada parte de la tolva.

Al finalizar el proceso de soldadura, se verifica las uniones en cuanto al aspecto requerido y normas de calidad, a su vez se intenta descubrir imperfecciones tales como mordeduras, salpicaduras, grietas, rugosidades y el material de aporte en exceso.

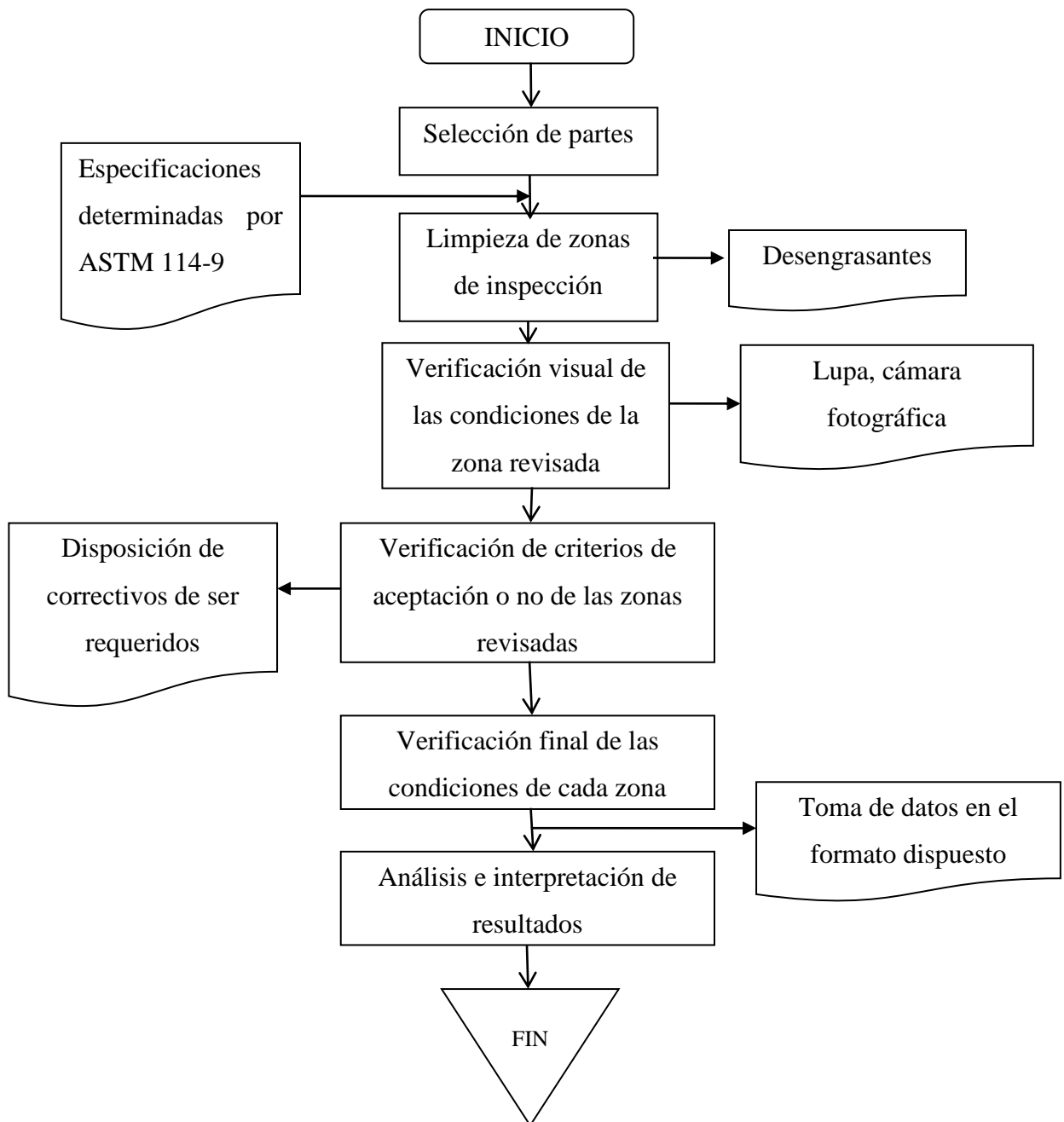


**Figura 6.3. Proceso de inspección visual en cordones de soldadura.
FUENTE: Planta industrial I.M.ESCO.**

Por otra parte el informe referente al ensayo incluye como mínimo los siguientes datos según los códigos ASME.

- Fecha del Examen
- Procedimiento Utilizado


- Alcance del Examen e identificación de los elementos, estructura o componentes examinados
- Instrumentos y equipos utilizados
- Resultados obtenidos
- Nombre y firma del inspector



6.7.1.2 ENSAYO DE RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL

La radiografía industrial es en método no destructivo el cual utiliza la radiación ionizante de alta energía que al pasar a través de un material sólido, parte de su energía es atenuada debido a diferencias de espesores, densidad o presencia de discontinuidades. Las variaciones de atenuación o absorción son detectadas y registradas en una película radiográfica o pantalla fluorescente obteniéndose una imagen de la estructura interna de una pieza o componente.

FICHA DE CALIFICACIÓN DE LA JUNTA SOLDADA



INFORME DE INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA

I.P. Inadecuada Penetración	CI Concavidad interna	C.P. Porosidad agrupada	AD Acumulación de discontinuidades
IPH Inadecuada Penetración High Low	Q. Quemón	P.V. Poro vermicular	DF Defectos de forma
IPA Inadecuada Penetración a través	ISI Inclusión de escoria aislada	F. Fisura	O Otros
I.F. Inadecuada Fusión	ESI Inclusión de escoria alargada	M.E. Mordedura externa	
IFP Inadecuada Fusión entre pases	P. Poro	M.I. Mordedura interna	

CLIENTE: IMESCO
JUAN ESCOBAR

PROYECTO: CALIFICACION SOLDADOR

Procedimiento: <u>RT-001-2010</u>	Material: <u>ACERO</u>	Película: <u>AGIDA</u>	Isotopo: <u>Ir 192</u>	Ci: <u>20</u>	Tamaño focal: <u>912</u>
Técnica Radiográfica: <u>DS/VS.</u>	Distancia Mínima Fuente Película: <u>2011</u>	H&D: <u>2-4</u>		IQI: <u>ASTM B</u>	
Procesamiento: <u>Manual</u> ✓	Temp (°C): <u>20</u> ✓	Tiempo: (min)	Revelado: <u>5</u> ✓	Baño de Paro: <u>2</u> ✓	Fijado: <u>10</u> ✓
					Lavado final: <u>30</u> ✓

Radiografía número	Soldador (es) #	Soldadura	Localización	Calificación		Dia (m)	Espesor O Sch	Cantidad de exposiciones	Densidad	UBICACIÓN DE DEFECTOS Y OBSERVACIONES
				Y	N					
<u>RX1</u>		<u>MIG</u>		<u>X</u>		<u>6mm</u>	<u>1</u>	<u>✓</u>		<u>IP INADECUADA - PENETRADO TODA LA LONGITUD DE LA SOLDADURA</u>


FECHA: <u>14 Julio 2010</u>	LUGAR: <u>QUITO</u>	ESTACIÓN: <u>X</u> LINEA: _____	Unidad #:	Informe:
No. de soldaduras radiografiadas: <u>1</u>	Código de Aceptación: <u>ASME IX</u>	Norma de Referencia: <u>ASME S</u>		
Horas trabajadas:	Observaciones:			
NOMBRE:	NOMBRE:	NOMBRE: <u>P. P. CAMILLER</u>	NIVEL: <u>II</u>	
CLIENTE:	INSPECTOR:	 CALIFICADOR:		
FECHA:	FECHA:	FECHA: <u>14 JULIO 2010</u>		

Figura 6.4. Informe de radiografía industrial.
 Fuente. ENDE Quito.

6.7.1.3 ENSAYO CON LÍQUIDOS PENETRANTES LP

Análisis con Líquidos Penetrante mediante la norma ASME Sección V Artículo VI

6.7.1.3.1 PROCEDIMIENTO

El método de inspección superficial por líquidos penetrantes puede ser empleado con efectividad en materiales no porosos, ferrosos y no ferrosos y materiales no metálicos se utiliza para la detección de defectos en soldadura y material base.

6.7.1.3.2 REQUISITOS DE SEGURIDAD

Debido a que los líquidos penetrantes son altamente volátiles e infumables, se procurara a efectuar en áreas debidamente ventiladas.

Al instante de la inspección visual y la verificación general, se procede a la inspección con LP, para la realización del ensayo la unión soldada se identifica según la junta y a su vez la unión soldada debe estar a una temperatura de 16° a 52° ASME V ART. 6 T 652 para efectuar el ensayo se realiza una limpieza mediante una grata.

6.7.1.3.3 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE

La soldadura o zona a examinar y toda el área comprendida dentro de una distancia de 25 mm alrededor de ella deberá estar completamente limpia y seca antes del examen.

Con especificaciones del artículo 6 T 652 Se eliminara escorias, limaduras, proyecciones de la soldadura, pinturas, grasas, agua o cualquier tipo de suciedad. Con el objeto de conseguir una superficie que permita una interpretación apropiada de los resultados del examen.

6.7.1.3.4 APLICACIÓN DEL LP

La temperatura del penetrante y de la pieza que se va a examinar estará siempre comprendido entre 16 y 52 C permitiéndose el calentamiento o el enfriamiento de aquellos con objetos de mantener estos límites, si no fuese posible de mantener estos límites de temperatura se podrá utilizar otras temperaturas y tiempos de aplicación siempre que el procedimiento este calificado de acuerdo con lo establecido en ASME V T 660

- El penetrante se agitará antes de proceder a la aplicación.
- La aplicación del penetrante se puede efectuar por pulverizado, brocha o emersión, en cualquier caso deberá ponerse especial atención para evitar la contaminación dl mismo con aceite, agua, grasas o cualquier suciedad etc. El tiempo de aplicación del penetrante será el que se indique a continuación.

Temperatura de la pieza	Tiempo mínimo de aplicación
16° a 52°	10 minutos.
10° a 16°	15 minutos

6.7.1.3.5 REMOCIÓN DELLÍQUIDOPENETRANTE

Se procede a la remoción del líquido penetrante por medio de un trapo húmedo con el cuidado de que no se remuevan aquel que se encuentre en los posibles defectos

6.7.1.3.6 SECADOS ANTES DE LA APLICACIÓN DEL REVELADOR

- a. En los métodos de penetrantes eliminables por agua o por post emulsificables el secado se efectuara por medio de trapos limpios, papel secante o circulación de aire caliente a una temperatura inferior a 52° C, según expresa la norma correspondiente.
- b. Cuando se emplee el método de penetrante eliminable con disolvente se dejara secar a vaporización normal durante un mínimo de cinco minutos, a temperatura ambiente.

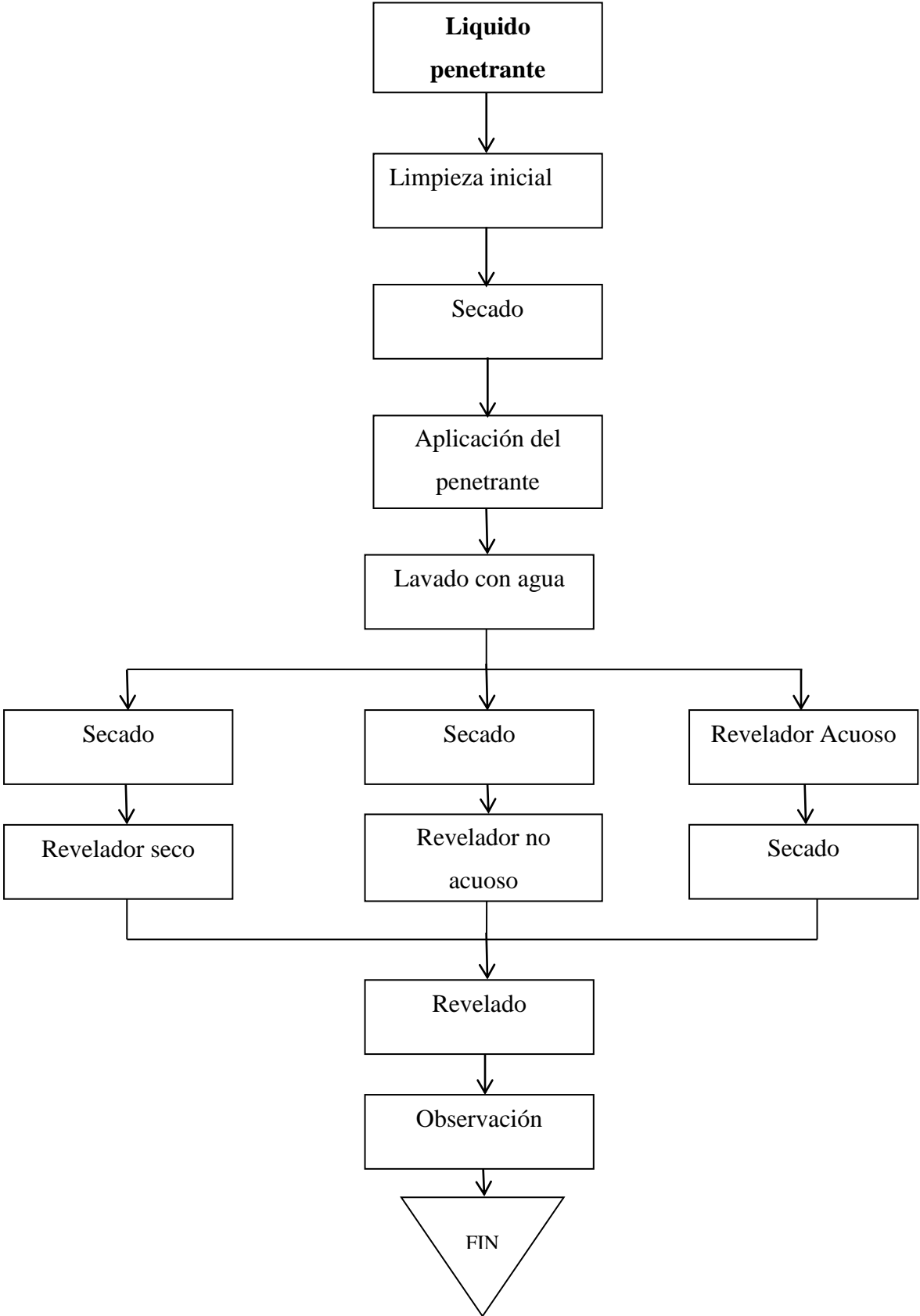
6.7.1.3.7 APLICACIÓN DEL REVELADOR

Con la guía de las especificaciones del fabricante o mediante recomendaciones de la norma ASME V ART 6 se realizara la aplicación correspondiente.

- a) Inmediatamente después de efectuar las operaciones de eliminación y secado del penetrante se procederá a la aplicación por pulverizado del revelador
- b) El revelador se agitará vigorosamente para conseguir que las partículas sólidas estén en suspensión en el momento de su aplicación.
- c) Se aplicara el revelador en la cantidad suficiente para producir una capa blanca y uniforme que cubra toda la superficie sobre la que se aplicó todo el penetrante. Debiendo evitar un recubrimiento excesivo que pueda dificultar la detección de una posible discontinuidad.
- d) Se tomara las debidas precauciones para evitar que algún objeto dañe la película de revelado y tenga que repetirse la operación.

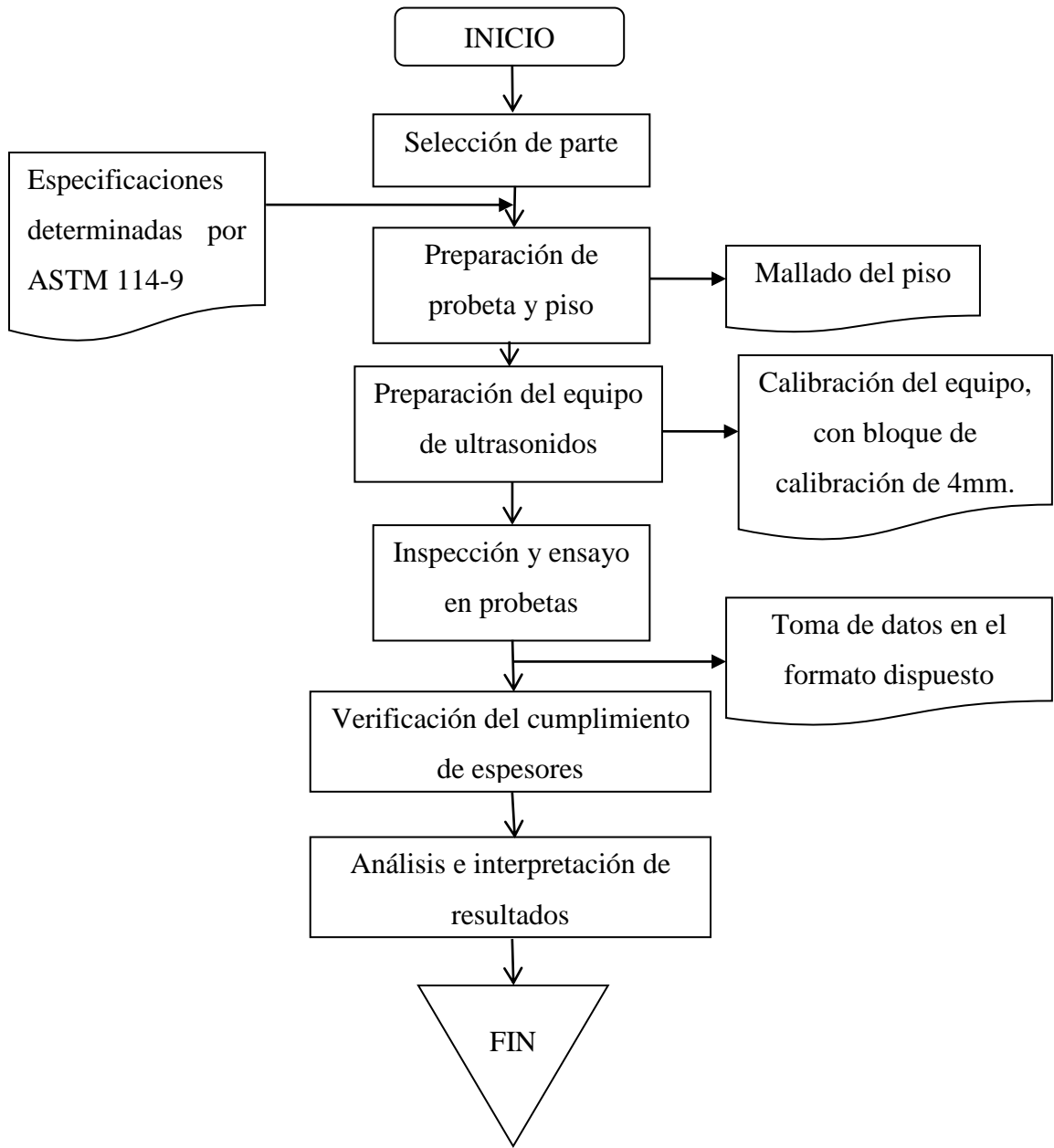
6.7.1.3.8 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

- a) La interpretación de los resultados deberá realizarse en un intervalo de tiempo comprendido entre 7 y 30 minutos a partir del momento en que la capa del revelador este seca.
- b) Las discontinuidades aparecerán en forma de manchas rojas sobre el blanco del revelador. Se considera lineales aquellas que cuya longitud es más de tres veces su anchura. Cuando su longitud es menor a tres veces su anchura se considera redondeada.
- c) Las indicaciones dudosas, se consideran como inacceptables hasta que dicha indicación sea eliminada por acondicionamiento de la superficie o sean evaluadas por medio de otro ensayo no destructivo y se demuestre que carece de importancia.
- d) En el área de inspección se dispondrá de la iluminación suficiente para asegurar la adecuada sensibilidad del examen.



6.7.1.4 ULTRASONIDOS

El ensayo se realizó en la Zona 3, bajo la ASTM 114-9, Norma práctica para ultrasonidos pulso-eco de haz recto, Examen por el método de contacto; ejecutado en el piso de la tolva; evaluada por ser la parte más afectada, al soportar toda la carga de manera directa. Para este ensayo se procedió según el siguiente diagrama.



El uso de ultrasonido para la medición de espesores permite obtener datos exactos del material a analizar, y comprobar el grosor del material para determinar si es el requerido para el diseño según las especificaciones de cada una de las partes constitutivas de la tolva.

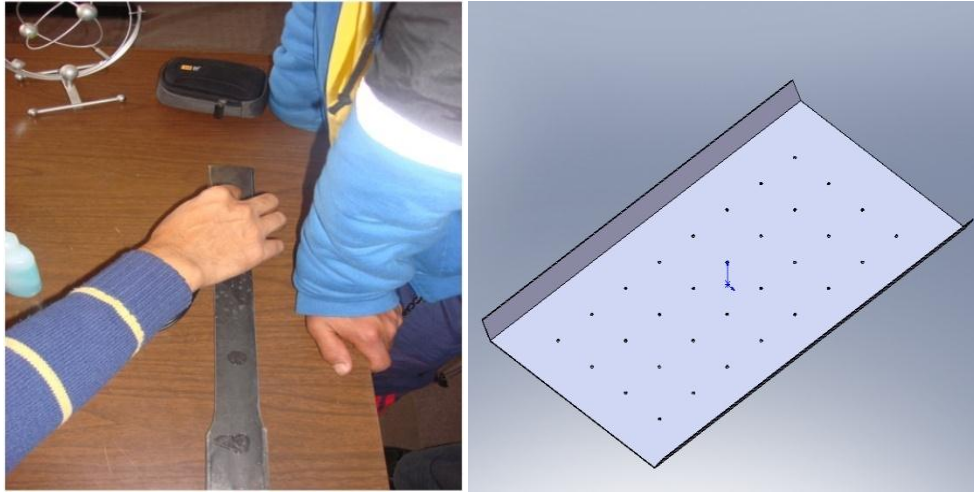
La inspección consiste en realizar la medición de espesores por ultrasonido en las partes que presenten mayores prestaciones al desgaste por corrosión u oxidación o deformación por impacto, defectos que usualmente se presentan en el piso, paredes laterales y frontal, así como en la compuerta de la tolva, realizando el ensayo de acuerdo a las especificaciones y recomendaciones de la norma ASTM 114-9y del Código ASME Sección VIII, División 1 y 2, y el procedimiento propio del autor del presente proyecto.



Figura N° 6.5. Medidor de espesores, calibración.
FUENTE: Leonardo Calero

En el gráfico se observa el equipo para efectuar la medición de espesores por ultrasonidos y un bloque de calibración para el desarrollo del ensayo; se ha establecido además que la calibración del equipo se efectúa bajo la supervisión de un profesional en el área de ensayos no destructivos, mismo que da seguimiento a todo el proceso.

Las mediciones se realizaron en una probeta tomada indistintamente de la Zona 5 y posteriormente se procedió a realizar las pruebas en el piso, el gráfico 6.6 (derecha) se muestra la distribución de puntos de medición en la Zona 3 a una distancia de 400 mm x 400 mm, desde el extremo inferior izquierdo, teniendo un total de 32 puntos de medición.



**Figura 6.6. Medición de espesor en probeta de acero A36 y distribución de puntos de medición en el piso de la tolva.
FUENTE: Leonardo Calero**



**Figura 6.7. Medición de espesor en probeta de acero A36 y distribución de puntos de medición en el piso de la tolva.
FUENTE: Leonardo Calero**

6.7.2 ENSAYO DESTRUCTIVOS

6.7.2.1 ENSAYO DE TRACCIÓN

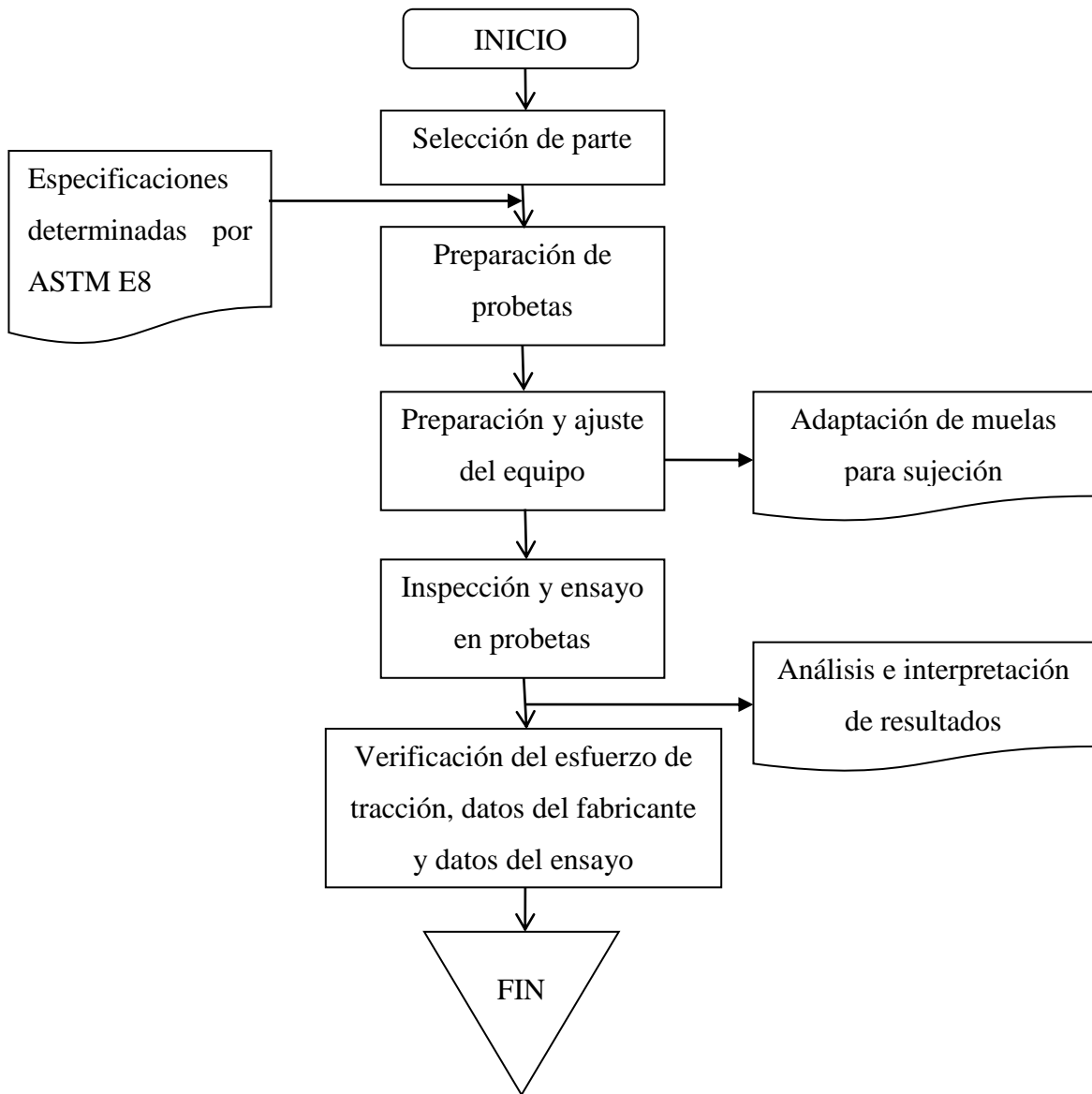
Realizado en las Zonas 4,5 y 6, bajo la norma ASTM E8, ejecutado en las paredes que constituyen la tolva, ya que estas partes están expuestas a esfuerzos por la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto, y tienden a estirarlo, provocados por el peso del material que se carga en una volqueta. Lógicamente, se considera que las tensiones que tiene cualquier sección perpendicular a dichas fuerzas son normales a esa sección, y poseen sentidos opuestos a las fuerzas que intentan alargar el cuerpo.



Figura 6.8. Probetas para ensayo de tracción, acero A36.
FUENTE: Leonardo Calero



Figura 6.9. Probeta en la maquina universal, antes y después del ensayo.
FUENTE: Leonardo Calero.



Observaciones:

- Los ensayos se realizaron en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, en la Máquina Universal, en la cual se acoplaron muelas de sujeción para la realización del ensayo.
- La carga se aplica progresivamente para tener una mejor apreciación del comportamiento de la probeta durante el ensayo, tomando siempre las debidas medidas de seguridad, y una distancia prudente.

6.7.2.2 ENSAYO DE FLEXIÓN

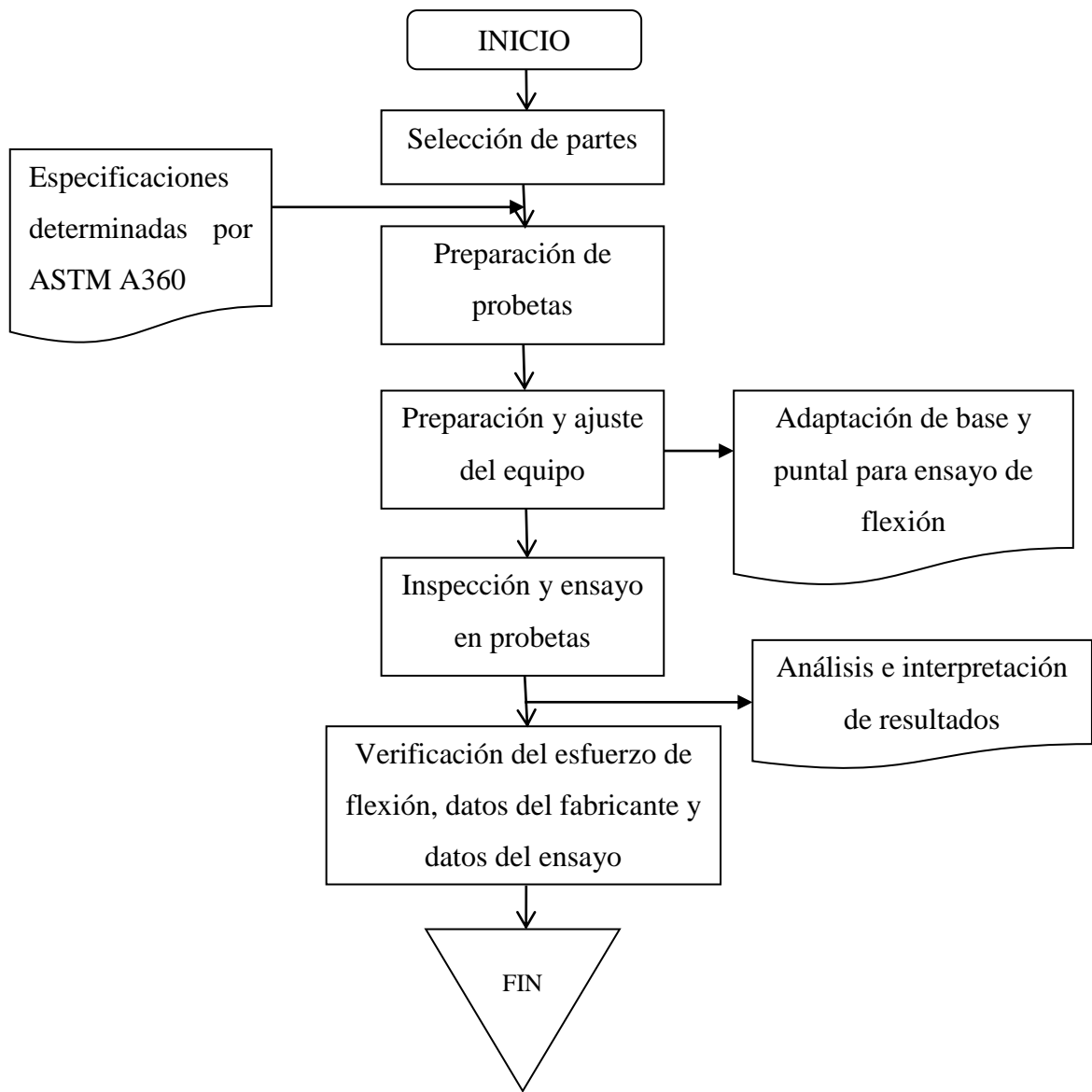
Realizado en los ejes que presentan mayor concentración de esfuerzos debido a la carga a la que la tolva está expuesta, tanto de la base de la tortuga y del sistema de elevación, además del eje de volteo de la tolva.



Figura 6.10. Máquina Universal, probetas del ensayo, acero SAE 1018.
FUENTE: Leonardo Calero



Figura 6.11. Máquina Universal, probetas del ensayo, y ejecución, en acero SAE 1018.
FUENTE: Leonardo Calero

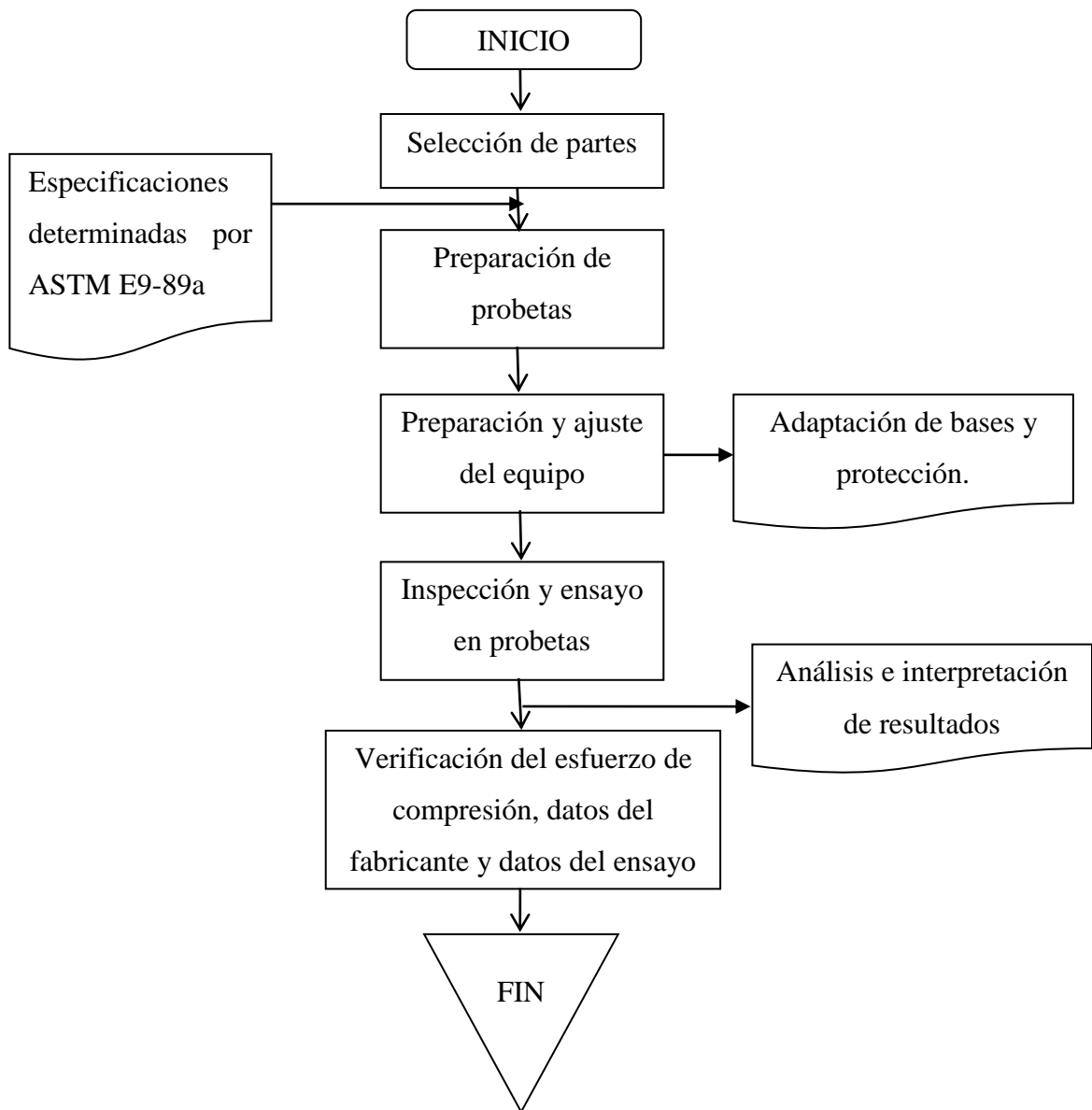


Observaciones:

- Debido a la geometría de las probetas, se adaptaron guías para limitar su movimiento sobre la superficie de apoyo.
- La aplicación de la carga se realizó progresivamente para tener una mejor apreciación de sus efectos en cada probeta, así como para facilitar la toma de resultados.

6.7.2.3 ENSAYO DE COMPRESIÓN

Realizado bajo la ASTM E9-89a, complementando el ensayo de flexión para las partes descritas en ella; se debe considerar que debe utilizarse una máquina de compresión de mayor capacidad, siendo el mismo tipo de procedimiento.



Considerar que el dimensionamiento de las probetas tanto en flexión y compresión se realizaron en base a las tablas descritas en la norma ASTM E9-89a, tomando las de geometría circular que se describe a continuación.

Tabla 6.8. Especímenes sugeridos para sólidos cilíndricos.

Specimens	Diameter		Length		Approx L/ D Ratio
	in.	mm	in.	mm	
Short	1.12 ± 0.01	30.0 ± 0.2	1.00 ± 0.05	25. ± 1.	0.8
	0.50 ± 0.01	13.0 ± 0.2	1.00 ± 0.05	25. ± 1.	2.0
Medium	0.50 ± 0.01	13.0 ± 0.2	1.50 ± 0.05	38. ± 1.	3.0
	0.80 ± 0.01	20.0 ± 0.2	2.38 ± 0.12	60. ± 3.	3.0
	1.00 ± 0.01	25.0 ± 0.2	3.00 ± 0.12	75. ± 3.	3.0
	1.12 ± 0.01	30.0 ± 0.2	3.38 ± 0.12	85. ± 3.	3.0
Long	0.80 ± 0.01	20.0 ± 0.2	6.38 ± 0.12	160. ± 3.	8.0
	1.25 ± 0.01	32.0 ± 0.2	12.50 min	320 min	10.0

^A Other length-to-diameter ratios may be used when the test is for compressive yield strength.

Fuente. Norma ASTM E9-89a.

Nota 1. La conversión a unidades métricas representa una aproximación de las dimensiones del espécimen, pero no la conversión exacta de las unidades pulgada-libra.



Figura 6.12. Máquina ensayo de compresión y detalle de la prueba con una presión de 60000lbf, y el efecto producido después del ensayo, evidenciando claramente la deflexión.

Autor: Leonardo Calero

6.7.2.4 ENSAYO DE DUREZA

Este ensayo realizado es para obtener el número de dureza encontrado en función del grado de penetración de la pieza de ensayo por la acción de un penetrador bajo una carga dada, comprobando la dureza medida respecto a la dureza que el fabricante detalla. Las muestras corresponden al piso y todas las paredes que conforman la tolva, se verificara la correspondiente dureza mediante ensayo Rockwell.

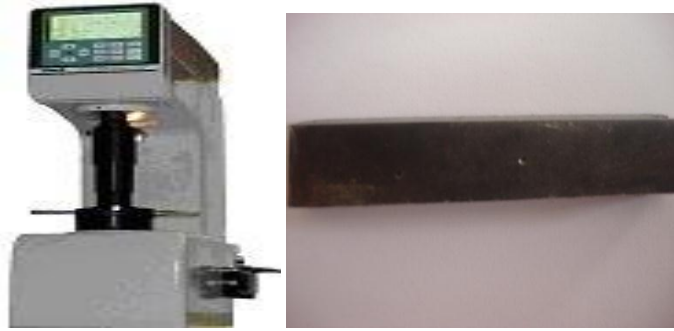
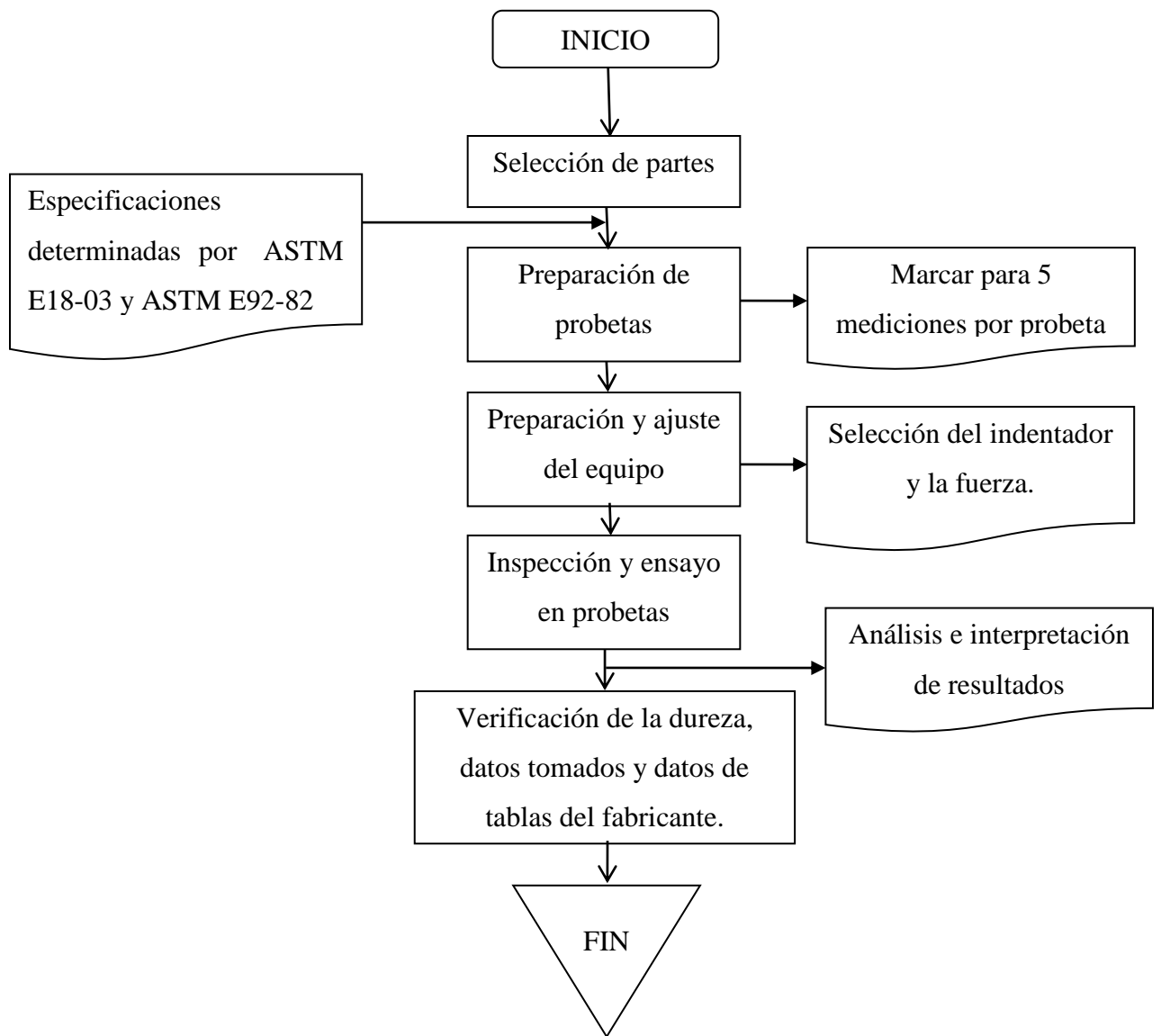


Figura 6.13. Máquina Rockwell y probeta del ensayo de dureza
Autor: Leonardo Calero



6.8 ADMINISTRACIÓN

Todos los materiales que han sido utilizados para el desarrollo de estos ensayos son elementos que se encuentra al alcance de cualquier individuo, para mí fue de gran ayudar haber escogido este tema y poder conseguir todos los implementos de una forma rápida. En estas áreas de trabajo se procedió a realizar el ensayo de inspección visual para luego continuar con los demás ensayos. El estudio que se realizó se aplicó el método correspondiente según el área de trabajo, y esto lo conseguimos por medio de las investigaciones y estudios realizados acerca del tema.

6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

Determinados los tipos de ensayos a realizarse se procederá como se indica en la sección 6.7 de este capítulo, de acuerdo a la norma correspondiente. Este tipo de pruebas corresponden al control de calidad que exige la norma ISO 9001:2008 que la empresa I.M.ESCO. está en proceso de obtención para su mejoramiento competitivo dentro del mercado nacional e internacional'

Se ha controlado además los diversos procesos de construcción dentro de la empresa, así como niveles de educación y preparación del personal, estimando su grado de eficiencia en cada sub proceso, llegando a la necesidad de una reestructuración de procesos y equipos. Cabe recalcar que cada proceso de ensayo realizado ha sido supervisado por personal idóneo en ésta área de la ingeniería, incluyendo además pruebas realizadas en empresas particulares como en el caso de Ensayos por Radiografía Industrial. Todos los resultados obtenidos se han registrado en diversos formatos, en los mismos que se comparan con datos obtenidos del distribuidor de la materia prima utilizada.

En cuanto al valor de la aplicación de los ensayos en diversas partes de la tolva de volqueta de 8m³, el costo no se somete a estudios financieros debido a que se trata de una propuesta planteada a I.M.ESCO. para intervenir en la obtención de la norma ISO

9001:2008 por parte del autor del presente trabajo de tesis, los valores indicados en la tabla 6.1 representan el valor que representa realizar el estudio en una sola volqueta, mas no en el sistema de producción total de volquetas de la empresa.

BIBLIOGRAFÍA

1. ASME 1999 Norma ASME Sección V Artículo 6 Liquid Penetrant Examination
2. Comité de fiabilidad de la AECC, medida de la fiabilidad abril, 1974.
3. ASME 1999 Norma ASME Sección V Artículo 9 Visual Examination
4. Norma ISO 9001-2009
5. Aplicación de los métodos de ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Alfonso Ruiz Rubio
6. H. southworth, practical sincivity limits of production testing methads in Steel, AFML IR-1 Nobember 1973
7. K,M JACOBSEN,Investigation of sensivity of Fluorescent Penetrants, Adrox Ltd.1969
8. R.TANDERSON et al, Detection of Fatigue Crocks by No destructive testing methads, Convair Aerospace div, report G.D CA- DBG 73-002 March,1973

LINCOGRAFÍA

- http://www.unedcervera.com/c3900038/ciencia_materiales/propiedades_mecanicas.html(traccion
- <http://materias.fi.uba.ar/6716/compresion.pdf>(compresión)
- <http://www.proyectosfindecarrera.com/ensayo-dureza-brinell.htm> (dureza
- <http://www.instron.com.es/wa/glossary/Flexure-Test.aspx>(flexion)
- http://www.obtesol.es/index.php?option=com_content&task=view&id=178&Itemid=31liquidos
- <http://www.eac2009.com.co/files/Ensayos%20no%20destructivos%20LHQQ.pdf>radiografia
- <http://www.geinspectiontechnologies.com/es/productos/index.html>inspeccion
- http://www.ar.sgs.com/es_ar/ultrasonic-testing?serviceId=10134191&lobId=10185466ultrasonidos

ANEXOS

SECCIÓN A

PROPIEDADES DE LOS ACEROS Y PERFILES ESTRUCTURALES.

ANEXO A1. Propiedades químicas de aceros varios.

Aceros para perfiles doblados , perfiles laminados, Tubería/planchas											
Norma	Composición Química (% Máximo)							Esfuerzo Fluencia Ksi Mín.	Esfuerzo Tracción Ksi Mín.	% de Elongación 2" Mín.	Descripción y Uso Final
	C	Mn	P	S	Si	Cb	V				
JIS G 3132 SPHT1	0.10	0.50	0.040	0.040	0.35	-	-	-	39.1	35	Acero comercial uso moderado baja resistencia, Tubería soldada estructural
JIS G 3132 SPHT2	0.18	0.60	0.040	0.040	0.35	-	-	-	49.7	30	
ASTM A-569	0.020 - 0.15	0.60	0.030	0.035	-	-	-	-	-	-	
ASTM A-570 30	0.25	0.90	0.035	0.040	-	-	-	30	49	25	Baja resistencia para piezas de troquelado moderado, perfil comercial, tubular y polines.
ASTM A-570 33	0.25	0.90	0.035	0.040	-	-	-	33	52	23	Baja resistencia para piezas estructurales uso moderado.
ASTM A-283 A	0.14	0.90	0.035	0.040	0.40	-	-	24	45 - 60	30	Media resistencia, estructura, perfil tubular y polines.
ASTM A-570 36	0.25	0.90	0.035	0.040	-	-	-	36	53	22	Baja resistencia para piezas estructurales y perfiles de uso moderado.
ASTM A-283 B	0.17	0.90	0.035	0.040	0.40	-	-	27	50 - 65	28	Media resistencia para estructuras y perfiles de uso moderado.
ASTM A-283 C	0.24	0.90	0.035	0.040	0.40	-	-	30	55 - 75	25	
ASTM A-36	0.25	1.20	0.040	0.050	0.40	-	-	36	58 - 80	21	Estructural para construcción de barcos.
ASTM A-131-A	0.23	1.35	0.035	0.040	-	-	-	34	58 - 71	24	
ABS-A	0.23	1.35	0.035	0.040	-	-	-	34	58 - 71	24	
ABS-B	0.21	0.80 - 1.10	0.035	0.040	0.035	-	-	34	58 - 71	24	
LLOYD'S A	0.23	1.35	0.035	0.040	-	-	-	34	58 - 71	24	Alta resistencia estructural para barcos.
ASTM A-131-AH36	0.18	0.90 - 1.60	0.035	0.040	0.50	0.050	0.10	51	71 - 90	22	Alta resistencia estructural para barcos.
ASTM A-131-AH36	0.18	0.90 - 1.60	0.035	0.040	0.50	0.050	0.10	51	71 - 90	22	Alta resistencia para postes, luminarias y postes y torres de comunicación.
ASTM A-572 50	0.23	1.35	0.040	0.040	0.40	0.050	0.15	50	65	21	Alta resistencia para estructuras.
ASTM A-572 55	0.25	1.35	0.040	0.040	0.40	0.050	0.15	55	70	20	
ASTM A-572 60	0.26	1.35	0.040	0.040	0.40	0.050	0.15	60	75	18	
ASTM A-572 65	0.26	1.35	0.040	0.040	0.40	0.050	0.15	65	80	17	Alta resistencia para estructuras, y postes y torres de comunicación.
AHMSA-50	0.23	1.35	0.035	0.040	0.40	0.050	-	50	65	21	Baja resistencia para estructuras de uso moderado y alta soldabilidad.
AHMSA-55	0.27	1.35	0.035	0.040	0.40	0.050	-	55	70	20	
DIN/BS EN 10025 S235	0.17	1.40	0.045	0.045	-	-	-	34.1	49.3 - 68.2	20	Alta resistencia para uso estructural, bases para columnas.
DIN/BS EN 10025 S275	0.18	1.50	0.040	0.040	-	-	-	39.8	59.6 - 81.2	20	Alta resistencia para uso estructural, partes para puentes.
DIN/BS EN 10025 S355	0.24	1.60	0.040	0.040	0.55	0.050	0.10	51.5	71 - 91.3	18	

ANEXO A2. Propiedades de aceros laminados en caliente.

Laminados en Caliente													
Acero estructural resistente a la corrosión atmosférica - Placa													
Especificación	Composición Química % en peso (Máximo)									Esfuerzo Fluencia	Esfuerzo Tracción	% de Elongación	Descripción y Uso Final
	C	Mn	P	S	Si	Cu	Ni	Cr	V	Ksi Mín.	Ksi	8" Mín.	
ASTM A-36-Cu	0.27	1.20	0.040	0.05	0.40	0.20	-	-	-	36	58 - 80	23	Media resistencia para vigas soldadas y partes de puentes y edificios.
ASTM A-588-B	0.20	0.75 - 1.35	0.040	0.05	0.15 - 0.50	0.20 - 0.40	0.50	0.40 - 0.70	0.010 - 0.10	50		18	Alta resistencia para estructuras, postes y luminarias.
ASTM A-242-T1	0.15	1.00	0.150	0.05	-	0.20	-	-	-	50	70 Mín.	18	
ASTM A-871-T-2	0.20	0.75 - 1.35	0.040	0.05	0.15 - 0.50	0.20 - 0.40	0.50	0.40 - 0.70	0.010 - 0.10	65	80 Mín.	17	

Laminados en Caliente											
Aceros para recipientes a presión - Placa											
Especificación	Composición Química % en peso (Máximo)						Esfuerzo Fluencia	Esfuerzo Tracción	% de Elongación	Descripción y Uso Final	
	C	Mn	P	S	Si	Cb	Kal Mín.	Kal	8" Mín.		
ASTM/ASME SA-285-C	0.28	0.90	0.035	0.035	---	---	30	55 - 75	23	Recipientes estacionarios de baja e Intermedia resistencia.	
ASTM/ASME SA-465	0.33	0.85 - 1.20	0.035	0.035	0.40	0.020	38	75 - 95	15	Recipientes estacionarios de alta resistencia.	
ASTM/ASME SA-515-60	0.27	0.90	0.035	0.035	---	---	32	60 - 80	21	Recipientes de media resistencia para servicio de media y alta temperatura.	
ASTM/ASME SA-515-70	0.31	1.20	0.035	0.035	---	---	38	70 - 90	17	Recipientes para media y alta temperatura.	
ASTM/ASME SA-516-60	0.27	0.90	0.035	0.035	---	---	32	60 - 80	21	Recipientes de media resistencia para servicio de media y baja temperatura.	
ASTM/ASME SA-516-70	0.31	1.20	0.035	0.035	---	---	38	70 - 90	17	Recipientes para mediana y baja temperatura.	
ASTM/ASME SA-612	0.25	1.0 - 1.35	0.035	0.035	0.15 - 0.40	0.020	50	83 - 105	16	Recipientes para tanques de F.F.C.C.	
AARTC 128-B	0.25	1.0 - 1.35	0.035	0.040	0.15 - 0.40	0.020	50	81 - 101	16		
NOM B 476	0.20	1.0 - 1.60	0.035	0.030	0.50	0.020 - 0.050	39	54 - 64	17	Depósitos de combustible, esferas.	
ASTM A-537	0.24	0.70 - 1.35	0.035	0.040	0.40	0.050	50	70	25	Alta resistencia normalizado, garantía impacto a bajas temperaturas	

ANEXO A3. Propiedades de aceros laminados al frío.

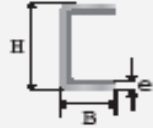
Aceros laminados al frío										
Especificación	Composición Química (% Máximo)					Dureza Rb Máx.	Esfuerzo Fluencia	Esfuerzo Tracción	% de Elongación	Descripción y Uso Final
	C	Mn	P	S	Al Mín.		MPa	MPa	Mín. 2"	
ASTM A-366	0.020 - 0.15	0.60	0.030	0.035	-	60	-	-	-	Comercial para piezas automotrices que no requieren alta troquelabilidad, mueblería varia.
ASTM A-619-97	0.10	0.50	0.020	0.030		55	172 - 275	-	32	
ASTM A-620	0.020 - 0.08	0.50	0.020	0.030	0.01	50	151 - 241	-	36	Troquelado extraprofundo para partes expuestas y no expuestas de carrocería.
EN 10130 DC01	0.12	0.60	0.045	0.045	-	-	140 - 280	270 - 410	28	Comercial para piezas automotrices que no requieren alta troquelabilidad.
EN 10130 DC03	0.10	0.45	0.035	0.035	-	-	140 - 240	270 - 370	34	Troquelado profundo para partes expuestas y no expuestas de carrocería.
EN 10130 DC04	0.08	0.40	0.030	0.030	-	-	140 - 210	270 - 350	38	Troquelado extraprofundo para partes expuestas y no expuestas de carrocería.
JIS G 3141 SPCC	0.12	0.50	0.040	0.045	-	60	-	270 mín	34	Comercial para piezas automotrices que no requieren alta troquelabilidad mueblería varia.
JIS G 3141 SPCD	0.10	0.45	0.035	0.035	-	55	-	270 mín	36	Troquelado profundo para partes expuestas y no expuestas de carrocería.
JIS G 3141 SPCE	0.08	0.40	0.030	0.030	-	50	-	270 mín	38	Troquelado extraprofundo para partes expuestas y no expuestas de carrocería

ANEXO A4. Dimensiones de perfiles estructurales.

Perfiles Estructurales					
Correas					
Largo Normal:	6 m				
Recubrimiento:	Negro o Galvanizado				
Norma de Fabricación:	NTE INEN 1623				
Calidad de Acero:	ASTM A 36 ASTM A 572 Gr. 50				
Observaciones:	Otras dimensiones y largos previa consulta				
Dimensiones			Espesor	Peso	Área
H	B	c	e	P	A
mm	mm	mm	mm	kg/6m	cm ²
60	30	10	1.50	9.04	2.01
			2.00	11.94	2.54
			3.00	16.98	3.61
80	40	15	1.50	12.58	2.70
			2.00	16.68	3.54
			3.00	24.06	5.11
100	50	15	2.00	20.40	4.27
			3.00	29.71	6.31
			4.00	38.40	8.15
125	50	15	2.00	22.80	4.84
			3.00	33.24	7.06
			4.00	45.78	9.15
150	50	15	2.00	25.14	5.34
			3.00	36.78	7.81
			4.00	47.82	10.10
200	50	15	2.00	29.82	6.34
			3.00	43.86	9.31
			4.00	59.91	13.36
300	100	30	4.00	100.80	21.30
			5.00	126.60	26.90
			6.00	154.74	31.80

ANEXO A5. Dimensiones de canales C.


Canales				
Largo Normal:	6 m			
Recubrimiento:	Negro o Galvanizado			
Norma de Fabricación:	NTE INEN 1623			
Calidad de Acero:	ASTM A 36, ASTM A 572 Gr. 50			
Observaciones:	Otras dimensiones y largos previa consulta			



Dimensiones		Espesor	Peso	Área		
H	B	e	P	A		
mm	mm	mm	kg/6m	cm ²		
50	25	2.00	8.82	1.87		
		3.00	12.72	2.70		
80	40	2.00	14.46	3.07		
		3.00	21.24	4.50		
		4.00	27.66	5.87		
		5.00	34.44	7.18		
100	50	6.00	40.44	8.42		
		2.00	18.24	3.87		
		3.00	26.88	5.70		
		4.00	35.22	7.47		
		5.00	43.20	9.18		
125	50	6.00	51.96	10.80		
		2.00	20.58	4.37		
		3.00	30.42	6.45		
		4.00	39.90	8.47		
		5.00	49.14	10.40		
150	50	6.00	59.16	12.30		
		2.00	22.92	4.87		
		3.00	33.96	7.20		
		4.00	44.64	9.47		
		5.00	55.02	11.70		
200	50	6.00	66.36	13.80		
		2.00	27.66	5.87		
		3.00	40.98	8.70		
		4.00	56.06	11.50		
		5.00	66.60	14.20		
		6.00	80.70	16.80		
		80	80	6.00	98.04	20.42
8.00	128.10			20.69		
10.00	156.96			32.71		
100	100			6.00	109.56	22.82
				8.00	143.46	29.89
		10.00	176.16	36.71		
300	80	4.00	84.12	14.20		
		5.00	104.46	16.80		
		6.00	126.84	20.42		
		8.00	166.50	20.69		
		10.00	205.02	32.71		
100	100	6.00	138.36	22.82		
		8.00	181.86	29.89		
		10.00	224.16	36.71		

ANEXO A6. Dimensiones de ángulos y planchas laminadas en caliente.

Ángulos			
Largo Normal:	6 m		
Recubrimiento:	Negro o Galvanizado		
Norma de Fabricación:	NTE INEN 1623		
Calidad de Acero:	ASTM A 36, ASTM A 572 Gr. 50		
Observaciones:	Otras dimensiones y largos previa consulta		



Dimensiones		Espesor	Peso
H	B	e	P
mm	mm	mm	kg/6m
20	20	2.00	3.46
		3.00	4.96
25	25	2.00	4.38
		3.00	6.36
30	30	2.00	5.34
		3.00	7.78
40	40	2.00	7.23
		3.00	10.61
		4.00	13.83
		5.00	16.90
50	50	2.00	9.11
		3.00	13.43
		4.00	17.60
		5.00	21.61
		6.00	25.50
75	75	2.00	14.13
		4.00	28.26
		6.00	42.39
		8.00	56.52
		10.00	70.65
100	100	2.00	18.84
		4.00	37.68
		6.00	56.52
		8.00	75.36
		10.00	94.20

Plancha Laminada en Caliente			
Recubrimiento:	Negro		
Norma de Fabricación:	NTE INEN 115, ASTM A 6		
Observaciones:	Otros largos y espesores previa consulta		

Dimensiones		Espesores	Calidad de Acero
mm	mm	mm	
1220 x	2440	1.50 - 12.00	ASTM A36
1220 x	6000	2.00 - 12.00	
1500 x	6000	4.00 - 12.00	
1800 x	6000	4.00 - 12.00	
2000 x	6000	6.00 - 100.00	ASTM A572 Gr. 50
1220 x	2440	3.00 - 12.00	
1220 x	6000	3.00 - 12.00	
1500 x	6000	3.00 - 12.00	
2500 x	6000	6.00 - 30.00	ASTM A 283/ A36
1500 x	6000	3.00 - 12.00	
2440 x	12000	6.00 - 30.00	
2500 x	6000	6.00 - 30.00	
2500 x	12000	6.00 - 30.00	

ANEXO A7. Propiedades del acero SAE 1018.

PROMETAL	1018
AISI, SAE, ASTM, NMX.	1018
UNS	G10180

Análisis químico según Norma Nacional NMX B-301 (% en peso):

C	Si	Mn	P máx..	S máx..
0.15-0.20	0.15-0.35	0.60-0.90	0.040	0.050

Tipo: Acero de bajo contenido de carbón

Formas y Acabados: Barra redonda, cuadrada, hexagonal y solera, laminadas o forjadas en caliente, estiradas en frío y peladas o maquinadas. Placa laminada caliente.

Aplicaciones: Se utiliza en la fabricación de partes para maquinaria; automotriz, línea blanca, equipo de proceso, etc.; que no estén sujetas a grandes esfuerzos. Por su ductilidad es ideal para procesos de transformación en frío como doblar, estampar, recalcar, etc.. Sus usos típicos son flechas, tornillos, pernos, sujetadores, etc., ya cementado en engranes, piñones, etc..

Tratamientos térmicos recomendados (valores en °C):

FORJADO	NORMALIZADO	RECOCIDO		TEMPLADO	REVENIDO	PUNTOS CRÍTICOS APROX.	
		ABLANDAMIENTO	REGENERACIÓN			Ac1	Ac3
1100-1250	870-900	650-700 enfriar al aire	850-890 enfriar en horno	Cementar 925	150-250	724	840

Propiedades mecánicas mínimas estimadas según SAE J1397:

TIPO DE PROCESO Y ACABADO	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN			LÍMITE DE FLUENCIA			ALARGAMIENTO EN 2" %	REDUCCIÓN DE ÁREA %	DUREZA BRINELL	DUREZA ROCKWELL
	MPa (kgf/mm ²)	Ksi	Ksi	MPa (kgf/mm ²)	Ksi	Ksi				
CALIENTE Y MAQUINADO	400	41	58	220	22	32	25	50	116	65
ESTIRADO EN FRÍO	440	45	64	370	38	54	15	40	126	70,2

ANEXO A8. Propiedades del acero ASTM A36.

ACERO ASTM A - 36 (NTC 1920)

Acero ASTM A - 36 (NTC 1920)

Es un acero estructural al carbono, utilizado en construcción de estructuras metálicas, puentes, torres de energía, torres para comunicación y edificaciones remachadas, atornilladas o soldadas, herrajes eléctricos y señalización.

Composición química de la colada

Carbono (C)	0,26% máx
Manganeso (Mn)	No hay requisito
Fósforo (P)	0,04% máx
Azufre (S)	0,05% máx
Silicio (Si)	0,40% máx
* Cobre (Cu)	0,20% mínimo

*Cuando se especifique

Propiedades Mecánicas

Límite de fluencia mínimo		Resistencia a la Tracción			
Mpa	Psi	psi		Mpa	
		Min	Máx	Min	Máx
250	36000	58000	80000	400	550

Nota: en la Norma Técnica Colombiana (NTC 1920) no se incluyen los requerimientos de propiedades mecánicas expresados en los psi. Los valores establecidos en cada sistema no son exactamente equivalentes, pero se pueden emplear indistintamente. Por ejemplo, cuando se calcule el punto de fluencia en psi se debe comparar contra el requerimiento de psi; si se determina en Mpa se compara contra Mpa.

En cuanto a términos de dureza, el valor estimado según la norma ASTM A36 es de 235 HB

Fuente. <http://www.spanish.phione.co.uk/products/general-structure-and-welding-steel/astm-structural-steel/astm-a36>



Standard Specification for Carbon Structural Steel¹

This standard is issued under the fixed designation A 36/A 36M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This specification² covers carbon steel shapes, plates, and bars of structural quality for use in riveted, bolted, or welded construction of bridges and buildings, and for general structural purposes.

1.2 Supplementary requirements are provided for use where additional testing or additional restrictions are required by the purchaser. Such requirements apply only when specified in the purchase order.

1.3 When the steel is to be welded, a welding procedure suitable for the grade of steel and intended use or service is to be utilized. See Appendix X3 of Specification A 6/A 6M for information on weldability.

1.4 For Group 4 and 5 wide flange shapes for use in tension, it is recommended that the purchaser consider specifying supplementary requirements, such as fine austenitic grain size and Charpy V-notch impact testing.

1.5 The values stated in either inch-pound units or SI units are to be regarded separately as standard. Within the text, the SI units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system is to be used independently of the other, without combining values in any way.

1.6 The text of this specification contains notes or footnotes, or both, that provide explanatory material. Such notes and footnotes, excluding those in tables and figures, do not contain any mandatory requirements.

1.7 For plates cut from coiled product, the additional requirements, including additional testing requirements and the reporting of additional test results, of A 6/A 6M apply.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

A 6/A 6M Specification for General Requirements for Rolled Structural Steel Bars, Plates, Shapes, and Sheet Piling³

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee A01 on Steel, Stainless Steel, and Related Alloys, and is the direct responsibility of Subcommittee A01.02 on Structural Steel for Bridges, Buildings, Rolling Stock, and Ships.

Current edition approved Sept 10, 2000. Published November 2000. Originally published as A 36 – 60 T. Last previous edition A 36/A 36M – 00.

² For ASME Boiler and Pressure Vessel Code Applications, see related Specifications SA-36 in Section II of that Code.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.04.

A 27/A 27M Specification for Steel Castings, Carbon, for General Application⁴

A 307 Specification for Carbon Steel Bolts and Studs, 60 000 psi Tensile Strength⁵

A 325 Specification for High-Strength Bolts for Structural Steel Joints⁵

A 325M Specification for High-Strength Bolts for Structural Steel Joints [Metric]⁵

A 500 Specification for Cold-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing in Rounds and Shapes⁶

A 501 Specification for Hot-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing⁶

A 502 Specification for Steel Structural Rivets⁵

A 563 Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts⁵

A 563M Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts [Metric]⁵

A 570/A 570M Specification for Steel, Sheet and Strip, Carbon, Hot-Rolled, Structural Quality⁷

A 668/A 668M Specification for Steel Forgings, Carbon and Alloy, for General Industrial Use⁸

F 568M Specification for Carbon and Alloy Steel Externally Threaded Metric Fasteners⁵

3. Appurtenant Materials

3.1 When components of a steel structure are identified with this ASTM designation but the product form is not listed in the scope of this specification, the material shall conform to one of the standards listed in Table 1 unless otherwise specified by the purchaser.

4. General Requirements for Delivery

4.1 Material furnished under this specification shall conform to the requirements of the current edition of Specification A 6/A 6M, for the ordered material, unless a conflict exists in which case this specification shall prevail.

4.1.1 Coiled product is excluded from qualification to this specification until decoiled, levelled, and cut to length. Plates produced from coil means plates that have been cut to individual lengths from a coiled product and are furnished

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.02.

⁵ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 15.08.

⁶ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.01.

⁷ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.03.

⁸ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.05.

TABLE 1 Appurtenant Material Specifications

NOTE 1—The specifier should be satisfied of the suitability of these materials for the intended application. Chemical composition and/or mechanical properties may be different than specified in A 36/A 36M.

Material	ASTM Designation
Steel rivets	A 502, Grade 1
Bolts	A 307, Grade A or F 568M, Class 4.6
High-strength bolts	A 325 or A 325M
Steel nuts	A 563 or A 563M
Cast steel	A 27/A 27M, Grade 65–35 [450–240]
Forgings (carbon steel)	A 668, Class D
Hot-rolled sheets and strip	A 570/A 570M, Grade 36
Cold-formed tubing	A 500, Grade B
Hot-formed tubing	A 501
Anchor bolts	F 1554

without heat treatment. The processor decoils, levels, cuts to length, and marks the product. The processor is responsible for performing and certifying all tests, examinations, repairs, inspections or operations not intended to affect the properties of the material. For plates produced from coils, two test results shall be reported for each qualifying coil. See Note 1.

NOTE 1—Additional requirements regarding plate from coil are described in Specification A 6/A 6M.

5. Bearing Plates

5.1 Unless otherwise specified, plates used as bearing plates for bridges shall be subjected to mechanical tests and shall conform to the tensile requirements of Section 8.

5.2 Unless otherwise specified, mechanical tests shall not be required for plates over 1½ in. [40 mm] in thickness used as bearing plates in structures other than bridges, subject to the requirement that they shall contain 0.20 to 0.33 % carbon by heat analysis, that the chemical composition shall conform to the requirements of Table 2 in phosphorus and sulfur content, and that a sufficient discard shall be made to secure sound plates.

6. Materials and Manufacture

6.1 The steel for plates and bars over ½ in. [12.5 mm] in thickness and shapes other than Group 1 shall be semi-killed or killed.

7. Chemical Composition

7.1 The heat analysis shall conform to the requirements prescribed in Table 2, except as specified in 5.2.

7.2 The steel shall conform on product analysis to the requirements prescribed in Table 2, subject to the product analysis tolerances in Specification A 6/A 6M.

8. Tension Test

8.1 The material as represented by the test specimen, except as specified in 5.2 and 8.2, shall conform to the requirements as to the tensile properties prescribed in Table 3.

8.2 Shapes less than 1 in.²[645 mm²] in cross section and bars, other than flats, less than ½ in. [12.5 mm] in thickness or diameter need not be subjected to tension tests by the manufacturer, provided that the chemical composition used is appropriate for obtaining the tensile properties in Table 3.

TABLE 2 Chemical Requirements

NOTE 1—Where “. . .” appears in this table, there is no requirement. The heat analysis for manganese shall be determined and reported as described in the heat analysis section of Specification A 6/A 6M.

Product	Shapes ^A	Plates ^B					Bars			
		To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 2½ [40 to 65], incl	Over 2½ to 4 [65 to 100], incl	Over 4 [100]	To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 4 [100], incl	Over 4 [100]
Thickness, in. [mm]	All									
Carbon, max, %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29	0.26	0.27	0.28	0.29
Manganese, %	0.80–1.20	0.80–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20	...	0.60–0.90	0.60–0.90	0.60–0.90
Phosphorus, max, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.40 max
Copper, min, % when copper steel is specified	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

^A Manganese content of 0.85–1.35 % and silicon content of 0.15–0.40 % is required for shapes over 426 lb/ft [634 kg/m].

^B For each reduction of 0.01 percentage point below the specified carbon maximum, an increase of 0.06 percentage point manganese above the specified maximum will be permitted, up to the maximum of 1.35 %.

TABLE 3 Tensile Requirements^A

Plates, Shapes, ^B and Bars:	
Tensile strength, ksi [MPa]	58–80 [400–550]
Yield point, min, ksi [MPa]	36 [250] ^C
Plates and Bars ^{D,E} :	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	23
Shapes:	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	21 ^B

^A See the Orientation subsection in the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

^B For wide flange shapes over 426 lb/ft [634 kg/m], the 80 ksi [550 MPa] maximum tensile strength does not apply and a minimum elongation in 2 in. [50 mm] of 19 % applies.

^C Yield point 32 ksi [220 MPa] for plates over 8 in. [200 mm] in thickness.

^D Elongation not required to be determined for floor plate.

^E For plates wider than 24 in. [600 mm], the elongation requirement is reduced two percentage points. See the Elongation Requirement Adjustments subsection under the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

9. Keywords

9.1 bars; bolted construction; bridges; buildings; carbon; plates; riveted construction; shapes; steel; structural steel; welded construction

SUPPLEMENTARY REQUIREMENTS

These requirements shall not apply unless specified in the order.

Standardized supplementary requirements for use at the option of the purchaser are listed in Specification A 6/A 6M. Those that are considered suitable for use with this specification are listed by title:

S5. Charpy V-Notch Impact Test.

In addition, the following optional supplementary requirement is also suitable for use with this specification:

S97. Limitation on Rimmed or Capped Steel

S97.1 The steel shall be other than rimmed or capped.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

ANEXO A9. Tabla comparativa de durezas.

Brinell	Vickers	Rockwell		Resistencia a la tracción X 1000 psi	Brinell	Vickers	Rockwell		Resistencia a la tracción x 1000 psi
		C	B				C	B	
898				440	223	223	20	97	110
857				420	217	217	18	96	107
817				401	212	212	17	96	104
780	1150	70		384	207	207	16	95	101
745	1050	68		368	202	202	15	94	99
712	960	66		352	197	197	13	93	97
682	885	64		337	192	192	12	92	95
653	820	62		324	187	187	10	91	93
627	765	60		311	183	183	9	90	91
601	717	58		298	179	179	8	89	89
578	675	57		287	174	174	7	88	87
555	633	55	120	276	170	170	6	87	85
534	598	53	119	266	166	166	4	86	83
514	567	52	119	256	163	163	3	85	82
495	540	50	117	247	159	159	2	84	80
477	515	49	117	238	156	156	1	83	78
461	494	47	116	229	153	153		82	76
444	472	46	115	220	149	149		81	75
429	454	45	115	212	146	146		80	74
415	437	44	114	204	143	143		79	72
401	420	42	113	196	140	140		78	71
388	404	41	112	189	137	137		77	70
375	389	40	112	182	134	134		76	68
363	375	38	110	176	131	131		74	66
352	363	37	110	170	128	128		73	65
341	350	36	109	165	126	126		72	64
331	339	35	109	160	124	124		71	63
321	327	34	108	155	121	121		70	62
311	316	33	108	150	118	118		69	61
302	305	32	107	146	116	116		68	60
293	296	31	106	142	114	114		67	59
285	287	30	105	138	112	112		66	58
277	279	29	104	134	109	109		65	56
269	270	28	104	131	107	107		64	56
262	263	26	103	128	105	105		62	54
255	256	25	102	125	103	103		61	53
248	248	24	1025	122	101	101		60	52
241	241	23	100	119	99	99		59	51
235	235	22	99	116	97	97		57	50
229	229	21	98	113	95	95		56	49

Fuente. <http://www.armasblancas.com.ar/foros/metalurgia/18317-tabla-comparativa-de-durezas-brinell-rockwell-vickers.html>

SECCIÓN B

Norma ISO 9001

Prólogo

ISO (la Organización Internacional de Normalización) es una federación mundial de organismos nacionales de normalización (organismos miembros de ISO). El trabajo de preparación de las normas internacionales normalmente se realiza a través de los comités técnicos de ISO. Cada organismo miembro interesado en una materia para la cual se haya establecido un comité técnico, tiene el derecho de estar representado en dicho comité. Las organizaciones internacionales, públicas y privadas, en coordinación con ISO, también participan en el trabajo. ISO colabora estrechamente con la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) en todas las materias de normalización electrotécnica.

Las Normas Internacionales se redactan de acuerdo con las reglas establecidas en la Parte 2 de las Directivas ISO/IEC.

La tarea principal de los comités técnicos es preparar normas internacionales. Los proyectos de normas internacionales adoptados por los comités técnicos se envían a los organismos miembros para su votación. La publicación como norma internacional requiere la aprobación por al menos el 75% de los organismos miembros con derecho a voto.

Se llama la atención sobre la posibilidad de que algunos de los elementos de este documento puedan estar sujetos a derechos de patente. ISO no asume la responsabilidad por la identificación de cualquiera o todos los derechos de patente.

La Norma ISO 9001 fue preparada por el Comité Técnico ISO/TC 176 Gestión y aseguramiento de la calidad, Subcomité 2, Sistemas de la calidad.

Esta cuarta edición anula y sustituye a la tercera edición (ISO 9001:2000), que ha sido modificada para clarificar puntos en el texto y aumentar la compatibilidad con la Norma ISO 14000:2004.

Los detalles de los cambios entre la tercera edición y esta cuarta edición se muestran en el Anexo B.

Prólogo de la versión en español

Esta Norma Internacional ha sido traducida por el Grupo de Trabajo Spanish Translation Task Group (STTG) del Comité Técnico ISO/TC 176, Gestión y aseguramiento de la calidad, en el que participan representantes de los organismos nacionales de normalización y representantes del sector empresarial de los siguiente países: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, España, Estados Unidos de América, México, Perú, República Dominicana, Uruguay y Venezuela.

Igualmente, en el citado Grupo de Trabajo participan representantes de COPANT Comisión Panamericana de Normas Técnicas y de INLAC Instituto Latinoamericano de Aseguramiento de la Calidad.

Esta traducción es parte del resultado del trabajo que el Grupo ISO/TC 176 STTG viene desarrollando desde su creación en el año 1999 para lograr la unificación de la terminología en lengua española en el ámbito de la gestión de la calidad.

Introducción

0.1 Generalidades

La adopción de un sistema de gestión de la calidad debería ser una decisión estratégica de la organización. El diseño y la implementación del sistema de gestión de la calidad de una organización están influenciados por:

- a) su entorno organizativo, cambios en ese entorno y los riesgos asociados con ese entorno,
- b) sus necesidades cambiantes,

- c) sus objetivos particulares,
- d) los productos que proporciona,
- e) los procesos que emplea,
- f) su tamaño y la estructura de la organización.

No es el propósito de esta Norma Internacional proporcionar uniformidad en la estructura de los sistemas de gestión de la calidad o en la documentación.

Los requisitos del sistema de gestión de la calidad especificados en esta Norma Internacional son complementarios a los requisitos para los productos. La información identificada como "NOTA" se presenta a modo de orientación para la comprensión o clarificación del requisito correspondiente.

Esta Norma Internacional pueden utilizarla partes internas y externas, incluyendo organismos de certificación, para evaluar la capacidad de la organización para cumplir los requisitos del cliente, los legales y los reglamentarios aplicables al producto y los propios de la organización.

En el desarrollo de esta Norma Internacional se han tenido en cuenta los principios de gestión de la calidad enunciados en las Normas ISO 9000 e ISO 9004.

0.2 Enfoque basado en procesos

Esta Norma Internacional promueve la adopción de un enfoque basado en procesos cuando se desarrolla, implementa y mejora la eficacia de un sistema de gestión de la calidad, para aumentar la satisfacción del cliente mediante el cumplimiento de sus requisitos.

Para que una organización funcione de manera eficaz, tiene que determinar y gestionar numerosas actividades relacionadas entre sí. Una actividad o un conjunto de actividades que utiliza recursos, y que se gestiona con el fin de permitir que los

elementos de entrada se transformen en resultados, se puede considerar como un proceso. Frecuentemente el resultado de un proceso constituye directamente el elemento de entrada del siguiente proceso.

La aplicación de un sistema de procesos dentro de la organización, junto con la identificación e interacciones de estos procesos, así como su gestión para producir el resultado deseado, puede denominarse como "enfoque basado en procesos".

Una ventaja del enfoque basado en procesos es el control continuo que proporciona sobre los vínculos entre los procesos individuales dentro del sistema de procesos, así como sobre su combinación e interacción.

Un enfoque de este tipo, cuando se utiliza dentro de un sistema de gestión de la calidad, enfatiza la importancia de:

- a) la comprensión y el cumplimiento de los requisitos,
- b) la necesidad de considerar los procesos en términos que aporten valor,
- c) la obtención de resultados del desempeño y eficacia del proceso, y
- d) la mejora continua de los procesos con base en mediciones objetivas.

El modelo de un sistema de gestión de la calidad basado en procesos que se muestra en la figura 1 ilustra los vínculos entre los procesos presentados en los Capítulos 4 a 8. Esta figura muestra que los clientes juegan un papel significativo para definir los requisitos como elementos de entrada. El seguimiento de la satisfacción del cliente requiere la evaluación de la información relativa a la percepción del cliente acerca de si la organización ha cumplido sus requisitos. El modelo mostrado en la figura 1 cubre todos los requisitos de esta Norma Internacional, pero no refleja los procesos de una forma detallada.

NOTA. De manera adicional, puede aplicarse a todos los procesos la metodología conocida como "Planificar-Hacer-

Verificar-Actuar" (PHVA). PHVA puede describirse brevemente como:

Planificar: establecer los objetivos y procesos necesarios para conseguir resultados de acuerdo con los requisitos del cliente y las políticas de la organización.

Hacer: implementar los procesos.

Verificar: realizar el seguimiento y la medición de los procesos y los productos respecto a las políticas, los objetivos y los requisitos para el producto, e informar sobre los resultados.

Actuar: tomar acciones para mejorar continuamente el desempeño de los procesos.

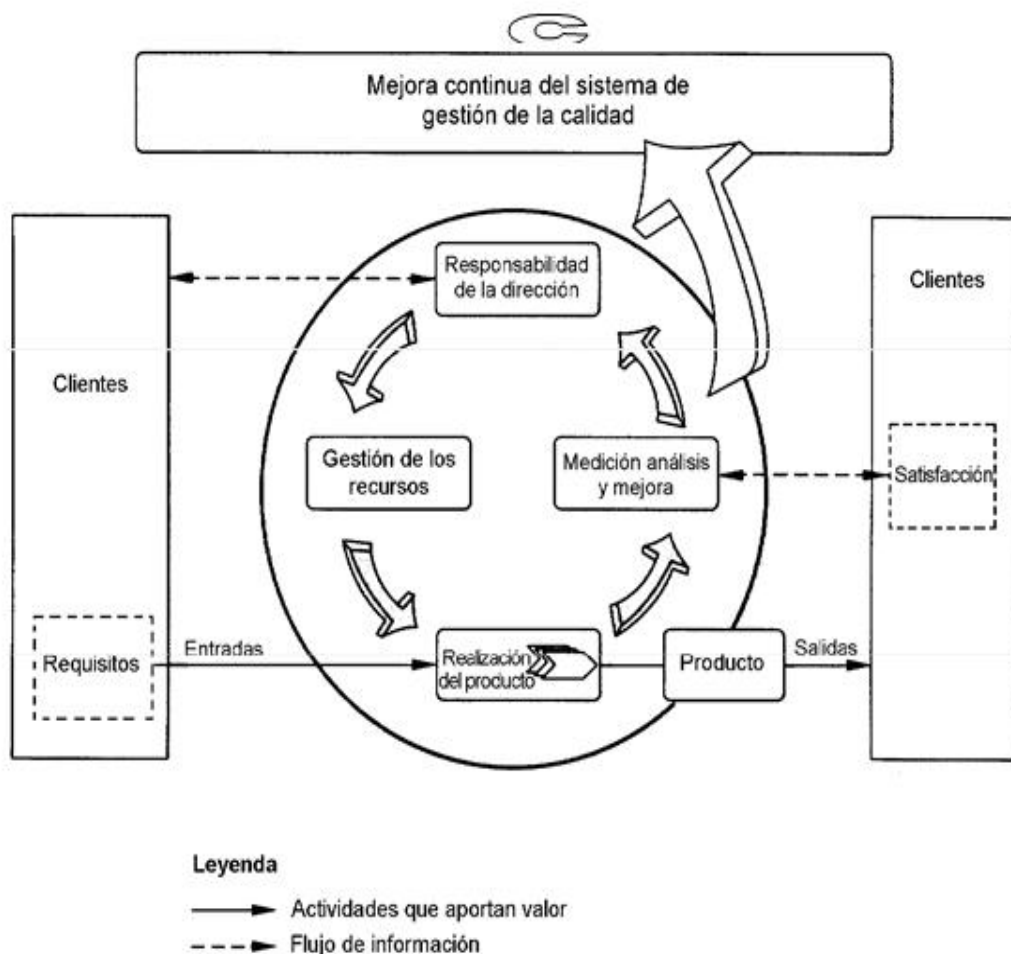


Figura 1 — Modelo de un sistema de gestión de la calidad basado en procesos

0.3 Relación con la Norma ISO 9004

Las Normas ISO 9001 e ISO 9004 son normas de sistema de gestión de la calidad que se han diseñado para complementarse entre sí, pero también pueden utilizarse de manera independiente.

La Norma ISO 9001 especifica los requisitos para un sistema de gestión de la calidad que pueden utilizarse para su aplicación interna por las organizaciones, para certificación o con fines contractuales. Se centra en la eficacia del sistema de gestión de la calidad para satisfacer los requisitos del cliente.

La Norma ISO 9004 proporciona orientación a la dirección, para que cualquier organización logre el éxito sostenido en un entorno complejo, exigente y en constante cambio. La Norma ISO 9004 proporciona un enfoque más amplio sobre la gestión de la calidad que la Norma ISO 9001; trata las necesidades y las expectativas de todas las partes interesadas y su satisfacción, mediante la mejora sistemática y continua del desempeño de la organización.

NOTA. En el momento de la publicación de esta Norma Internacional, la Norma Internacional ISO 9004 se encuentra en revisión.

0.4 Compatibilidad con otros sistemas de gestión

Durante el desarrollo de esta Norma Internacional, se han considerado las disposiciones de la Norma ISO 14001:2004 para aumentar la compatibilidad de las dos normas en beneficio de la comunidad de usuarios. El Anexo A muestra la correspondencia entre las Normas Internacionales ISO 9001:2008 e ISO 14001:2004.

Esta Norma Internacional no incluye requisitos específicos de otros sistemas de gestión, tales como aquellos particulares para la gestión ambiental, gestión de la

seguridad y salud ocupacional, gestión financiera o gestión de riesgos. Sin embargo, esta Norma Internacional permite a una organización alinear o integrar su propio sistema de gestión de la calidad con requisitos de sistemas de gestión relacionados. Es posible para una organización adaptar su(s) sistema(s) de gestión existente(s) con la finalidad de establecer un sistema de gestión de la calidad que cumpla con los requisitos de esta Norma Internacional.

Sistemas de gestión de la calidad — Requisitos

1 Objeto y campo de aplicación

1.1 Generalidades

Esta Norma Internacional especifica los requisitos para un sistema de gestión de la calidad, cuando una organización:

- a) necesita demostrar su capacidad para proporcionar regularmente productos que satisfagan los requisitos del cliente y los legales y reglamentarios aplicables,
- b) aspira a aumentar la satisfacción del cliente a través de la aplicación eficaz del sistema, incluidos los procesos para la mejora continua del sistema y el aseguramiento de la conformidad con los requisitos del cliente y los legales y reglamentarios aplicables.

NOTA. En esta Norma Internacional, el término "producto" se aplica únicamente a:

- a) el producto destinado a un cliente o solicitado por él,
- b) cualquier resultado previsto de los procesos de realización del producto.

1.2 Aplicación

Todos los requisitos de esta Norma Internacional son genéricos y se pretende que sean aplicables a todas las organizaciones sin importar su tipo, tamaño y producto suministrado.

Cuando uno o varios requisitos de esta Norma Internacional no se puedan aplicar debido a la naturaleza de la organización y de su producto, pueden considerarse para su exclusión.

Cuando se realicen exclusiones, no se podrá alegar conformidad con esta Norma Internacional a menos que dichas exclusiones queden restringidas a los requisitos expresados en el Capítulo 7 y que tales exclusiones no afecten a la capacidad o responsabilidad de la organización para proporcionar productos que cumplan con los requisitos del cliente y los legales y reglamentarios aplicables.

2. Referencias normativas

Los documentos de referencia siguientes son indispensables para la aplicación de este documento. Para las referencias con fecha sólo se aplica la edición citada. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición del documento de referencia (incluyendo cualquier modificación).

ISO 9000:2005, Sistemas de gestión de la calidad — Fundamentos y vocabulario.

3. Términos y definiciones

Para el propósito de este documento, son aplicables los términos y definiciones dados en la Norma ISO 9000.

A lo largo del texto de esta Norma Internacional, cuando se utilice el término "producto", éste puede significar también "servicio".

4 Sistema de gestión de la calidad

4.1 Requisitos generales

La organización debe establecer, documentar, implementar y mantener un sistema de gestión de la calidad y mejorar continuamente su eficacia de acuerdo con los requisitos de esta Norma Internacional.

La organización debe:

- a) determinar los procesos necesarios para el sistema de gestión de la calidad y su aplicación a través de la organización (véase 1.2),
- b) determinar la secuencia e interacción de estos procesos,
- c) determinar los criterios y los métodos necesarios para asegurarse de que tanto la operación como el control de estos procesos sean eficaces,
- d) asegurarse de la disponibilidad de recursos e información necesarios para apoyar la operación y el seguimiento de estos procesos,
- e) realizar el seguimiento, la medición cuando sea aplicable y el análisis de estos procesos,
- f) implementar las acciones necesarias para alcanzar los resultados planificados y la mejora continua de estos procesos.

La organización debe gestionar estos procesos de acuerdo con los requisitos de esta Norma Internacional.

En los casos en que la organización opte por contratar externamente cualquier proceso que afecte a la conformidad del producto con los requisitos, la organización debe asegurarse de controlar tales procesos. El tipo y grado de control a aplicar sobre dichos procesos contratados externamente debe estar definido dentro del sistema de gestión de la calidad.

NOTA 1 Los procesos necesarios para el sistema de gestión de la calidad a los que se ha hecho referencia anteriormente incluyen los procesos para las actividades de la dirección, la provisión de recursos, la realización del producto, la medición, el análisis y la mejora.

NOTA 2 Un “proceso contratado externamente” es un proceso que la organización

necesita para su sistema de gestión de la calidad y que la organización decide que sea desempeñado por una parte externa.

NOTA 3 Asegurar el control sobre los procesos contratados externamente no exime a la organización de la responsabilidad de cumplir con todos los requisitos del cliente, legales y reglamentarios. El tipo y el grado de control a aplicar al proceso contratado externamente puede estar influenciado por factores tales como:

- a) el impacto potencial del proceso contratado externamente sobre la capacidad de la organización para proporcionar productos conformes con los requisitos,
- b) el grado en el que se comparte el control sobre el proceso,
- c) la capacidad para conseguir el control necesario a través de la aplicación del apartado 7.4.

4.2 Requisitos de la documentación

4.2.1 Generalidades

La documentación del sistema de gestión de la calidad debe incluir:

- a) declaraciones documentadas de una política de la calidad y de objetivos de la calidad,
- b) un manual de la calidad,
- c) los procedimientos documentados y los registros requeridos por esta Norma Internacional, y
- d) los documentos, incluidos los registros que la organización determina que son necesarios para asegurarse de la eficaz planificación, operación y control de sus procesos.

NOTA 1 Cuando aparece el término “procedimiento documentado” dentro de

esta Norma Internacional, significa que el procedimiento sea establecido, documentado, implementado y mantenido. Un solo documento puede incluir los requisitos para uno o más procedimientos. Un requisito relativo a un procedimiento documentado puede cubrirse con más de un documento.

NOTA 2 La extensión de la documentación del sistema de gestión de la calidad puede diferir de una organización a otra debido a:

- a) el tamaño de la organización y el tipo de actividades,
- b) la complejidad de los procesos y sus interacciones, y
- c) la competencia del personal.

NOTA 3 La documentación puede estar en cualquier formato o tipo de medio.

4.2.2 Manual de la calidad

La organización debe establecer y mantener un manual de la calidad que incluya:

- a) el alcance del sistema de gestión de la calidad, incluyendo los detalles y la justificación de cualquier exclusión (véase 1.2),
- b) los procedimientos documentados establecidos para el sistema de gestión de la calidad, o referencia a los mismos, y
- c) una descripción de la interacción entre los procesos del sistema de gestión de la calidad.

4.2.3 Control de los documentos

Los documentos requeridos por el sistema de gestión de la calidad deben controlarse. Los registros son un tipo especial de documento y deben controlarse de acuerdo con los requisitos citados en el apartado 4.2.4.

Debe establecerse un procedimiento documentado que defina los controles necesarios para:

- a) aprobar los documentos en cuanto a su adecuación antes de su emisión,
- b) revisar y actualizar los documentos cuando sea necesario y aprobarlos nuevamente,
- c) asegurarse de que se identifican los cambios y el estado de la versión vigente de los documentos,
- d) asegurarse de que las versiones pertinentes de los documentos aplicables se encuentran disponibles en los puntos de uso,
- e) asegurarse de que los documentos permanecen legibles y fácilmente identificables,
- f) asegurarse de que los documentos de origen externo, que la organización determina que son necesarios para la planificación y la operación del sistema de gestión de la calidad, se identifican y que se controla su distribución, y
- g) prevenir el uso no intencionado de documentos obsoletos, y aplicarles una identificación adecuada en el caso de que se mantengan por cualquier razón.

4.2.4 Control de los registros

Los registros establecidos para proporcionar evidencia de la conformidad con los requisitos así como de la operación eficaz del sistema de gestión de la calidad deben controlarse.

La organización debe establecer un procedimiento documentado para definir los controles necesarios para la identificación, el almacenamiento, la protección, la recuperación, la retención y la disposición de los registros.

Los registros deben permanecer legibles, fácilmente identificables y recuperables.

NOTA En este contexto recuperación se entiende como localización y acceso.

5 Responsabilidad de la dirección

5.1 Compromiso de la dirección

La alta dirección debe proporcionar evidencia de su compromiso con el desarrollo e implementación del sistema de gestión de la calidad, así como con la mejora continua de su eficacia:

- a) comunicando a la organización la importancia de satisfacer tanto los requisitos del cliente como los legales y reglamentarios,
- b) estableciendo la política de la calidad,
- c) asegurando que se establecen los objetivos de la calidad,
- d) llevando a cabo las revisiones por la dirección, y
- e) asegurando la disponibilidad de recursos.

5.2 Enfoque al cliente

La alta dirección debe asegurarse de que los requisitos del cliente se determinan y se cumplen con el propósito de aumentar la satisfacción del cliente (véanse 7.2.1 y 8.2.1).

5.3 Política de la calidad

La alta dirección debe asegurarse de que la política de la calidad:

- a) es adecuada al propósito de la organización,
- b) incluye un compromiso de cumplir con los requisitos y de mejorar continuamente la eficacia del sistema de gestión de la calidad,
- c) proporciona un marco de referencia para establecer y revisar los objetivos de la calidad,

- d) es comunicada y entendida dentro de la organización, y
- e) es revisada para su continua adecuación.

5.4 Planificación

5.4.1 Objetivos de la calidad

La alta dirección debe asegurarse de que los objetivos de la calidad, incluyendo aquellos necesarios para cumplir los requisitos para el producto [véase 7.1 a)], se establecen en las funciones y los niveles pertinentes dentro de la organización. Los objetivos de la calidad deben ser medibles y coherentes con la política de la calidad.

5.4.2 Planificación del sistema de gestión de la calidad

La alta dirección debe asegurarse de que:

- a) la planificación del sistema de gestión de la calidad se realiza con el fin de cumplir los requisitos citados en el apartado 4.1, así como los objetivos de la calidad, y
- b) se mantiene la integridad del sistema de gestión de la calidad cuando se planifican e implementan cambios en éste.

5.5 Responsabilidad, autoridad y comunicación

5.5.1 Responsabilidad y autoridad

La alta dirección debe asegurarse de que las responsabilidades y autoridades están definidas y son comunicadas dentro de la organización.

5.5.2 Representante de la dirección

La alta dirección debe designar un miembro de la dirección de la organización quien, independientemente de otras responsabilidades, debe tener la responsabilidad y autoridad que incluya:

- a) asegurarse de que se establecen, implementan y mantienen los procesos necesarios para el sistema de gestión de la calidad,
- b) informar a la alta dirección sobre el desempeño del sistema de gestión de la calidad y de cualquier necesidad de mejora, y
- c) asegurarse de que se promueva la toma de conciencia de los requisitos del cliente en todos los niveles de la organización.

NOTA. La responsabilidad del representante de la dirección puede incluir relaciones con partes externas sobre asuntos relacionados con el sistema de gestión de la calidad.

5.5.3 Comunicación interna

La alta dirección debe asegurarse de que se establecen los procesos de comunicación apropiados dentro de la organización y de que la comunicación se efectúa considerando la eficacia del sistema de gestión de la calidad.

5.6 Revisión por la dirección

5.6.1 Generalidades

La alta dirección debe revisar el sistema de gestión de la calidad de la organización, a intervalos planificados, para asegurarse de su conveniencia, adecuación y eficacia continuas. La revisión debe incluir la evaluación de las oportunidades de mejora y la necesidad de efectuar cambios en el sistema de gestión de la calidad, incluyendo la política de la calidad y los objetivos de la calidad.

Deben mantenerse registros de las revisiones por la dirección (véase 4.2.4).

5.6.2 Información de entrada para la revisión

La información de entrada para la revisión por la dirección debe incluir:

- a) los resultados de auditorías,

- b) la retroalimentación del cliente,
- c) el desempeño de los procesos y la conformidad del producto,
- d) el estado de las acciones correctivas y preventivas,
- e) las acciones de seguimiento de revisiones por la dirección previas,
- f) los cambios que podrían afectar al sistema de gestión de la calidad, y
- g) las recomendaciones para la mejora.

5.6.3 Resultados de la revisión

Los resultados de la revisión por la dirección deben incluir todas las decisiones y acciones relacionadas con:

- a) la mejora de la eficacia del sistema de gestión de la calidad y sus procesos,
- b) la mejora del producto en relación con los requisitos del cliente, y
- c) las necesidades de recursos.

6 Gestión de los recursos

6.1 Provisión de recursos

La organización debe determinar y proporcionar los recursos necesarios para:

- a) implementar y mantener el sistema de gestión de la calidad y mejorar continuamente su eficacia, y
- b) aumentar la satisfacción del cliente mediante el cumplimiento de sus requisitos.

6.2 Recursos humanos

6.2.1 Generalidades

El personal que realice trabajos que afecten a la conformidad con los requisitos del producto debe ser competente con base en la educación, formación, habilidades y experiencia apropiadas.

NOTA. La conformidad con los requisitos del producto puede verse afectada directa o indirectamente por el personal que desempeña cualquier tarea dentro del sistema de gestión de la calidad.

6.2.2 Competencia, formación y toma de conciencia

La organización debe:

- a) determinar la competencia necesaria para el personal que realiza trabajos que afectan a la conformidad con los requisitos del producto,
- b) cuando sea aplicable, proporcionar formación o tomar otras acciones para lograr la competencia necesaria,
- c) evaluar la eficacia de las acciones tomadas,
- d) asegurarse de que su personal es consciente de la pertinencia e importancia de sus actividades y de cómo contribuyen al logro de los objetivos de la calidad, y
- e) mantener los registros apropiados de la educación, formación, habilidades y experiencia (véase 4.2.4).

6.3 Infraestructura

La organización debe determinar, proporcionar y mantener la infraestructura necesaria para lograr la conformidad con los requisitos del producto. La infraestructura incluye, cuando sea aplicable:

- a) edificios, espacio de trabajo y servicios asociados,
- b) equipo para los procesos (tanto hardware como software), y

c) servicios de apoyo (tales como transporte, comunicación o sistemas de información).

6.4 Ambiente de trabajo

La organización debe determinar y gestionar el ambiente de trabajo necesario para lograr la conformidad con los requisitos del producto.

NOTA. El término "ambiente de trabajo" está relacionado con aquellas condiciones bajo las cuales se realiza el trabajo, incluyendo factores físicos, ambientales y de otro tipo (tales como el ruido, la temperatura, la humedad, la iluminación o las condiciones climáticas).

7 Realización del producto

7.1 Planificación de la realización del producto

La organización debe planificar y desarrollar los procesos necesarios para la realización del producto. La planificación de la realización del producto debe ser coherente con los requisitos de los otros procesos del sistema de gestión de la calidad (véase 4.1).

Durante la planificación de la realización del producto, la organización debe determinar, cuando sea apropiado, lo siguiente:

- a) los objetivos de la calidad y los requisitos para el producto,
- b) la necesidad de establecer procesos y documentos, y de proporcionar recursos específicos para el producto,
- c) las actividades requeridas de verificación, validación, seguimiento, medición, inspección y ensayo/prueba específicas para el producto así como los criterios para la aceptación del mismo,
- d) los registros que sean necesarios para proporcionar evidencia de que los

procesos de realización y el producto resultante cumplen los requisitos (véase 4.2.4).

El resultado de esta planificación debe presentarse de forma adecuada para la metodología de operación de la organización.

NOTA 1 Un documento que especifica los procesos del sistema de gestión de la calidad (incluyendo los procesos de realización del producto) y los recursos a aplicar a un producto, proyecto o contrato específico, puede denominarse plan de la calidad.

NOTA 2 La organización también podría aplicar los requisitos citados en el apartado 7.3 para el desarrollo de los procesos de realización del producto.

7.2 Procesos relacionados con el cliente

7.2.1 Determinación de los requisitos relacionados con el producto

La organización debe determinar:

- a) los requisitos especificados por el cliente, incluyendo los requisitos para las actividades de entrega y las posteriores a la misma,
- b) los requisitos no establecidos por el cliente pero necesarios para el uso especificado o para el uso previsto, cuando sea conocido,
- c) los requisitos legales y reglamentarios aplicables al producto, y
- d) cualquier requisito adicional que la organización considere necesario.

NOTA. Las actividades posteriores a la entrega incluyen, por ejemplo, acciones cubiertas por la garantía, obligaciones contractuales como servicios de mantenimiento, y servicios suplementarios como el reciclaje o la disposición final.

7.2.2 Revisión de los requisitos relacionados con el producto

La organización debe revisar los requisitos relacionados con el producto. Esta revisión debe efectuarse antes de que la organización se comprometa a proporcionar un producto al cliente (por ejemplo, envío de ofertas, aceptación de contratos o pedidos, aceptación de cambios en los contratos o pedidos) y debe asegurarse de que:

- a) están definidos los requisitos del producto,
- b) están resueltas las diferencias existentes entre los requisitos del contrato o pedido y los expresados previamente, y
- c) la organización tiene la capacidad para cumplir con los requisitos definidos.

Deben mantenerse registros de los resultados de la revisión y de las acciones originadas por la misma (véase 4.2.4).

Cuando el cliente no proporcione una declaración documentada de los requisitos, la organización debe confirmar los requisitos del cliente antes de la aceptación.

Cuando se cambien los requisitos del producto, la organización debe asegurarse de que la documentación pertinente sea modificada y de que el personal correspondiente sea consciente de los requisitos modificados.

NOTA. En alguna situación es, tales como las ventas por internet, no resulta práctico efectuar una revisión formal de cada pedido. En su lugar, la revisión puede cubrir la información pertinente del producto, como son los catálogos o el material publicitario.

7.2.3 Comunicación con el cliente

La organización debe determinar e implementar disposiciones eficaces para la comunicación con los clientes, relativas a:

- a) la información sobre el producto,

- b) las consultas, contratos o atención de pedidos, incluyendo las modificaciones, y
- c) la retroalimentación del cliente, incluyendo sus quejas.

7.3 Diseño y desarrollo

7.3.1 Planificación del diseño y desarrollo

La organización debe planificar y controlar el diseño y desarrollo del producto. Durante la planificación del diseño y desarrollo la organización debe determinar:

- a) las etapas del diseño y desarrollo,
- b) la revisión, verificación y validación, apropiadas para cada etapa del diseño y desarrollo, y
- c) las responsabilidades y autoridades para el diseño y desarrollo.

La organización debe gestionar las interfaces entre los diferentes grupos involucrados en el diseño y desarrollo para asegurarse de una comunicación eficaz y una clara asignación de responsabilidades.

Los resultados de la planificación deben actualizarse, según sea apropiado, a medida que progresa el diseño y desarrollo.

NOTA. La revisión, la verificación y la validación del diseño y desarrollo tienen propósitos diferentes. Pueden llevarse a cabo y registrarse de forma separada o en cualquier combinación que sea adecuada para el producto y para la organización.

7.3.2 Elementos de entrada para el diseño y desarrollo

Deben determinarse los elementos de entrada relacionados con los requisitos del producto y mantenerse registros (véase 4.2.4). Estos elementos de entrada deben incluir:

- a) los requisitos funcionales y de desempeño,
- b) los requisitos legales y reglamentarios aplicables,
- c) la información proveniente de diseños previos similares, cuando sea aplicable, y
- d) cualquier otro requisito esencial para el diseño y desarrollo.

Los elementos de entrada deben revisarse para comprobar que sean adecuados. Los requisitos deben estar completos, sin ambigüedades y no deben ser contradictorios.

7.3.3 Resultados del diseño y desarrollo

Los resultados del diseño y desarrollo deben proporcionarse de manera adecuada para la verificación respecto a los elementos de entrada para el diseño y desarrollo, y deben aprobarse antes de su liberación.

Los resultados del diseño y desarrollo deben:

- a) cumplir los requisitos de los elementos de entrada para el diseño y desarrollo,
- b) proporcionar información apropiada para la compra, la producción y la prestación del servicio,
- c) contener o hacer referencia a los criterios de aceptación del producto, y
- d) especificar las características del producto que son esenciales para el uso seguro y correcto.

NOTA. La información para la producción y la prestación del servicio puede incluir detalles para la preservación del producto.

7.3.4 Revisión del diseño y desarrollo

En las etapas adecuadas, deben realizarse revisiones sistemáticas del diseño y

desarrollo de acuerdo con lo planificado (véase 7.3.1) para:

- a) evaluar la capacidad de los resultados de diseño y desarrollo para cumplir los requisitos, e
- b) identificar cualquier problema y proponer las acciones necesarias.

Los participantes en dichas revisiones deben incluir representantes de las funciones relacionadas con la(s) etapa(s) de diseño y desarrollo que se está(n) revisando. Deben mantenerse registros de los resultados de las revisiones y de cualquier acción necesaria (véase 4.2.4).

7.3.5 Verificación del diseño y desarrollo

Se debe realizar la verificación, de acuerdo con lo planificado (véase 7.3.1), para asegurarse de que los resultados del diseño y desarrollo cumplen los requisitos de los elementos de entrada del diseño y desarrollo. Deben mantenerse registros de los resultados de la verificación y de cualquier acción que sea necesaria (véase 4.2.4).

7.3.6 Validación del diseño y desarrollo

Se debe realizar la validación del diseño y desarrollo de acuerdo con lo planificado (véase 7.3.1) para asegurarse de que el producto resultante es capaz de satisfacer los requisitos para su aplicación especificada o uso previsto, cuando sea conocido. Siempre que sea factible, la validación debe completarse antes de la entrega o implementación del producto. Deben mantenerse registros de los resultados de la validación y de cualquier acción que sea necesaria (véase 4.2.4).

7.3.7 Control de los cambios del diseño y desarrollo

Los cambios del diseño y desarrollo deben identificarse y deben mantenerse registros. Los cambios deben revisarse, verificarse y validarse, según sea apropiado, y aprobarse antes de su implementación. La revisión de los cambios del diseño y desarrollo debe incluir la evaluación del efecto de los cambios en las partes

constitutivas y en el producto ya entregado. Deben mantenerse registros de los resultados de la revisión de los cambios y de cualquier acción que sea necesaria (véase 4.2.4).

7.4 Compras

7.4.1 Proceso de compras

La organización debe asegurarse de que el producto adquirido cumple los requisitos de compra especificados. El tipo y el grado del control aplicado al proveedor y al producto adquirido debe depender del impacto del producto adquirido en la posterior realización del producto o sobre el producto final.

La organización debe evaluar y seleccionar los proveedores en función de su capacidad para suministrar productos de acuerdo con los requisitos de la organización. Deben establecerse los criterios para la selección, la evaluación y la re-evaluación. Deben mantenerse los registros de los resultados de las evaluaciones y de cualquier acción necesaria que se derive de las mismas (véase 4.2.4).

7.4.2 Información de las compras

La información de las compras debe describir el producto a comprar, incluyendo, cuando sea apropiado:

- a) los requisitos para la aprobación del producto, procedimientos, procesos y equipos,
- b) los requisitos para la calificación del personal, y
- c) los requisitos del sistema de gestión de la calidad.

La organización debe asegurarse de la adecuación de los requisitos de compra especificados antes de comunicárselos al proveedor.

7.4.3 Verificación de los productos comprados

La organización debe establecer e implementar la inspección u otras actividades necesarias para asegurarse de que el producto comprado cumple los requisitos de compra especificados.

Cuando la organización o su cliente quieran llevar a cabo la verificación en las instalaciones del proveedor, la organización debe establecer en la información de compra las disposiciones para la verificación pretendida y el método para la liberación del producto.

7.5 Producción y prestación del servicio

7.5.1 Control de la producción y de la prestación del servicio

La organización debe planificar y llevar a cabo la producción y la prestación del servicio bajo condiciones controladas. Las condiciones controladas deben incluir, cuando sea aplicable:

- a) la disponibilidad de información que describa las características del producto,
- b) la disponibilidad de instrucciones de trabajo, cuando sea necesario,
- c) el uso del equipo apropiado,
- d) la disponibilidad y uso de equipos de seguimiento y medición,
- e) la implementación del seguimiento y de la medición, y
- f) la implementación de actividades de liberación, entrega y posteriores a la entrega del producto.

7.5.2 Validación de los procesos de la producción y de la prestación del servicio

La organización debe validar todo proceso de producción y de prestación del servicio cuando los productos resultantes no pueden verificarse mediante

seguimiento o medición posteriores y, como consecuencia, las deficiencias aparecen únicamente después de que el producto esté siendo utilizado o se haya prestado el servicio.

La validación debe demostrar la capacidad de estos procesos para alcanzar los resultados planificados.

La organización debe establecer las disposiciones para estos procesos, incluyendo, cuando sea aplicable:

- a) los criterios definidos para la revisión y aprobación de los procesos,
- b) la aprobación de los equipos y la calificación del personal,
- c) el uso de métodos y procedimientos específicos,
- d) los requisitos de los registros (véase 4.2.4), y
- e) la revalidación.

7.5.3 Identificación y trazabilidad

Cuando sea apropiado, la organización debe identificar el producto por medios adecuados, a través de toda la realización del producto.

La organización debe identificar el estado del producto con respecto a los requisitos de seguimiento y medición a través de toda la realización del producto.

Cuando la trazabilidad sea un requisito, la organización debe controlar la identificación única del producto y mantener registros (véase 4.2.4).

NOTA. En algunos sectores industriales, la gestión de la configuración es un medio para mantener la identificación y la trazabilidad.

7.5.4 Propiedad del cliente

La organización debe cuidar los bienes que son propiedad del cliente mientras estén bajo el control de la organización o estén siendo utilizados por la misma. La organización debe identificar, verificar, proteger y salvaguardar los bienes que son propiedad del cliente suministrados para su utilización o incorporación dentro del producto. Si cualquier bien que sea propiedad del cliente se pierde, deteriora o de algún otro modo se considera inadecuado para su uso, la organización debe informar de ello al cliente y mantener registros (véase 4.2.4).

NOTA. La propiedad del cliente puede incluir la propiedad intelectual y los datos personales.

7.5.5 Preservación del producto

La organización debe preservar el producto durante el proceso interno y la entrega al destino previsto para mantener la conformidad con los requisitos. Según sea aplicable, la preservación debe incluir la identificación, manipulación, embalaje, almacenamiento y protección. La preservación debe aplicarse también a las partes constitutivas de un producto.

7.6 Control de los equipos de seguimiento y de medición

La organización debe determinar el seguimiento y la medición a realizar y los equipos de seguimiento y medición necesarios para proporcionar la evidencia de la conformidad del producto con los requisitos determinados.

La organización debe establecer procesos para asegurarse de que el seguimiento y medición pueden realizarse y se realizan de una manera coherente con los requisitos de seguimiento y medición.

Cuando sea necesario asegurarse de la validez de los resultados, el equipo de medición debe:

a) calibrarse o verificarse, o ambos, a intervalos especificados o antes de su

utilización, comparado con patrones de medición trazables a patrones de medición internacionales o nacionales; cuando no existan tales patrones debe registrarse la base utilizada para la calibración o la verificación (véase 4.2.4);

- b) ajustarse o reajustarse según sea necesario;
- c) estar identificado para poder determinar su estado de calibración;
- d) protegerse contra ajustes que pudieran invalidar el resultado de la medición;
- e) protegerse contra los daños y el deterioro durante la manipulación, el mantenimiento y el almacenamiento.

Además, la organización debe evaluar y registrar la validez de los resultados de las mediciones anteriores cuando se detecte que el equipo no está conforme con los requisitos. La organización debe tomar las acciones apropiadas sobre el equipo y sobre cualquier producto afectado.

Deben mantenerse registros de los resultados de la calibración y la verificación (véase 4.2.4).

Debe confirmarse la capacidad de los programas informáticos para satisfacer su aplicación prevista cuando estos se utilicen en las actividades de seguimiento y medición de los requisitos especificados. Esto debe llevarse a cabo antes de iniciar su utilización y confirmarse de nuevo cuando sea necesario.

NOTA. La confirmación de la capacidad del software para satisfacer la aplicación prevista incluiría habitualmente su verificación y gestión de la configuración para mantener la idoneidad para su uso.

8 Medición, análisis y mejora

8.1 Generalidades

La organización debe planificar e implementar los procesos de seguimiento,

medición, análisis y mejora necesarios para:

- a) demostrar la conformidad con los requisitos del producto,
- b) asegurarse de la conformidad del sistema de gestión de la calidad, y
- c) mejorar continuamente la eficacia del sistema de gestión de la calidad.

Esto debe comprender la determinación de los métodos aplicables, incluyendo las técnicas estadísticas, y el alcance de su utilización.

8.2 Seguimiento y medición

8.2.1 Satisfacción del cliente

Como una de las medidas del desempeño del sistema de gestión de la calidad, la organización debe realizar el seguimiento de la información relativa a la percepción del cliente con respecto al cumplimiento de sus requisitos por parte de la organización. Deben determinarse los métodos para obtener y utilizar dicha información.

NOTA El seguimiento de la percepción del cliente puede incluir la obtención de elementos de entrada de fuentes como las encuestas de satisfacción del cliente, los datos del cliente sobre la calidad del producto entregado, las encuestas de opinión del usuario, el análisis de la pérdida de negocios, las felicitaciones, las garantías utilizadas y los informes de los agentes comerciales.

8.2.2 Auditoría interna

La organización debe llevar a cabo auditorías internas a intervalos planificados para determinar si el sistema de gestión de la calidad:

- a) es conforme con las disposiciones planificadas (véase 7.1), con los requisitos de esta Norma Internacional y con los requisitos del sistema de gestión de la calidad establecidos por la organización, y

b) se ha implementado y se mantiene de manera eficaz.

Se debe planificar un programa de auditorías tomando en consideración el estado y la importancia de los procesos y las áreas a auditar, así como los resultados de auditorías previas. Se deben definir los criterios de auditoría, el alcance de la misma, su frecuencia y la metodología. La selección de los auditores y la realización de las auditorías deben asegurar la objetividad e imparcialidad del proceso de auditoría. Los auditores no deben auditar su propio trabajo.

Se debe establecer un procedimiento documentado para definir las responsabilidades y los requisitos para planificar y realizar las auditorías, establecer los registros e informar de los resultados.

Deben mantenerse registros de las auditorías y de sus resultados (véase 4.2.4).

La dirección responsable del área que esté siendo auditada debe asegurarse de que se realizan las correcciones y se toman las acciones correctivas necesarias sin demora injustificada para eliminar las no conformidades detectadas y sus causas. Las actividades de seguimiento deben incluir la verificación de las acciones tomadas y el informe de los resultados de la verificación (véase 8.5.2).

NOTA. Véase la Norma ISO 19011 para orientación.

8.2.3 Seguimiento y medición de los procesos

La organización debe aplicar métodos apropiados para el seguimiento, y cuando sea aplicable, la medición de los procesos del sistema de gestión de la calidad. Estos métodos deben demostrar la capacidad de los procesos para alcanzar los resultados planificados. Cuando no se alcancen los resultados planificados, deben llevarse a cabo correcciones y acciones correctivas, según sea conveniente.

NOTA. Al determinar los métodos adecuados, es aconsejable que la organización considere el tipo y el grado de seguimiento o medición apropiado

para cada uno de sus procesos en relación con su impacto sobre la conformidad con los requisitos del producto y sobre la eficacia del sistema de gestión de la calidad.

8.2.4 Seguimiento y medición del producto

La organización debe hacer el seguimiento y medir las características del producto para verificar que se cumplen los requisitos del mismo. Esto debe realizarse en las etapas apropiadas del proceso de realización del producto de acuerdo con las disposiciones planificadas (véase 7.1). Se debe mantener evidencia de la conformidad con los criterios de aceptación.

Los registros deben indicar la(s) persona(s) que autoriza(n) la liberación del producto al cliente (véase 4.2.4).

La liberación del producto y la prestación del servicio al cliente no deben llevarse a cabo hasta que se hayan completado satisfactoriamente las disposiciones planificadas (véase 7.1), a menos que sean aprobados de otra manera por una autoridad pertinente y, cuando corresponda, por el cliente.

8.3 Control del producto no conforme

La organización debe asegurarse de que el producto que no sea conforme con los requisitos del producto, se identifica y controla para prevenir su uso o entrega no intencionados. Se debe establecer un procedimiento documentado para definir los controles y las responsabilidades y autoridades relacionadas para tratar el producto no conforme.

Cuando sea aplicable, la organización debe tratar los productos no conformes mediante una o más de las siguientes maneras:

- a) tomando acciones para eliminar la no conformidad detectada;
- b) autorizando su uso, liberación o aceptación bajo concesión por una autoridad pertinente y, cuando sea aplicable, por el cliente;

- c) tomando acciones para impedir su uso o aplicación prevista originalmente;
- d) tomando acciones apropiadas a los efectos, o efectos potenciales, de la no conformidad cuando se detecta un producto no conforme después de su entrega o cuando ya ha comenzado su uso.

Cuando se corrige un producto no conforme, debe someterse a una nueva verificación para demostrar su conformidad con los requisitos.

Se deben mantener registros (véase 4.2.4) de la naturaleza de las no conformidades y de cualquier acción tomada posteriormente, incluyendo las concesiones que se hayan obtenido.

8.4 Análisis de datos

La organización debe determinar, recopilar y analizar los datos apropiados para demostrar la idoneidad y la eficacia del sistema de gestión de la calidad y para evaluar dónde puede realizarse la mejora continua de la eficacia del sistema de gestión de la calidad. Esto debe incluir los datos generados del resultado del seguimiento y medición y de cualesquiera otras fuentes pertinentes.

El análisis de datos debe proporcionar información sobre:

- a) la satisfacción del cliente (véase 8.2.1),
- b) la conformidad con los requisitos del producto (véase 8.2.4),
- c) las características y tendencias de los procesos y de los productos, incluyendo las oportunidades para llevar a cabo acciones preventivas (véase 8.2.3 y 8.2.4), y
- d) los proveedores (véase 7.4)

8.5 Mejora

8.5.1 Mejora continua

La organización debe mejorar continuamente la eficacia del sistema de gestión de la calidad mediante el uso de la política de la calidad, los objetivos de la calidad, los resultados de las auditorías, el análisis de datos, las acciones correctivas y preventivas y la revisión por la dirección.

8.5.2 Acción correctiva

La organización debe tomar acciones para eliminar las causas de las no conformidades con objeto de prevenir que vuelvan a ocurrir. Las acciones correctivas deben ser apropiadas a los efectos de las no conformidades encontradas.

Debe establecerse un procedimiento documentado para definir los requisitos para:

- a) revisar las no conformidades (incluyendo las quejas de los clientes),
- b) determinar las causas de las no conformidades,
- c) evaluar la necesidad de adoptar acciones para asegurarse de que las no conformidades no vuelvan a ocurrir,
- d) determinar e implementar las acciones necesarias,
- e) registrar los resultados de las acciones tomadas (véase 4.2.4), y f) revisar la eficacia de las acciones correctivas tomadas.

8.5.3 Acción preventiva

La organización debe determinar acciones para eliminar las causas de no conformidades potenciales para prevenir su ocurrencia. Las acciones preventivas deben ser apropiadas a los efectos de los problemas potenciales.

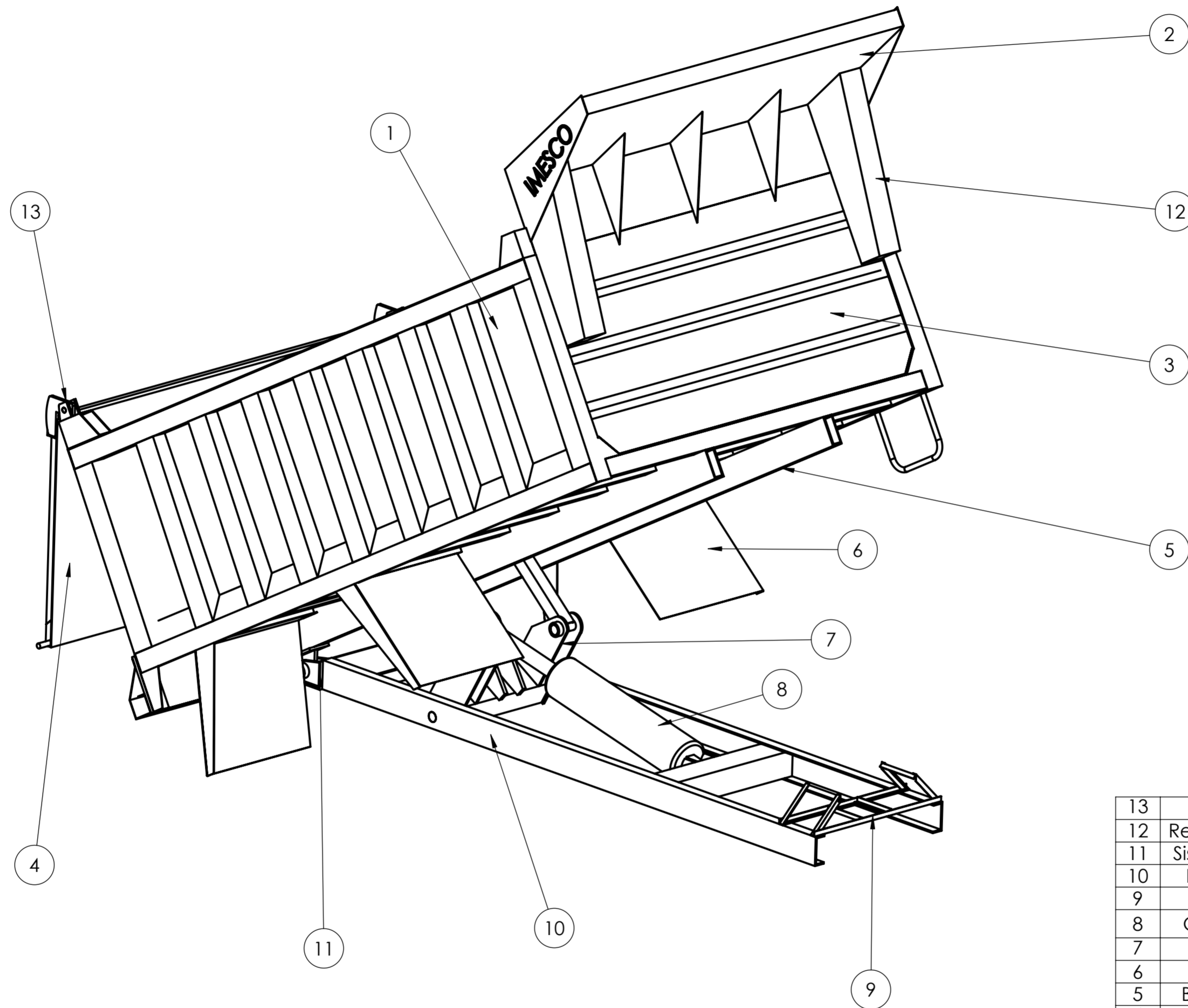
Debe establecerse un procedimiento documentado para definir los requisitos para:

- a) determinar las no conformidades potenciales y sus causas,

- b) evaluar la necesidad de actuar para prevenir la ocurrencia de no conformidades,
- c) determinar e implementar las acciones necesarias,
- d) registrar los resultados de las acciones tomadas (véase 4.2.4), y
- e) revisar la eficacia de las acciones preventivas tomadas.

SECCIÓN C

**PLANOS DEL MODELO ESTÁNDAR DE LA TOLVA DE VOLQUETA DE 8
METROS CÚBICOS I.M.ESCO 2011.**

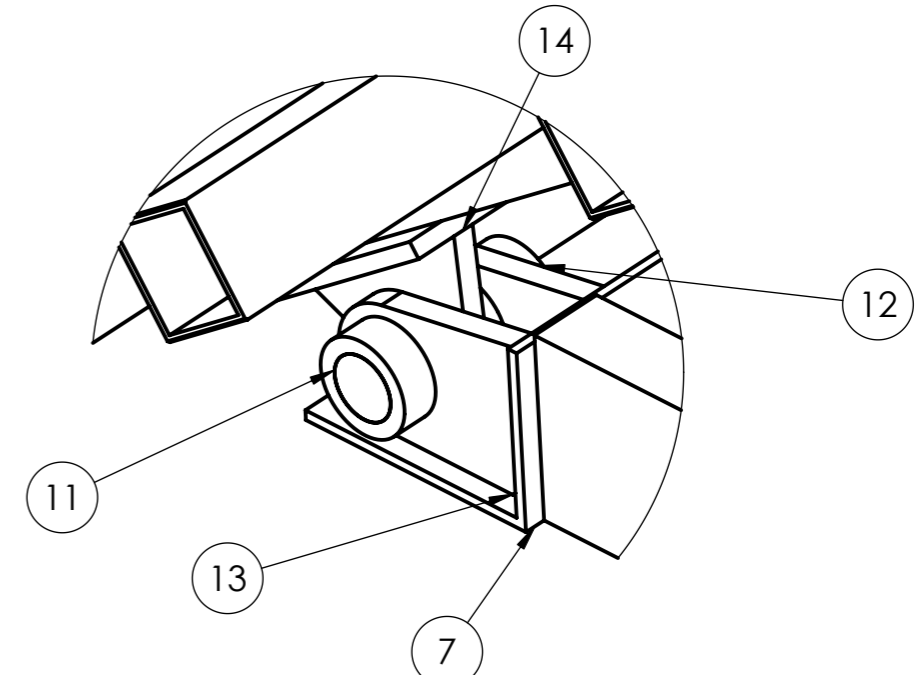
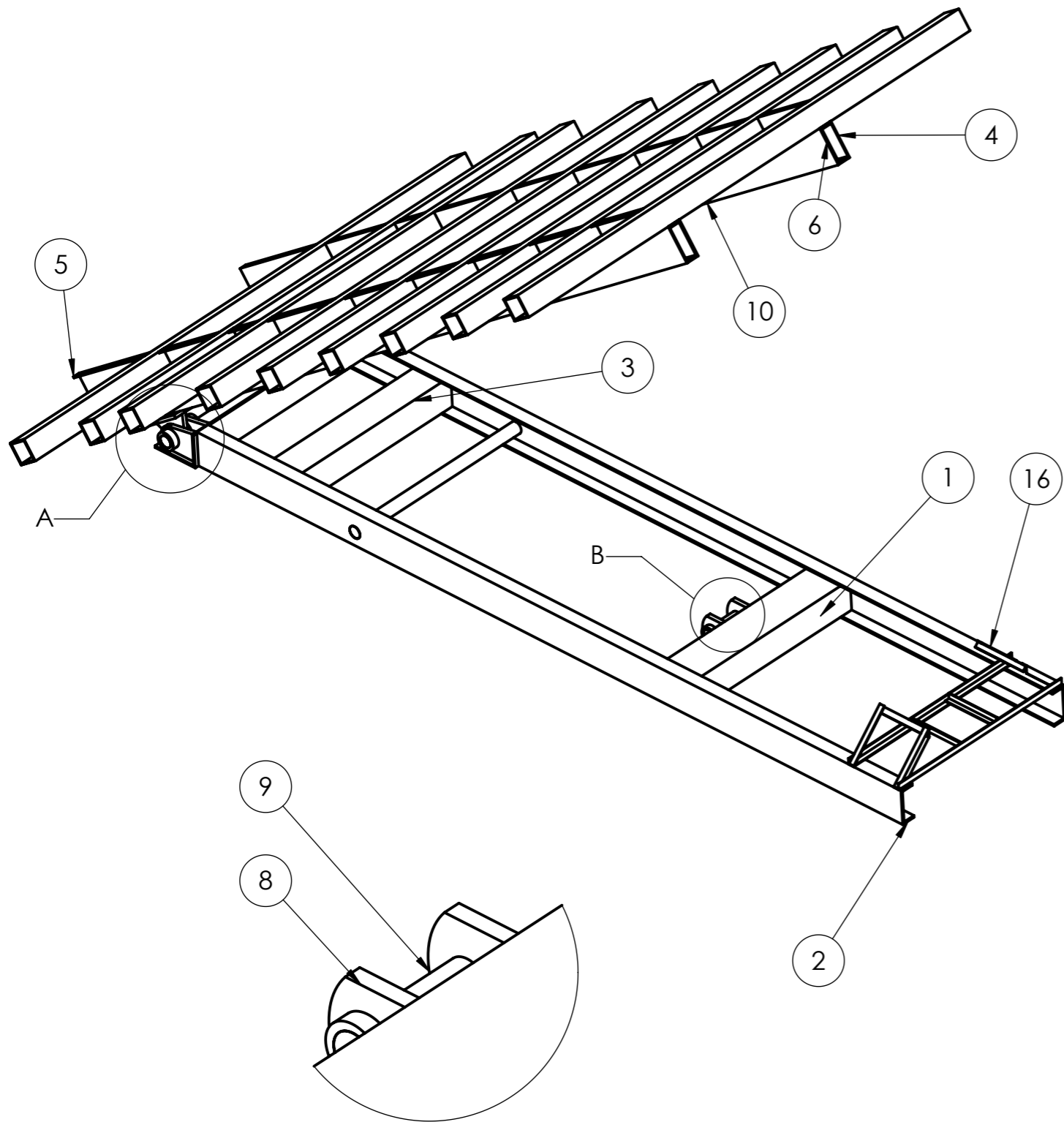


No. DE PIEZA	DENOMINACIÓN	No. DE DIBUJO	MATERIAL	No. DE ORDEN	CANTIDAD	PESO (K/KG)	OBSERVACIONES
13	Bisagra volteo		SAE 1010		2		
12	Refuerzo de vicera		ACERO A36		2		
11	Sistema de volteo		ACERO A36		2		
10	Base del chasis		ACERO A36		1		ENSAMBLADO
9	Porta llanta		ACERO A36		1		DOBLADO
8	Gato hidráulico				1		ADQUIRIDO
7	Tortuga		ACERO A36		1		ENSAMBLADO
6	Guardalodos		ACERO A36		4		
5	Base de la tolva		ACERO A36		1		ENSAMBLADO
4	Compuerta		ACERO A36		1		ENSAMBLADO
3	Pared frontal		ACERO A36		1		ENSAMBLADO
2	Vicera		ACERO A36		1		
1	Pared lateral		ACERO A36		1		DOBLADO

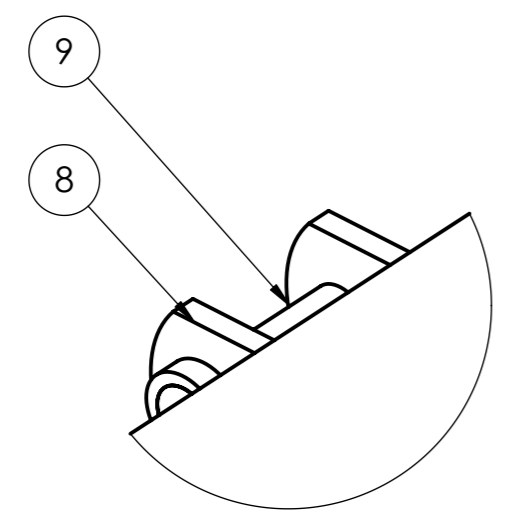
TOLERANCIA:		PESO:		MATERIAL:			
±0,1							
NOMBRE		FECHA		PARTES GENERALES DE LA TOLVA			
DIBUJO: Colero L.		16/03/2012					
REVISO: Moretta A.		16/03/2012					
APROBO: Moretta A.		16/03/2012					
U.T.A. INGENIERIA MECANICA				NUMERO DE LAMINA: 01			
EDICION MODIFICACION FECHA NOMBRE				SUSTITUCIÓN:			

ESCALA:
1:20





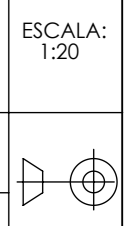
DETALLE A
ESCALA 1 : 5

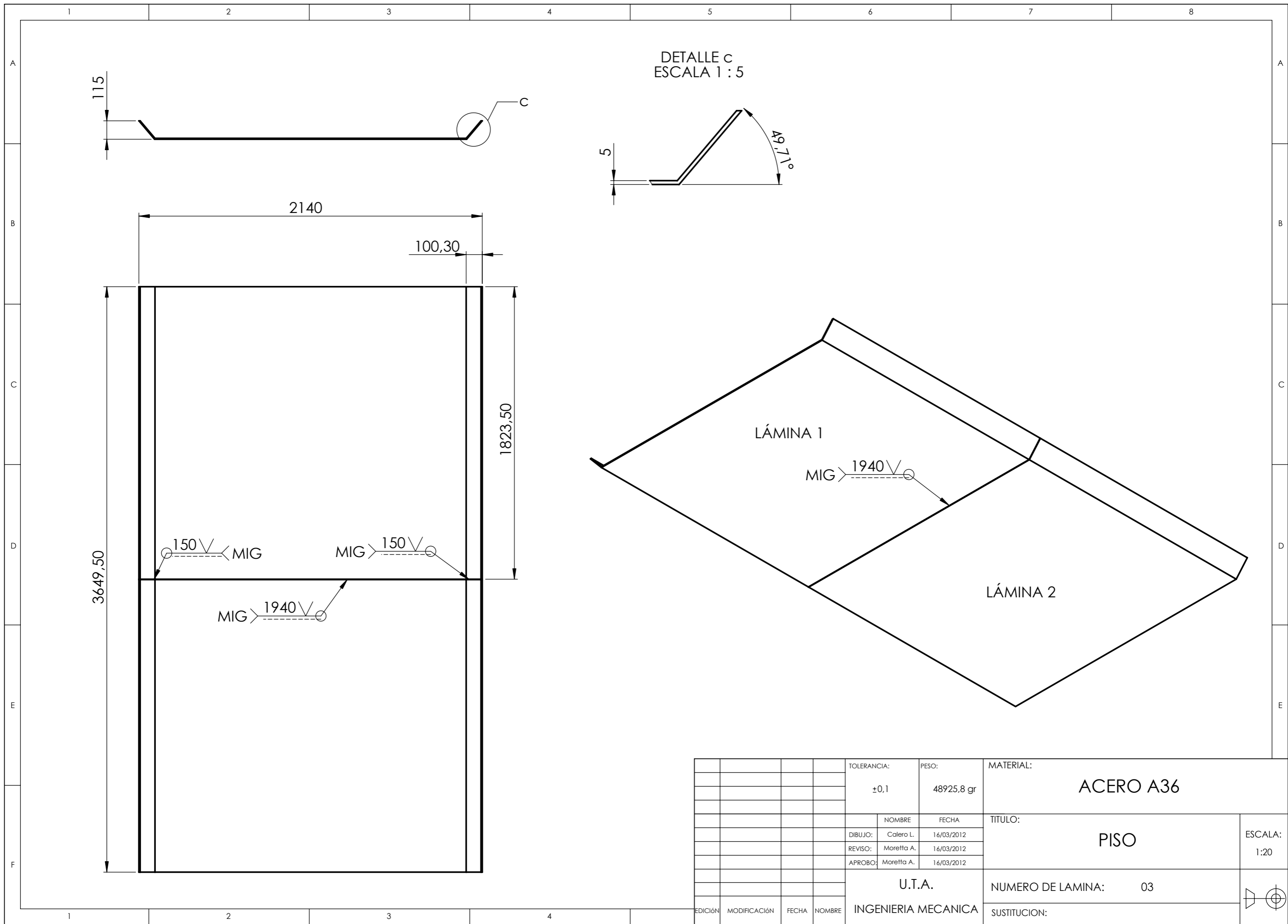


DETALLE B
ESCALA 1 : 5

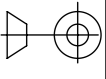
No. DE PIEZA	DENOMINACIÓN	No. DE DIBUJO	MATERIAL	No. DE ORDEN	CANTIDAD	PESO (gr)	OBSERVACIONES
16	Porta llanta		ACERO A36	1	1	8497,3	DOBLADO
15	Apoyo volteo D.		ACERO A36	2	2	5291,9	
14	Apoyo volteo I.		ACERO A36	2	2	5291,9	
13	Placa volteo I.		ACERO A36	2	2	3274,7	
12	Placa volteo D.		ACERO A36	2	2	3274,7	
11	Eje de volteo		SAE 1010	2	2	2432,2	
10	Sercha piso		ACERO A36	9	9	31684,7	
9	Eje gato		SAE 1010	1	1	3080,8	
8	Base gato		ACERO A36	2	2	1827,9	
7	Base volteo		ACERO A36	1	1	19303,4	
6	Sercha base		ACERO A36	2	2	57319,3	
5	Acople piso I.		ACERO A36	1	1	57310,3	DOBLADO
4	Acople piso D.		ACERO A36	1	1	57310,3	DOBLADO
3	Acople 2		ACERO A36	1	1	17825,3	
2	Sercha fija		ACERO A36	2	2	56869	
1	Acople 1		ACERO A36	1	1	19855,9	

TOLERANCIA:		PESO:		MATERIAL:		ACERO A36	
		NOMBRE		FECHA		TITULO:	
		DIBUJO: Calero L.		16/03/2012			
		REVISO: Moretta A.		16/03/2012			
		APROBO: Moretta A.		16/03/2012		BASE AL CHASIS	
				U.T.A.		NUMERO DE LAMINA: 02	
				INGENIERIA MECANICA		SUSTITUCION:	

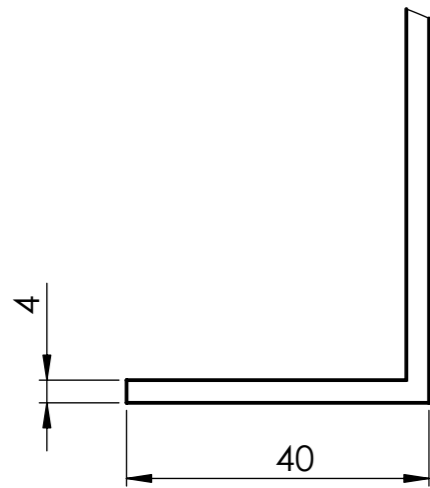




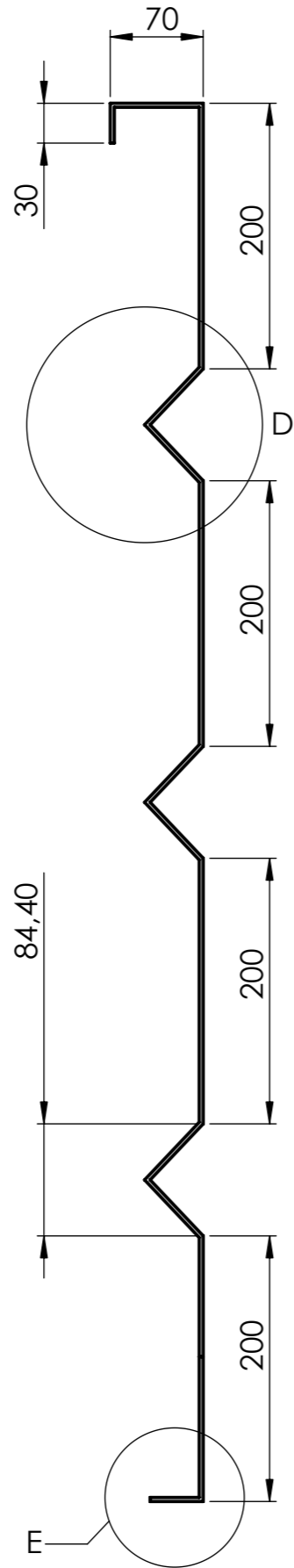
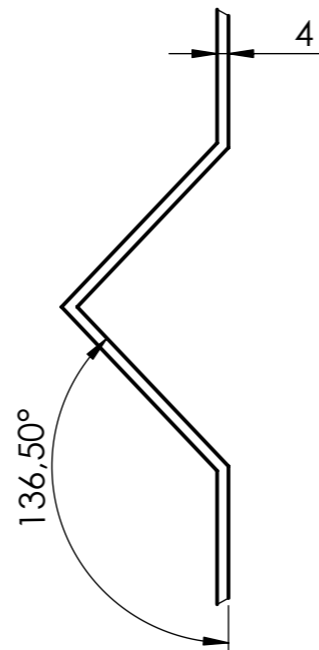
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0,1	48925,8 gr	ACERO A36	
					NOMBRE	FECHA	TITULO:
				DIBUJO:	Calero L.	16/03/2012	PISO
				REVISO:	Moretta A.	16/03/2012	
				APROBO:	Moretta A.	16/03/2012	
				U.T.A.		NUMERO DE LAMINA:	03
				INGENIERIA MECANICA		SUSTITUCION:	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE				ESCALA: 1:20



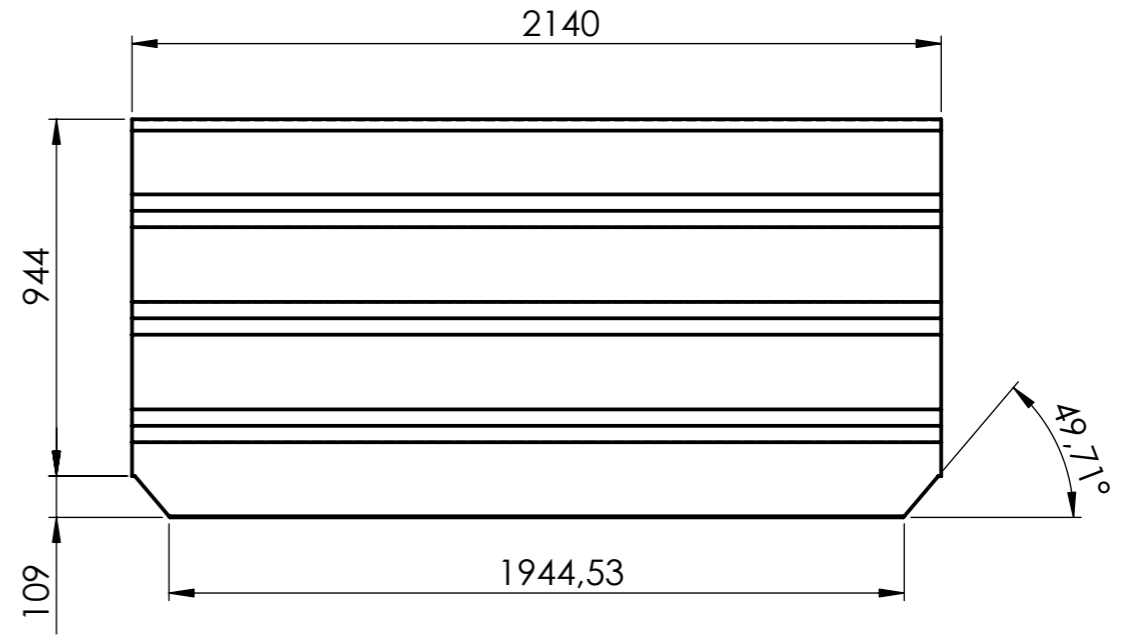
DETALLE E
ESCALA 1 : 1



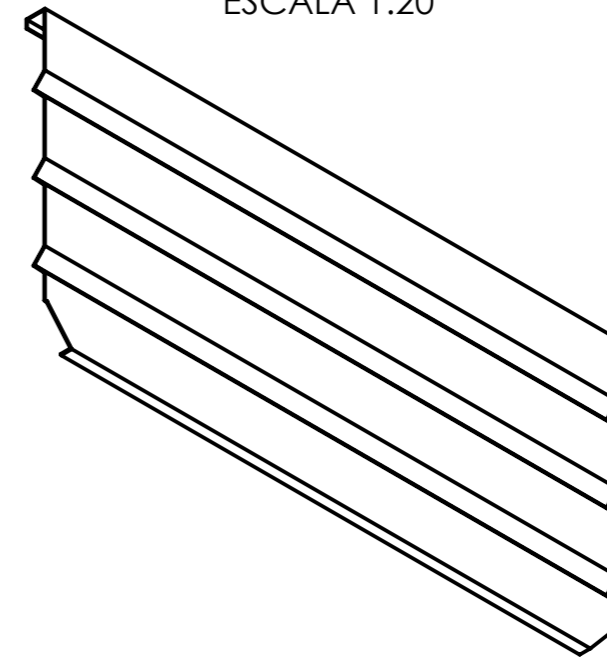
DETALLE D
ESCALA 1 : 2



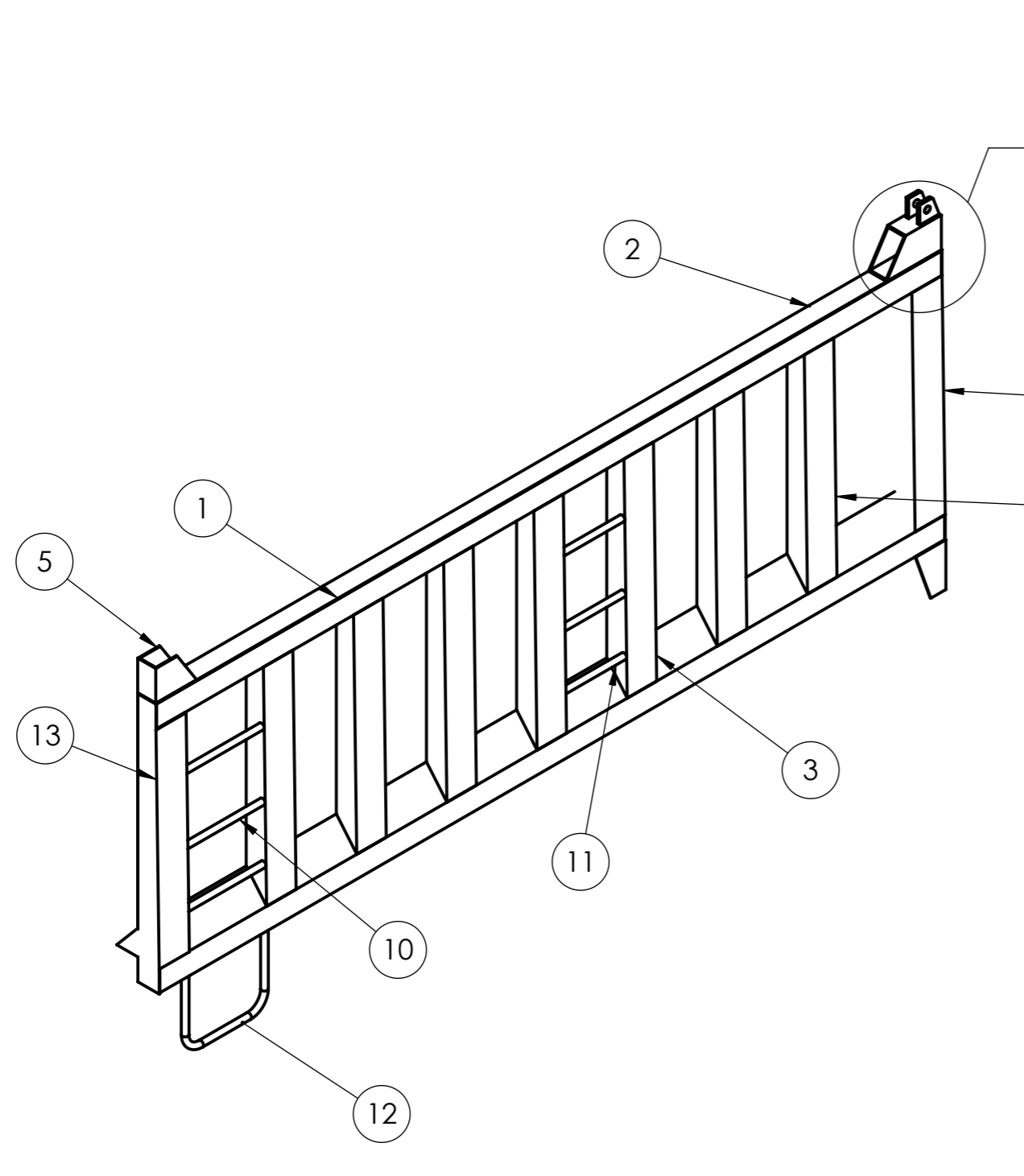
ESCALA 1:20



VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:20



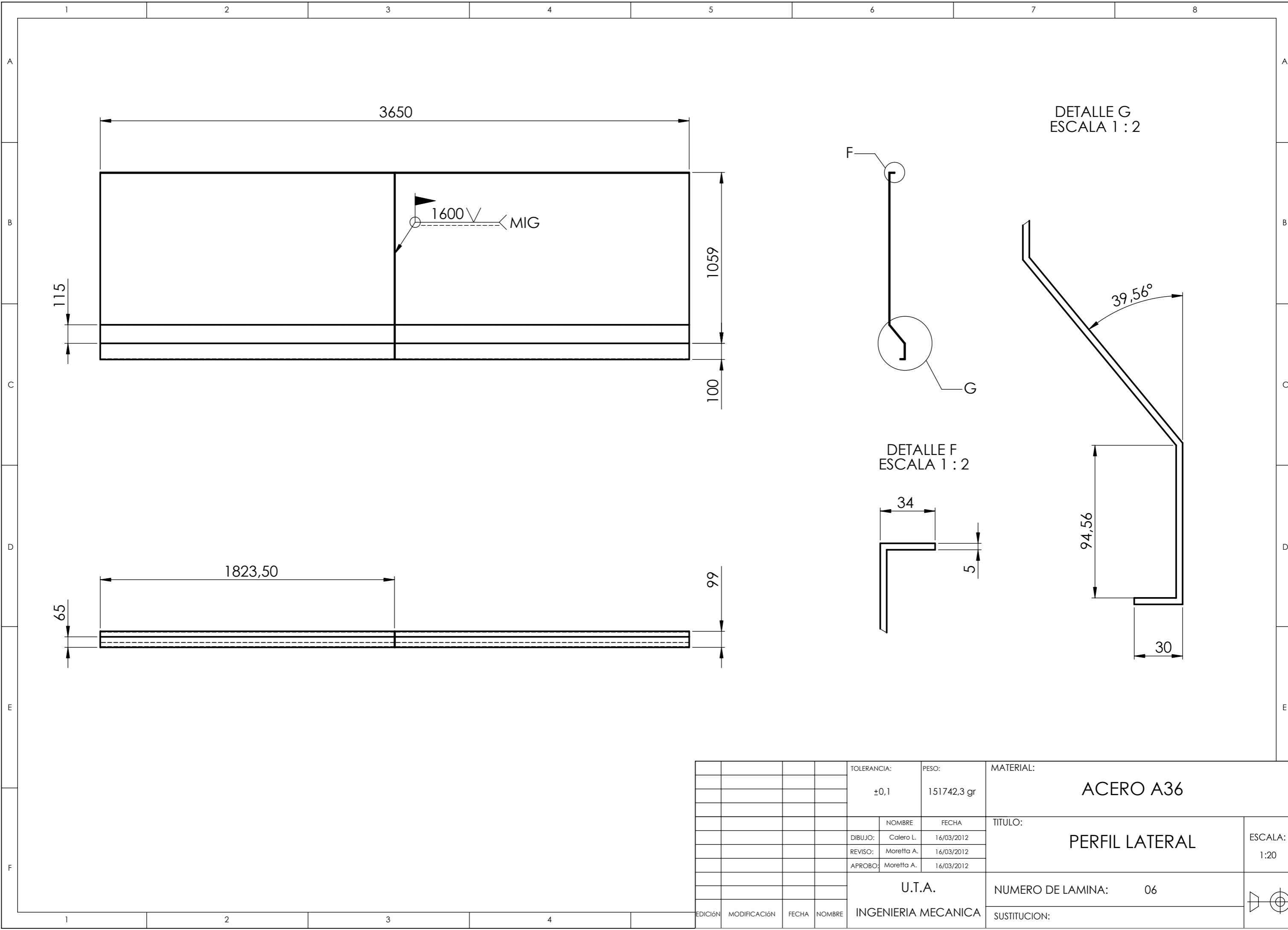
				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0.1	113421,23 gr	ACERO A36	
					NOMBRE	FECHA	PARED FRONTAL
				DIBUJO:	Calero L.	16/03/2012	
				REVISO:	Moretta A.	16/03/2012	
				APROBO:	Moretta A.	16/03/2012	ESCALA: 1: 5
				U.T.A.		NUMERO DE LÁMINA:	04
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	INGENIERIA MECANICA		SUSTITUCION:	



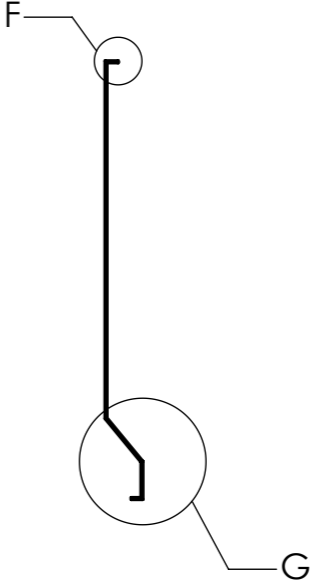
DETALLE F
ESCALA 1 : 10

13	Refuerzo Frontal		ACERO A36		2	8567,7	DOBLADO
12	U escalera		ACERO A36		1	1839,3	DOBLADO
11	Tubo escalera 1		SAE 1010		3	524,8	
10	Tubo escalera		ACERO A36		3	613,1	
9	Refuerzo Comp.		SAE 1010		2	7854,2	DOBLADO
8	Eje P.		ACERO A36		2	259,4	
7	Base volteo		ACERO A36		2	526,5	
6	Refuerzo L.		ACERO A36		2	8485,3	DOBLADO
5	Tope frontal		ACERO A36		2	2581,2	DOBLADO
4	Base volteo		ACERO A36		2	3980	DOBLADO
3	Refuerzo		ACERO A36		14	7199,5	DOBLADO
2	Perfil Lateral		ACERO A36		2	151742,3	DOBLADO
1	Refuerzo Trans.		ACERO A36		2	29433,6	DOBLADO
No. DE PIEZA	DENOMINACIÓN	No. DE DIBUJO	MATERIAL	No. DE ORDEN	CANTIDAD	PESO (gr)	OBSERVACIONES

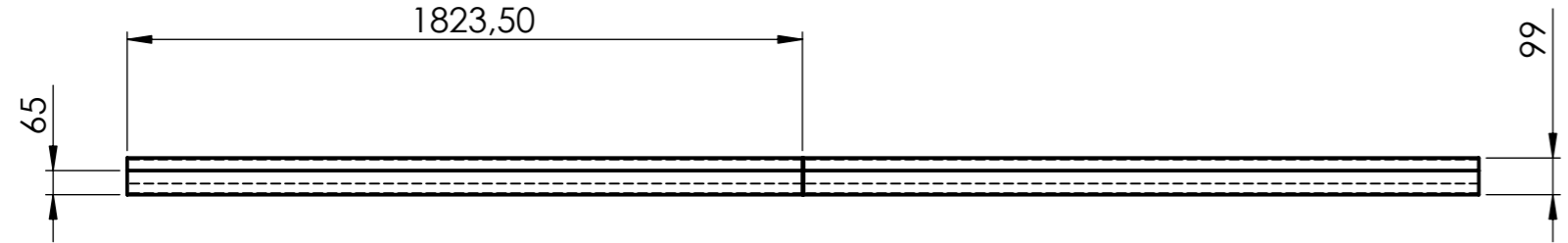
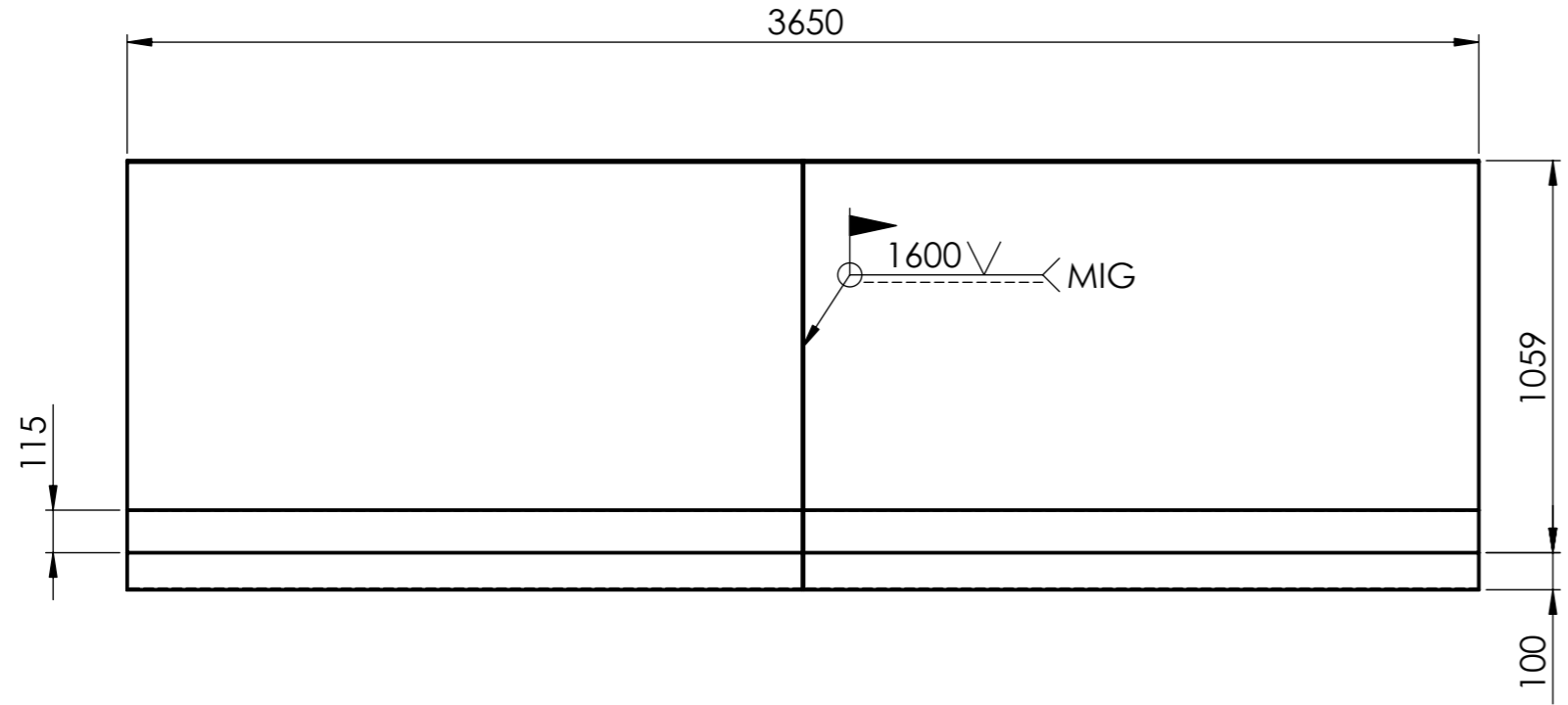
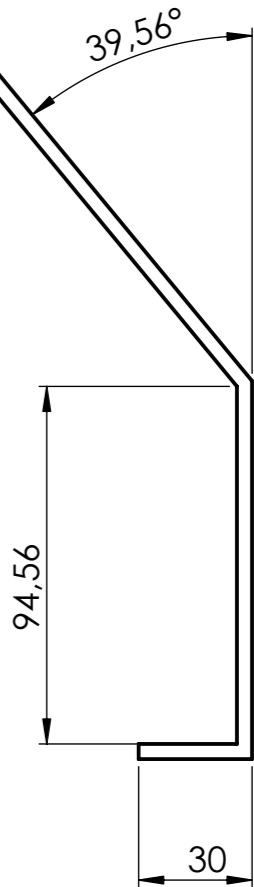
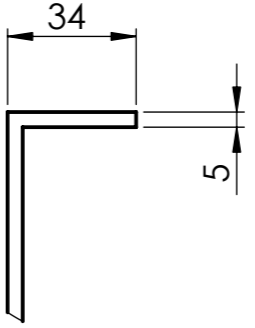
TOLERANCIA:		PESO:		MATERIAL:			
±0,1				ACERO A36			
NOMBRE		FECHA		TITULO:			ESCALA: 1:20
DIBUJO:		16/03/2012		PERED LATERAL			
REVISO:		16/03/2012					
APROBO:		16/03/2012					
U.T.A.				NUMERO DE LAMINA: 05			
INGENIERIA MECANICA				SUSTITUCION:			
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE				



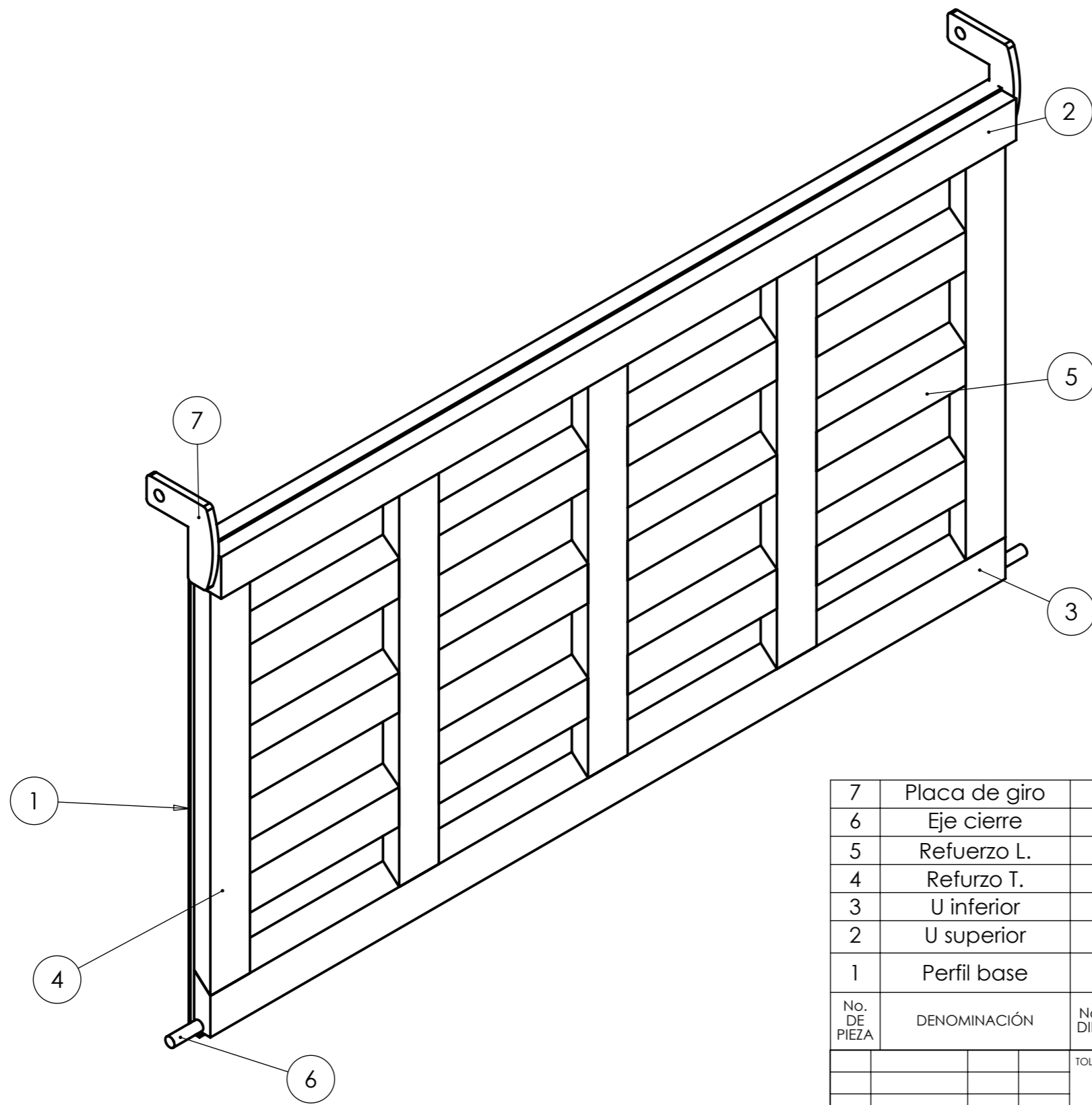
DETALLE G
ESCALA 1 : 2



DETALLE F
ESCALA 1 : 2

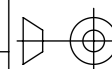


				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
				±0,1	151742,3 gr	ACERO A36		
					NOMBRE	FECHA	TITULO:	
				DIBUJO:	Calero L.	16/03/2012	PERFIL LATERAL	
				REVISO:	Moretta A.	16/03/2012		
				APROBO:	Moretta A.	16/03/2012		
				U.T.A.		NUMERO DE LAMINA:	06	
				INGENIERIA MECANICA		SUSTITUCION:		
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE					ESCALA: 1:20

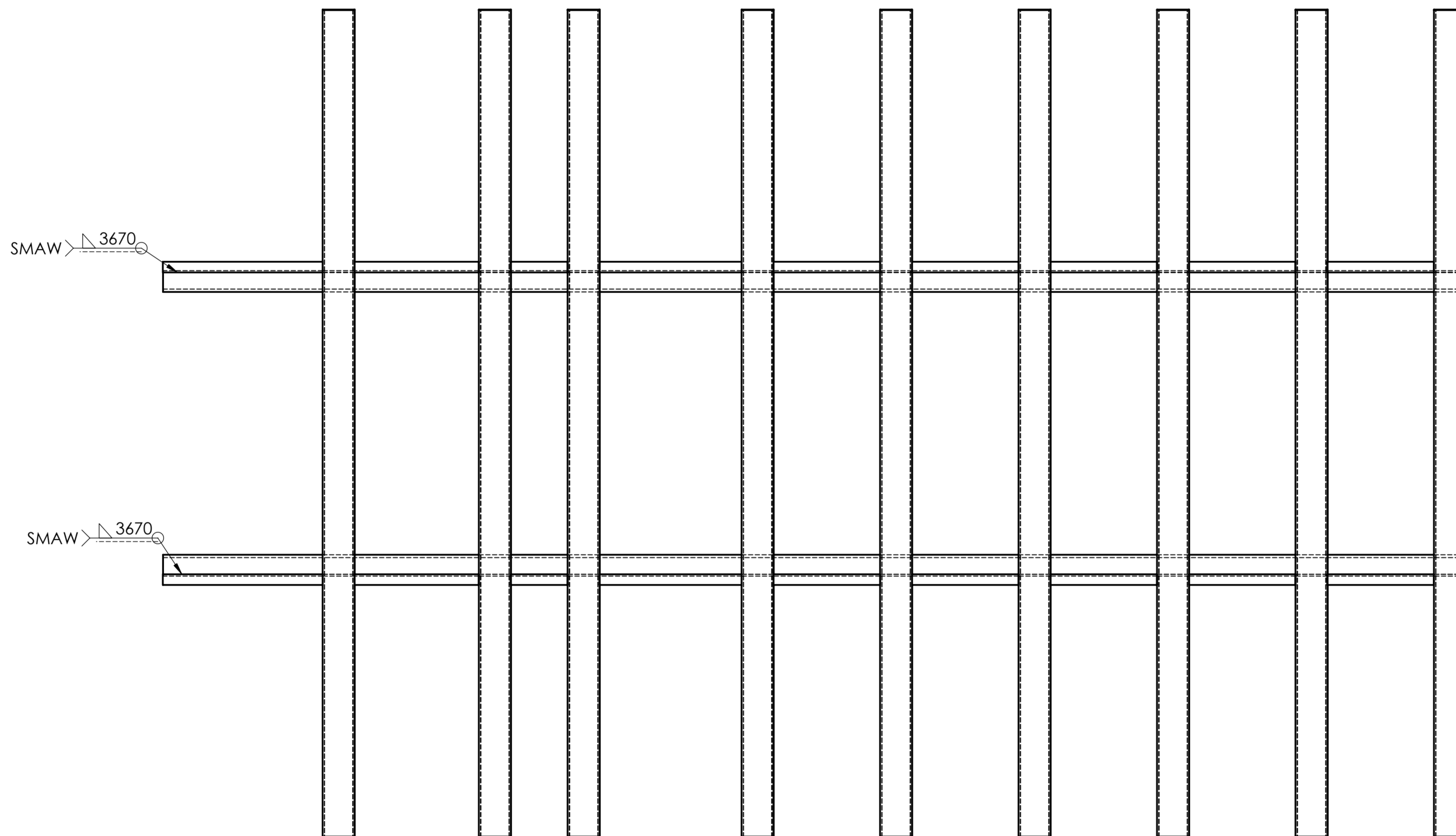
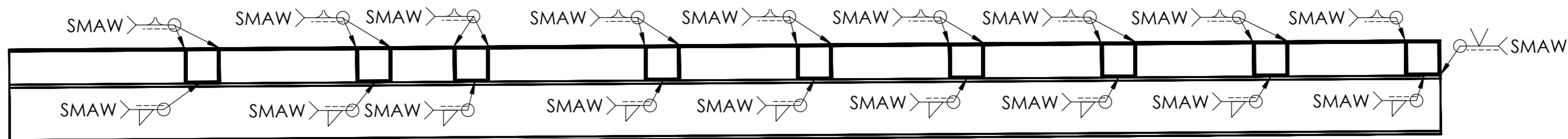


7	Placa de giro		ACERO A36			278,11	
6	Eje cierre		SAE 1010			324,3	
5	Refuerzo L.		ACERO A36			1902,6	DOBLADO
4	Refuerzo T.		ACERO A36			5896,7	DOBLADO
3	U inferior		ACERO A36			14252,7	DOBLADO
2	U superior		ACERO A36			17509	DOBLADO
1	Perfil base		ACERO A36			110441,4	DOBLADO
No. DE PIEZA	DENOMINACIÓN	No. DE DIBUJO	MATERIAL	No. DE ORDEN	CANTIDAD	PESO (gr)	OBSERVACIONES

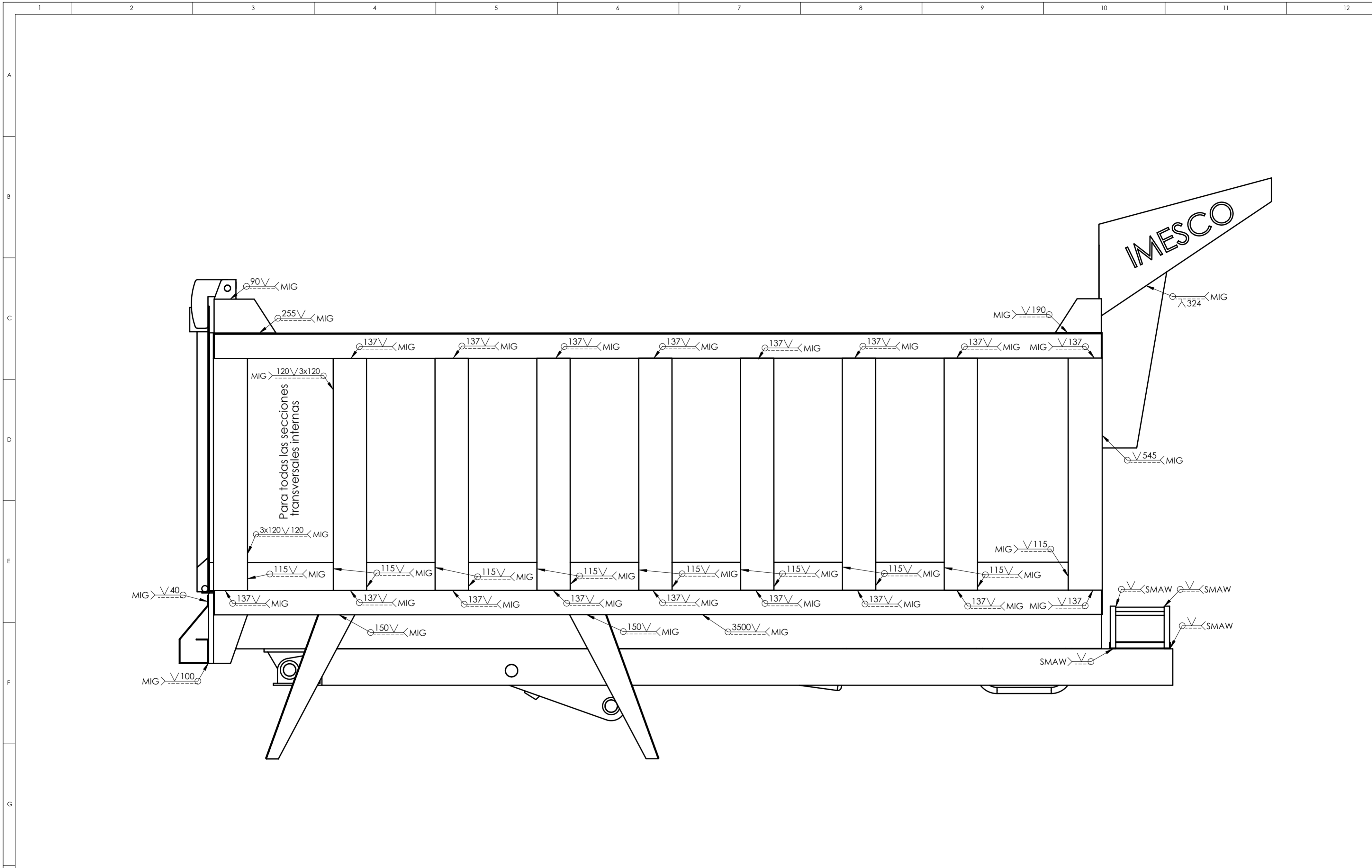
TOLERANCIA:		PESO:		MATERIAL:			
±0,1				ACERO A 36			
NOMBRE		FECHA		TITULO:			ESCALA: 1:10
DIBUJO: Calero L.		16/03/2012		COMPUERTA			
REVISO: Moretta A.		16/03/2012					
APROBO: Moretta A.		16/03/2012					
U.T.A.				NUMERO DE LAMINA:		07	
INGENIERIA MECANICA				SUSTITUCION:			



SOLDADURA REALIZADA SOBRE LAS DOS PERFILES DE LA BASE



				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0,1			
				NOMBRE	FECHA	DESCRIPCIÓN DE SOLDADURA BASE	ESCALA: 1:20
				DIBUJO: Colero L.	16/03/2012		
				REVISO: Moretta A.	16/03/2012		
				APROBO: Moretta A.	16/03/2012		
				U.T.A.		NUMERO DE LAMINA: 08	
				INGENIERIA MECANICA		SUSTITUCIÓN:	



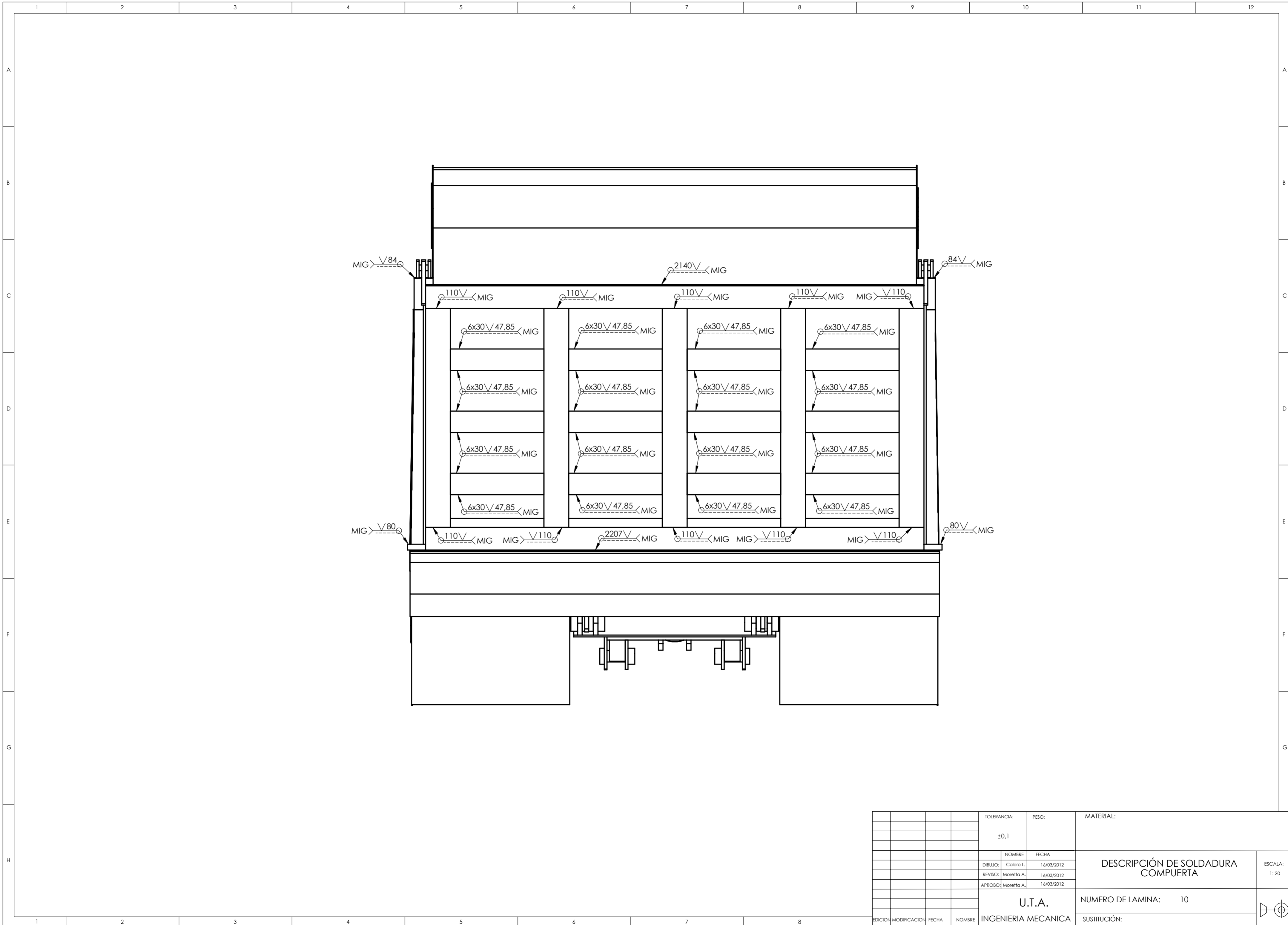
						TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
						±0,1				
							NOMBRE	FECHA		
							DIBUJO:	Colero L.	16/03/2012	
							REVISO:	Moretta A.	16/03/2012	
							APROBO:	Moretta A.	16/03/2012	
							U.T.A.		NUMERO DE LAMINA: 09	
							INGENIERIA MECANICA		SUSTITUCIÓN:	

IMESCO

Para todas las secciones transversales internas

ESCALA: 1:10





						TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
						±0,1				
						NOMBRE	FECHA	DESCRIPCIÓN DE SOLDADURA COMPUERTA		
					DIBUJO:	Colero L.	16/03/2012			ESCALA:
					REVISO:	Moretta A.	16/03/2012			1:20
					APROBO:	Moretta A.	16/03/2012			
						U.T.A.		NUMERO DE LAMINA:	10	
						INGENIERIA MECANICA		SUSTITUCIÓN:		

SECCIÓN D

NORMAS ASTM



Standard Guide for Radiographic Examination¹

This standard is issued under the fixed designation E 94; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This guide² covers satisfactory X-ray and gamma-ray radiographic examination as applied to industrial radiographic film recording. It includes statements about preferred practice without discussing the technical background which justifies the preference. A bibliography of several textbooks and standard documents of other societies is included for additional information on the subject.

1.2 This guide covers types of materials to be examined; radiographic examination techniques and production methods; radiographic film selection, processing, viewing, and storage; maintenance of inspection records; and a list of available reference radiograph documents.

NOTE 1—Further information is contained in Guide E 999, Practice E 1025, Test Methods E 1030 and E 1032.

1.3 *Interpretation and Acceptance Standards*—Interpretation and acceptance standards are not covered by this guide, beyond listing the available reference radiograph documents for castings and welds. Designation of accept - reject standards is recognized to be within the cognizance of product specifications and generally a matter of contractual agreement between producer and purchaser.

1.4 *Safety Practices*—Problems of personnel protection against X rays and gamma rays are not covered by this document. For information on this important aspect of radiography, reference should be made to the current document of the National Committee on Radiation Protection and Measurement, Federal Register, U.S. Energy Research and Development Administration, National Bureau of Standards, and to state and local regulations, if such exist. For specific radiation safety information refer to NIST Handbook ANSI 43.3, 21 CFR 1020.40, and 29 CFR 1910.1096 or state regulations for agreement states.

1.5 *This standard does not purport to address all of the safety problems, if any, associated with its use. It is the*

responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. (See 1.4.)

1.6 If an NDT agency is used, the agency shall be qualified in accordance with Practice E 543.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:³

- E 543 Practice for Evaluating Agencies that Perform Non-destructive Testing
- E 746 Test Method for Determining Relative Image Quality Response of Industrial Radiographic Film Systems
- E 747 Practice for Design, Manufacture, and Material Grouping Classification of Wire Image Quality Indicators (IQI) Used for Radiology
- E 801 Practice for Controlling Quality of Radiological Examination of Electronic Devices
- E 999 Guide for Controlling the Quality of Industrial Radiographic Film Processing
- E 1025 Practice for Design, Manufacture, and Material Grouping Classification of Hole-Type Image Quality Indicators (IQI) Used for Radiology
- E 1030 Test Method for Radiographic Examination of Metallic Castings
- E 1032 Test Method for Radiographic Examination of Weldments
- E 1079 Practice for Calibration of Transmission Densitometers
- E 1254 Guide for Storage of Radiographs and Unexposed Industrial Radiographic Films
- E 1316 Terminology for Nondestructive Examinations
- E 1390 Guide for Illuminators Used for Viewing Industrial Radiographs
- E 1735 Test Method for Determining Relative Image Quality of Industrial Radiographic Film Exposed to X-Radiation from 4 to 25 MV
- E 1742 Practice for Radiographic Examination
- E 1815 Test Method for Classification of Film Systems for

¹ This guide is under the jurisdiction of ASTM Committee E07 on Nondestructive Testing and is the direct responsibility of Subcommittee E07.01 on Radiology (X and Gamma) Method.

Current edition approved January 1, 2004. Published February 2004. Originally approved in 1952. Last previous edition approved in 2000 as E 94 - 00.

² For ASME Boiler and Pressure Vessel Code applications see related Guide SE-94 in Section V of that Code.

³ For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

Industrial Radiography

2.2 ANSI Standards:

PH1.41 Specifications for Photographic Film for Archival Records, Silver-Gelatin Type, on Polyester Base⁴

PH2.22 Methods for Determining Safety Times of Photographic Darkroom Illumination⁴

PH4.8 Methylene Blue Method for Measuring Thiosulfate and Silver Densitometric Method for Measuring Residual Chemicals in Films, Plates, and Papers⁴

T9.1 Imaging Media (Film)—Silver-Gelatin Type Specifications for Stability⁴

T9.2 Imaging Media—Photographic Process Film Plate and Paper Filing Enclosures and Storage Containers⁴

2.3 Federal Standards:

Title 21, Code of Federal Regulations (CFR) 1020.40, Safety Requirements of Cabinet X-Ray Systems⁵

Title 29, Code of Federal Regulations (CFR) 1910.96, Ionizing Radiation (X-Rays, RF, etc.)⁵

2.4 Other Document:

NBS Handbook ANSI N43.3 General Radiation Safety Installations Using NonMedical X-Ray and Sealed Gamma Sources up to 10 MeV⁶

3. Terminology

3.1 *Definitions*—For definitions of terms used in this guide, refer to Terminology E 1316.

4. Significance and Use

4.1 Within the present state of the radiographic art, this guide is generally applicable to available materials, processes, and techniques where industrial radiographic films are used as the recording media.

4.2 *Limitations*—This guide does not take into consideration special benefits and limitations resulting from the use of nonfilm recording media or readouts such as paper, tapes, xeroradiography, fluoroscopy, and electronic image intensification devices. Although reference is made to documents that may be used in the identification and grading, where applicable, of representative discontinuities in common metal castings and welds, no attempt has been made to set standards of acceptance for any material or production process. Radiography will be consistent in sensitivity and resolution only if the effect of all details of techniques, such as geometry, film, filtration, viewing, etc., is obtained and maintained.

5. Quality of Radiographs

5.1 To obtain quality radiographs, it is necessary to consider as a minimum the following list of items. Detailed information on each item is further described in this guide.

5.1.1 Radiation source (X-ray or gamma),

5.1.2 Voltage selection (X-ray),

5.1.3 Source size (X-ray or gamma),

5.1.4 Ways and means to eliminate scattered radiation,

5.1.5 Film system class,

5.1.6 Source to film distance,

5.1.7 Image quality indicators (IQI's),

5.1.8 Screens and filters,

5.1.9 Geometry of part or component configuration,

5.1.10 Identification and location markers, and

5.1.11 Radiographic quality level.

6. Radiographic Quality Level

6.1 Information on the design and manufacture of image quality indicators (IQI's) can be found in Practices E 747, E 801, E 1025, and E 1742.

6.2 The quality level usually required for radiography is 2 % (2-2T when using hole type IQI) unless a higher or lower quality is agreed upon between the purchaser and the supplier. At the 2 % subject contrast level, three quality levels of inspection, 2-1T, 2-2T, and 2-4T, are available through the design and application of the IQI (Practice E 1025, Table 1). Other levels of inspection are available in Practice E 1025 Table 1. The level of inspection specified should be based on the service requirements of the product. Great care should be taken in specifying quality levels 2-1T, 1-1T, and 1-2T by first determining that these quality levels can be maintained in production radiography.

NOTE 2—The first number of the quality level designation refers to IQI thickness expressed as a percentage of specimen thickness; the second number refers to the diameter of the IQI hole that must be visible on the radiograph, expressed as a multiple of penetrameter thickness, *T*.

6.3 If IQI's of material radiographically similar to that being examined are not available, IQI's of the required dimensions but of a lower-absorption material may be used.

6.4 The quality level required using wire IQI's shall be equivalent to the 2-2T level of Practice E 1025 unless a higher or lower quality level is agreed upon between purchaser and supplier. Table 4 of Practice E 747 gives a list of various hole-type IQI's and the diameter of the wires of corresponding EPS with the applicable 1T, 2T, and 4T holes in the plaque IQI. Appendix X1 of Practice E 747 gives the equation for calculating other equivalencies, if needed.

7. Energy Selection

7.1 X-ray energy affects image quality. In general, the lower the energy of the source utilized the higher the achievable radiographic contrast, however, other variables such as geometry and scatter conditions may override the potential advantage of higher contrast. For a particular energy, a range of thicknesses which are a multiple of the half value layer, may be radiographed to an acceptable quality level utilizing a particular X-ray machine or gamma ray source. In all cases the specified IQI (penetrameter) quality level must be shown on the radiograph. In general, satisfactory results can normally be obtained for X-ray energies between 100 kV to 500 kV in a range between 2.5 to 10 half value layers (HVL) of material thickness (see Table 1). This range may be extended by as much as a factor of 2 in some situations for X-ray energies in the 1 to 25 MV range primarily because of reduced scatter.

⁴ Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036.

⁵ Available from U.S. Government Printing Office Superintendent of Documents, 732 N. Capitol St., NW, Mail Stop: SDE, Washington, DC 20401.

⁶ Available from National Technical Information Service (NTIS), U.S. Department of Commerce, 5285 Port Royal Rd., Springfield, VA 22161.

TABLE 1 Typical Steel HVL Thickness in Inches [mm] for Common Energies

Energy	Thickness, Inches [mm]
120 kV	0.10 [2.5]
150 kV	0.14 [3.6]
200 kV	0.20 [5.1]
250 kV	0.25 [6.4]
400 kV (Ir 192)	0.35 [8.9]
1 MV	0.57 [14.5]
2 MV (Co 60)	0.80 [20.3]
4 MV	1.00 [25.4]
6 MV	1.15 [29.2]
10 MV	1.25 [31.8]
16 MV and higher	1.30 [33.0]

8. Radiographic Equivalence Factors

8.1 The radiographic equivalence factor of a material is that factor by which the thickness of the material must be multiplied to give the thickness of a “standard” material (often steel) which has the same absorption. Radiographic equivalence factors of several of the more common metals are given in Table 2, with steel arbitrarily assigned a factor of 1.0. The factors may be used:

8.1.1 To determine the practical thickness limits for radiation sources for materials other than steel, and

8.1.2 To determine exposure factors for one metal from exposure techniques for other metals.

9. Film

9.1 Various industrial radiographic film are available to meet the needs of production radiographic work. However, definite rules on the selection of film are difficult to formulate because the choice depends on individual user requirements. Some user requirements are as follows: radiographic quality levels, exposure times, and various cost factors. Several methods are available for assessing image quality levels (see Test Method E 746, and Practices E 747 and E 801). Information about specific products can be obtained from the manufacturers.

9.2 Various industrial radiographic films are manufactured to meet quality level and production needs. Test Method E 1815 provides a method for film manufacturer classification of film systems. A film system consist of the film and

associated film processing system. Users may obtain a classification table from the film manufacturer for the film system used in production radiography. A choice of film class can be made as provided in Test Method E 1815. Additional specific details regarding classification of film systems is provided in Test Method E 1815. ANSI Standards PH1.41, PH4.8, T9.1, and T9.2 provide specific details and requirements for film manufacturing.

10. Filters

10.1 *Definition*—Filters are uniform layers of material placed between the radiation source and the film.

10.2 *Purpose*—The purpose of filters is to absorb the softer components of the primary radiation, thus resulting in one or several of the following practical advantages:

10.2.1 Decreasing scattered radiation, thus increasing contrast.

10.2.2 Decreasing undercutting, thus increasing contrast.

10.2.3 Decreasing contrast of parts of varying thickness.

10.3 *Location*—Usually the filter will be placed in one of the following two locations:

10.3.1 As close as possible to the radiation source, which minimizes the size of the filter and also the contribution of the filter itself to scattered radiation to the film.

10.3.2 Between the specimen and the film in order to absorb preferentially the scattered radiation from the specimen. It should be noted that lead foil and other metallic screens (see 13.1) fulfill this function.

10.4 *Thickness and Filter Material*— The thickness and material of the filter will vary depending upon the following:

10.4.1 The material radiographed.

10.4.2 Thickness of the material radiographed.

10.4.3 Variation of thickness of the material radiographed.

10.4.4 Energy spectrum of the radiation used.

10.4.5 The improvement desired (increasing or decreasing contrast). Filter thickness and material can be calculated or determined empirically.

11. Masking

11.1 Masking or blocking (surrounding specimens or covering thin sections with an absorptive material) is helpful in reducing scattered radiation. Such a material can also be used

TABLE 2 Approximate Radiographic Equivalence Factors for Several Metals (Relative to Steel)

Metal	Energy Level									
	100 kV	150 kV	220 kV	250 kV	400 kV	1 MV	2 MV	4 to 25 MV	¹⁹² Ir	⁶⁰ Co
Magnesium	0.05	0.05	0.08							
Aluminum	0.08	0.12	0.18						0.35	0.35
Aluminum alloy	0.10	0.14	0.18						0.35	0.35
Titanium		0.54	0.54		0.71	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Iron/all steels	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Copper	1.5	1.6	1.4	1.4	1.4	1.1	1.1	1.2	1.1	1.1
Zinc		1.4	1.3		1.3			1.2	1.1	1.0
Brass		1.4	1.3		1.3	1.2	1.1	1.0	1.1	1.0
Inconel X		1.4	1.3		1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Monel	1.7		1.2							
Zirconium	2.4	2.3	2.0	1.7	1.5	1.0	1.0	1.0	1.2	1.0
Lead	14.0	14.0	12.0			5.0	2.5	2.7	4.0	2.3
Hafnium			14.0	12.0	9.0	3.0				
Uranium			20.0	16.0	12.0	4.0		3.9	12.6	3.4

to equalize the absorption of different sections, but the loss of detail may be high in the thinner sections.

12. Back-Scatter Protection

12.1 Effects of back-scattered radiation can be reduced by confining the radiation beam to the smallest practical cross section and by placing lead behind the film. In some cases either or both the back lead screen and the lead contained in the back of the cassette or film holder will furnish adequate protection against back-scattered radiation. In other instances, this must be supplemented by additional lead shielding behind the cassette or film holder.

12.2 If there is any question about the adequacy of protection from back-scattered radiation, a characteristic symbol (frequently a 1/8-in. [3.2-mm] thick letter *B*) should be attached to the back of the cassette or film holder, and a radiograph made in the normal manner. If the image of this symbol appears on the radiograph as a lighter density than background, it is an indication that protection against back-scattered radiation is insufficient and that additional precautions must be taken.

13. Screens

13.1 *Metallic Foil Screens:*

13.1.1 Lead foil screens are commonly used in direct contact with the films, and, depending upon their thickness, and composition of the specimen material, will exhibit an intensifying action at as low as 90 kV. In addition, any screen used in front of the film acts as a filter (Section 10) to preferentially absorb scattered radiation arising from the specimen, thus improving radiographic quality. The selection of lead screen thickness, or for that matter, any metallic screen thickness, is subject to the same considerations as outlined in 10.4. Lead screens lessen the scatter reaching the film regardless of whether the screens permit a decrease or necessitate an increase in the radiographic exposure. To avoid image unsharpness due to screens, there should be intimate contact between the lead screen and the film during exposure.

13.1.2 Lead foil screens of appropriate thickness should be used whenever they improve radiographic quality or penetrometer sensitivity or both. The thickness of the front lead screens should be selected with care to avoid excessive filtration in the radiography of thin or light alloy materials, particularly at the lower kilovoltages. In general, there is no exposure advantage to the use of 0.005 in. in front and back lead screens below 125 kV in the radiography of 1/4-in. [6.35-mm] or lesser thickness steel. As the kilovoltage is increased to penetrate thicker sections of steel, however, there is a significant exposure advantage. In addition to intensifying action, the back lead screens are used as protection against back-scattered radiation (see Section 12) and their thickness is only important for this function. As exposure energy is increased to penetrate greater thicknesses of a given subject material, it is customary to increase lead screen thickness. For radiography using radioactive sources, the minimum thickness of the front lead screen should be 0.005 in. [0.13 mm] for iridium-192, and 0.010 in. [0.25 mm] for cobalt-60.

13.2 *Other Metallic Screen Materials:*

13.2.1 Lead oxide screens perform in a similar manner to lead foil screens except that their equivalence in lead foil thickness approximates 0.0005 in. [0.013 mm].

13.2.2 Copper screens have somewhat less absorption and intensification than lead screens, but may provide somewhat better radiographic sensitivity with higher energy above 1 MV.

13.2.3 Gold, tantalum, or other heavy metal screens may be used in cases where lead cannot be used.

13.3 *Fluorescent Screens*—Fluorescent screens may be used as required providing the required image quality is achieved. Proper selection of the fluorescent screen is required to minimize image unsharpness. Technical information about specific fluorescent screen products can be obtained from the manufacturers. Good film-screen contact and screen cleanliness are required for successful use of fluorescent screens. Additional information on the use of fluorescent screens is provided in Appendix X1.

13.4 *Screen Care*—All screens should be handled carefully to avoid dents and scratches, dirt, or grease on active surfaces. Grease and lint may be removed from lead screens with a solvent. Fluorescent screens should be cleaned in accordance with the recommendations of the manufacturer. Screens showing evidence of physical damage should be discarded.

14. Radiographic Image Quality

14.1 *Radiographic image quality* is a qualitative term used to describe the capability of a radiograph to show flaws in the area under examination. There are three fundamental components of radiographic image quality as shown in Fig. 1. Each component is an important attribute when considering a specific radiographic technique or application and will be briefly discussed below.

14.2 *Radiographic contrast* between two areas of a radiograph is the difference between the film densities of those areas. The degree of radiographic contrast is dependent upon both subject contrast and film contrast as illustrated in Fig. 1.

14.2.1 *Subject contrast* is the ratio of X-ray or gamma-ray intensities transmitted by two selected portions of a specimen. Subject contrast is dependent upon the nature of the specimen (material type and thickness), the energy (spectral composition, hardness or wavelengths) of the radiation used and the intensity and distribution of scattered radiation. It is independent of time, milliamperage or source strength (curies), source distance and the characteristics of the film system.

14.2.2 *Film contrast* refers to the slope (steepness) of the film system characteristic curve. Film contrast is dependent upon the type of film, the processing it receives and the amount of film density. It also depends upon whether the film was exposed with lead screens (or without) or with fluorescent screens. Film contrast is independent, for most practical purposes, of the wavelength and distribution of the radiation reaching the film and, hence is independent of subject contrast. For further information, consult Test Method E 1815.

14.3 *Film system granularity* is the objective measurement of the local density variations that produce the sensation of graininess on the radiographic film (for example, measured with a densitometer with a small aperture of ≤ 0.0039 in. [0.1 mm]). Graininess is the subjective perception of a mottled random pattern apparent to a viewer who sees small local

Radiographic Image Quality				
Radiographic Contrast		Film System Granularity	Radiographic Definition	
Subject Contrast	Film Contrast		Inherent Unsharpness	Geometric Unsharpness
<p>Affected by:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Absorption differences in specimen (thickness, composition, density) • Radiation wavelength • Scattered radiation <p>Reduced or enhanced by:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Masks and diaphragms • Filters • Lead screens • Potter-Bucky diaphragms 	<p>Affected by:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Type of film • Degree of development (type of developer, time, temperature and activity of developer, degree of agitation) • Film density • Type of screens (that is, fluorescent, lead or none) 	<ul style="list-style-type: none"> • Grain size and distribution within the film emulsion • Processing conditions (type and activity of developer, temperature of developer, etc.) • Type of screens (that is, fluorescent, lead or none) • Radiation quality (that is, energy level, filtration, etc.) • Exposure quanta (that is, intensity, dose, etc.) 	<p>Affected by:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Degree of screen-film contact • Total film thickness • Single or double emulsion coatings • Radiation quality • Type and thickness of screens (fluorescent, lead or none) 	<p>Affected by:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Focal spot or source physical size • Source-to-film distance • Specimen-to-film distance • Abruptness of thickness changes in specimen • Motion of specimen or radiation source

FIG. 1 Variables of Radiographic Image Quality

density variations in an area of overall uniform density (that is, the visual impression of irregularity of silver deposit in a processed radiograph). The degree of granularity will not affect the overall spatial radiographic resolution (expressed in line pairs per mm, etc.) of the resultant image and is usually independent of exposure geometry arrangements. Granularity is affected by the applied screens, screen-film contact and film processing conditions. For further information on detailed perceptibility, consult Test Method E 1815.

14.4 *Radiographic definition* refers to the sharpness of the image (both the image outline as well as image detail). Radiographic definition is dependent upon the inherent unsharpness of the film system and the geometry of the radiographic exposure arrangement (geometric unsharpness) as illustrated in Fig. 1.

14.4.1 *Inherent unsharpness* (U_i) is the degree of visible detail resulting from geometrical aspects within the film-screen system, that is, screen-film contact, screen thickness, total thickness of the film emulsions, whether single or double-coated emulsions, quality of radiation used (wavelengths, etc.) and the type of screen. Inherent unsharpness is independent of exposure geometry arrangements.

14.4.2 *Geometric unsharpness* (U_g) determines the degree of visible detail resultant from an “in-focus” exposure arrangement consisting of the source-to-film-distance, object-to-film-distance and focal spot size. Fig. 2(a) illustrates these conditions. Geometric unsharpness is given by the equation:

$$U_g = Ft/d_o \quad (1)$$

where:

- U_g = geometric unsharpness,
- F = maximum projected dimension of radiation source,
- t = distance from source side of specimen to film, and
- d_o = source-object distance.

NOTE 3— d_o and t must be in the same units of measure; the units of U_g will be in the same units as F .

NOTE 4—A nomogram for the determination of U_g is given in Fig. 3 (inch-pound units). Fig. 4 represents a nomogram in metric units.

Example:

Given:

Source-object distance (d_o) = 40 in.,

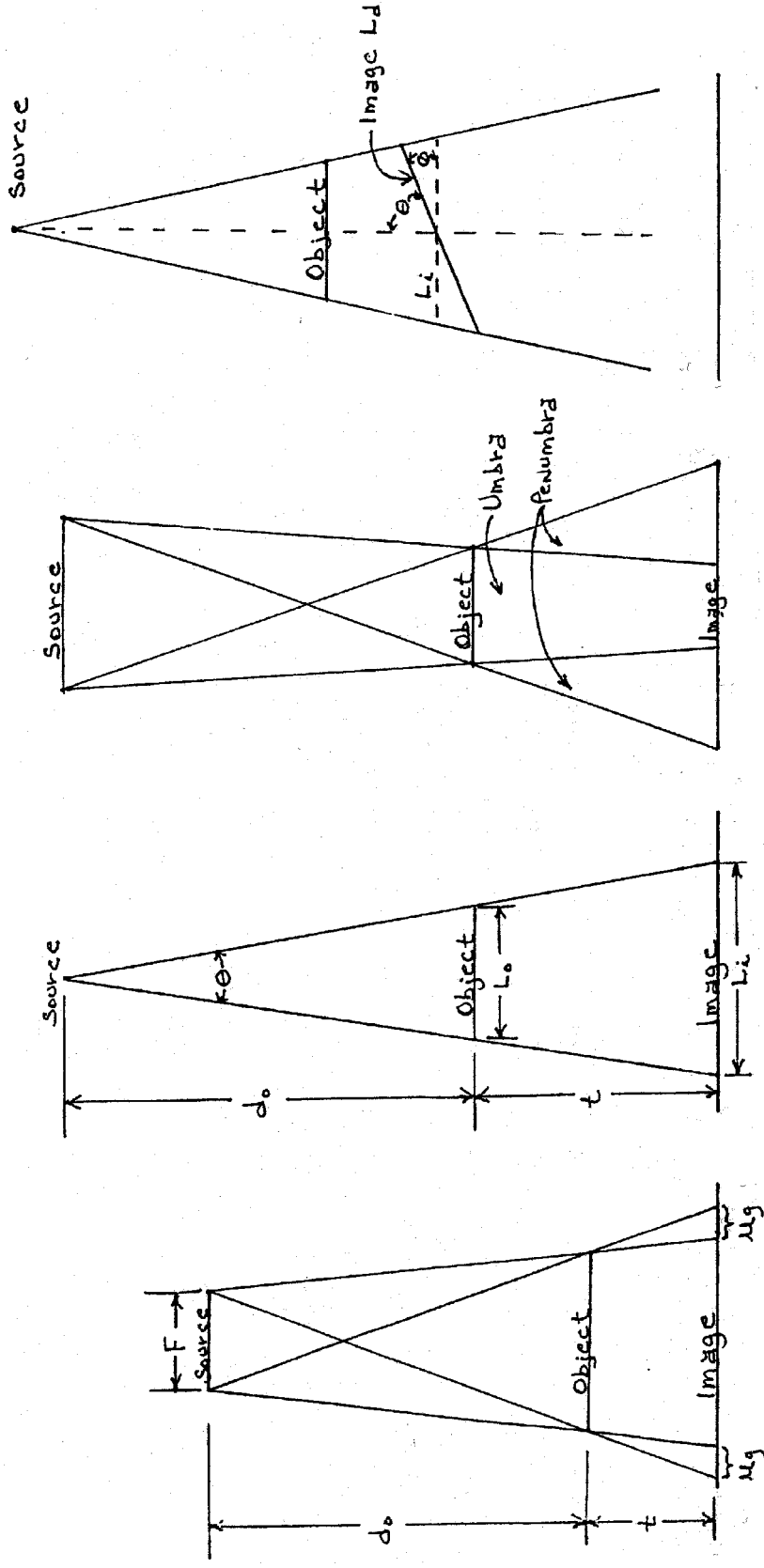
Source size (F) = 500 mils, and

Source side of specimen to film distance (t) = 1.5 in.

Draw a straight line (dashed in Fig. 3) between 500 mils on the F scale and 1.5 in. on the t scale. Note the point on intersection (P) of this line with the pivot line. Draw a straight line (solid in Fig. 3) from 40 in. on the d_o scale through point P and extend to the U_g scale. Intersection of this line with the U_g scale gives geometrical unsharpness in mils, which in the example is 19 mils.

Inasmuch as the source size, F , is usually fixed for a given radiation source, the value of U_g is essentially controlled by the simple d_o/t ratio.

Geometric unsharpness (U_g) can have a significant effect on the quality of the radiograph; therefore source-to-film-distance (SFD) selection is important. The geometric unsharpness (U_g) equation, Eq 1, is for information and guidance and provides a means for determining geometric unsharpness values. The amount or degree of unsharpness should be minimized when establishing the radiographic technique.



(a)

Geometric Unsharpness
 d_0 = source-to-object distance
 t = object-to-film distance
 F = greatest dimension of source or focal spot
 $\mu_g = Ft/d_0$

(b)

Radiographic Enlargement
 d_0 = source-to-object distance
 t = object-to-film distance
 L_0 = dimension of object
 L_i = dimension of image
 $L_i - L_0 = \Delta L = 2t \times \tan \frac{1}{2} \theta$
 Percentage enlargement = $\Delta L / L_0 \times 100$

(c)

Radiographic Reduction
 (Image will be smaller than object or feature)

(d)

Radiographic Distortion
 L_i = dimension of undistorted image
 L_d = dimension of distorted image
 $L_d - L_i = \Delta L$
 Percentage distortion = $(\Delta L / L_i) \times 100$

FIG. 2 Effects of Object-Film Geometry

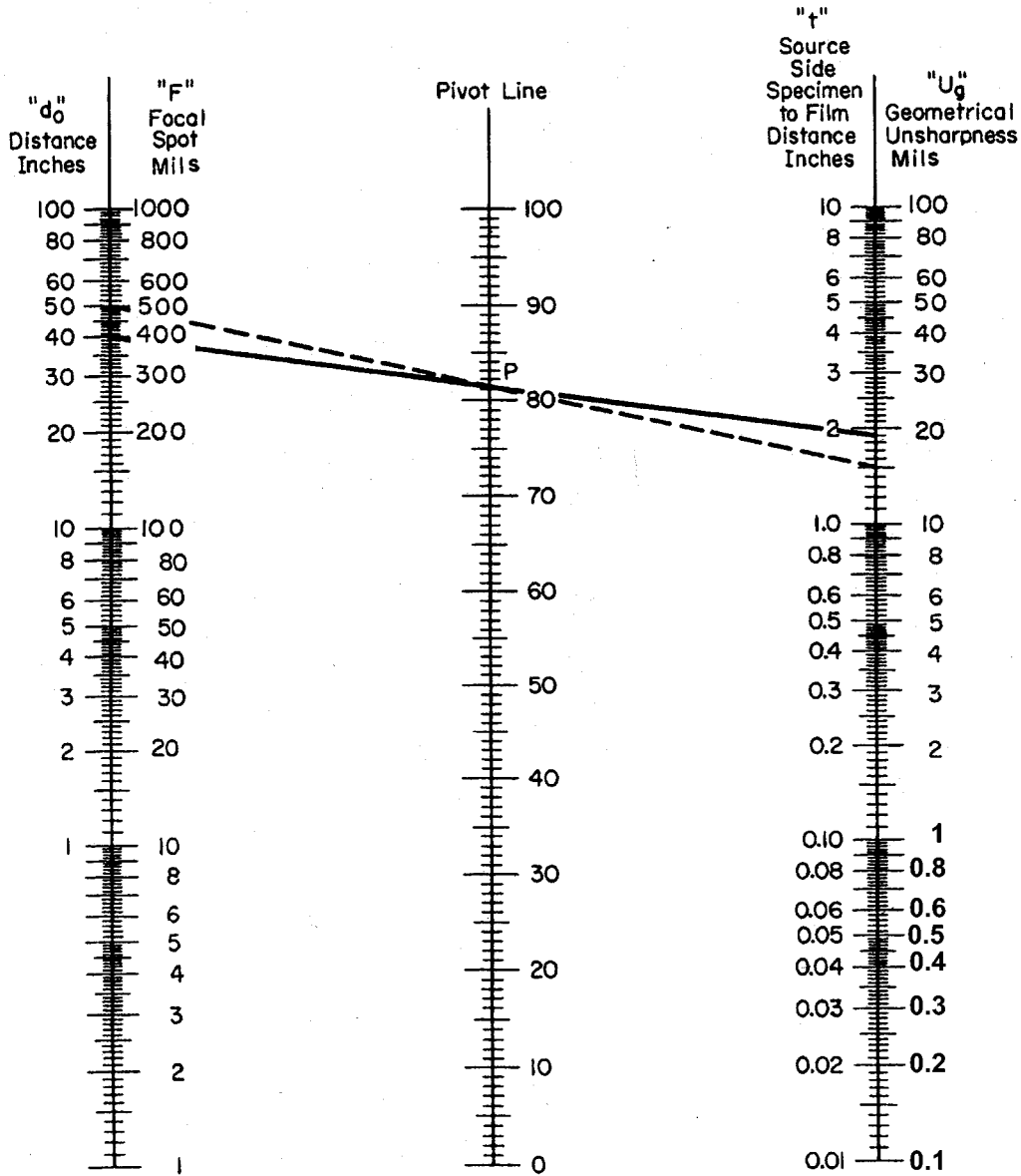


FIG. 3 Nomogram for Determining Geometrical Unsharpness (Inch-Pound Units)

15. Radiographic Distortion

15.1 The radiographic image of an object or feature within an object may be larger or smaller than the object or feature itself, because the penumbra of the shadow is rarely visible in a radiograph. Therefore, the image will be larger if the object or feature is larger than the source of radiation, and smaller if object or feature is smaller than the source. The degree of reduction or enlargement will depend on the source-to-object and object-to-film distances, and on the relative sizes of the source and the object or feature (Fig. 2(b) and (c)).

15.2 The direction of the central beam of radiation should be perpendicular to the surface of the film whenever possible. The object image will be distorted if the film is not aligned perpendicular to the central beam. Different parts of the object image will be distorted different amount depending on the extent of the film to central beam offset (Fig. 2(d)).

16. Exposure Calculations or Charts

16.1 Development or procurement of an exposure chart or calculator is the responsibility of the individual laboratory.

16.2 The essential elements of an exposure chart or calculator must relate the following:

- 16.2.1 Source or machine,
- 16.2.2 Material type,
- 16.2.3 Material thickness,
- 16.2.4 Film type (relative speed),
- 16.2.5 Film density, (see Note 5),
- 16.2.6 Source or source to film distance,
- 16.2.7 Kilovoltage or isotope type,

NOTE 5—For detailed information on film density and density measurement calibration, see Practice E 1079.

- 16.2.8 Screen type and thickness,

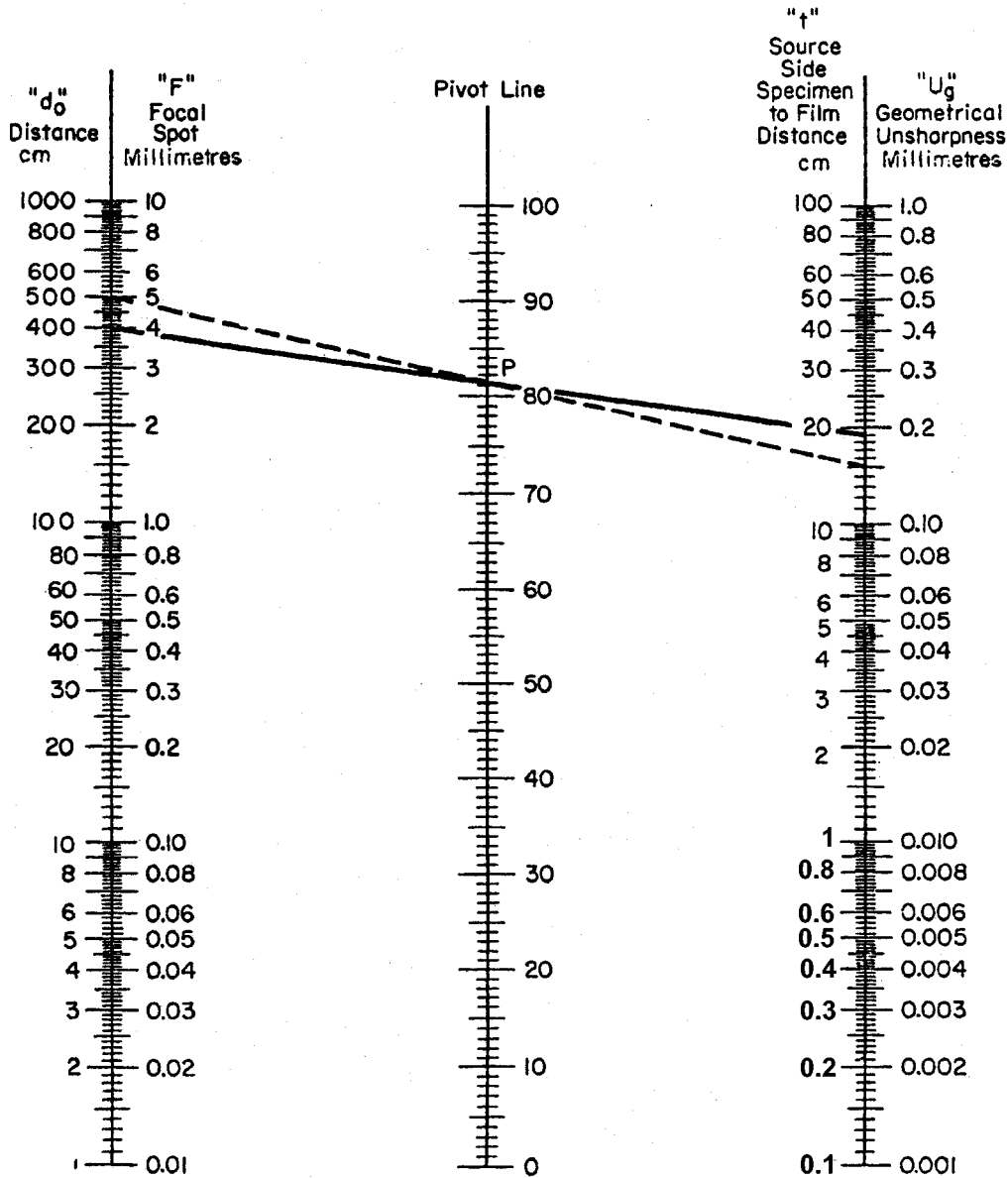


FIG. 4 Nomogram for Determining Geometrical Unsharpness (Metric Units)

- 16.2.9 Curies or milliamperes/minutes,
 - 16.2.10 Time of exposure,
 - 16.2.11 Filter (in the primary beam),
 - 16.2.12 Time-temperature development for hand processing; access time for automatic processing; time-temperature development for dry processing, and
 - 16.2.13 Processing chemistry brand name, if applicable.
- 16.3 The essential elements listed in 16.2 will be accurate for isotopes of the same type, but will vary with X-ray equipment of the same kilovoltage and milliamperage rating.
- 16.4 Exposure charts should be developed for each X-ray machine and corrected each time a major component is replaced, such as the X-ray tube or high-voltage transformer.
- 16.5 The exposure chart should be corrected when the processing chemicals are changed to a different manufacturer's brand or the time-temperature relationship of the processor

may be adjusted to suit the exposure chart. The exposure chart, when using a dry processing method, should be corrected based upon the time-temperature changes of the processor.

17. Technique File

- 17.1 It is recommended that a radiographic technique log or record containing the essential elements be maintained.
- 17.2 The radiographic technique log or record should contain the following:
- 17.2.1 Description, photo, or sketch of the test object illustrating marker layout, source placement, and film location.
 - 17.2.2 Material type and thickness,
 - 17.2.3 Source to film distance,
 - 17.2.4 Film type,
 - 17.2.5 Film density, (see Note 5),
 - 17.2.6 Screen type and thickness,

- 17.2.7 Isotope or X-ray machine identification,
- 17.2.8 Curie or milliamperere minutes,
- 17.2.9 IQI and shim thickness,
- 17.2.10 Special masking or filters,
- 17.2.11 Collimator or field limitation device,
- 17.2.12 Processing method, and
- 17.2.13 View or location.

17.3 The recommendations of 17.2 are not mandatory, but are essential in reducing the overall cost of radiography, and serve as a communication link between the radiographic interpreter and the radiographic operator.

18. Penetrimeters (Image Quality Indicators)

18.1 Practices E 747, E 801, E 1025, and E 1742 should be consulted for detailed information on the design, manufacture and material grouping of IQI's. Practice E 801 addresses IQI's for examination of electronic devices and provides additional details for positioning IQI's, number of IQI's required, and so forth.

18.2 Test Methods E 746 and E 1735 should be consulted for detailed information regarding IQI's which are used for determining relative image quality response of industrial film. The IQI's can also be used for measuring the image quality of the radiographic system or any component of the systems equivalent penetrimeter sensitivity (EPS) performance.

18.2.1 An example for determining and EPS performance evaluation of several X-ray machines is as follows:

18.2.1.1 Keep the film and film processing parameters constant, and take multiple image quality exposures with all machines being evaluated. The machines should be set for a prescribed exposure as stated in the standard and the film density equalized. By comparison of the resultant films, the relative EPS variations between the machines can be determined.

18.2.2 Exposure condition variables may also be studied using this plaque.

18.2.3 While Test Method E 746 plaque can be useful in quantifying relative radiographic image quality, these other applications of the plaque may be useful.

19. Identification of and Location Markers on Radiographs

19.1 Identification of Radiographs:

19.1.1 Each radiograph must be identified uniquely so that there is a permanent correlation between the part radiographed and the film. The type of identification and method by which identification is achieved shall be as agreed upon between the customer and inspector.

19.1.2 The minimum identification should at least include the following: the radiographic facility's identification and name, the date, part number and serial number, if used, for unmistakable identification of radiographs with the specimen. The letter *R* should be used to designate a radiograph of a repair area, and may include – 1, – 2, etc., for the number of repair.

19.2 Location Markers:

19.2.1 Location markers (that is, lead or high-atomic number metals or letters that are to appear as images on the radiographic film) should be placed on the part being exam-

ined, whenever practical, and not on the cassette. Their exact locations should also be marked on the surface of the part being radiographed, thus permitting the area of interest to be located accurately on the part, and they should remain on the part during radiographic inspection. Their exact location may be permanently marked in accordance with the customer's requirements.

19.2.2 Location markers are also used in assisting the radiographic interpreter in marking off defective areas of components, castings, or defects in weldments; also, sorting good and rejectable items when more than one item is radiographed on the same film.

19.2.3 Sufficient markers must be used to provide evidence on the radiograph that the required coverage of the object being examined has been obtained, and that overlap is evident, especially during radiography of weldments and castings.

19.2.4 Parts that must be identified permanently may have the serial numbers or section numbers, or both, stamped or written upon them with a marking pen with a special indelible ink, engraved, die stamped, or etched. In any case, the part should be marked in an area not to be removed in subsequent fabrication. If die stamps are used, caution is required to prevent breakage or future fatigue failure. The lowest stressed surface of the part should be used for this stamping. Where marking or stamping of the part is not permitted for some reason, a marked reference drawing or shooting sketch is recommended.

20. Storage of Film

20.1 Unexposed films should be stored in such a manner that they are protected from the effects of light, pressure, excessive heat, excessive humidity, damaging fumes or vapors, or penetrating radiation. Film manufacturers should be consulted for detailed recommendations on film storage. Storage of film should be on a "first in," "first out" basis.

20.2 More detailed information on film storage is provided in Guide E 1254.

21. Safelight Test

21.1 Films should be handled under safelight conditions in accordance with the film manufacturer's recommendations. ANSI PH2.22 can be used to determine the adequacy of safelight conditions in a darkroom.

22. Cleanliness and Film Handling

22.1 Cleanliness is one of the most important requirements for good radiography. Cassettes and screens must be kept clean, not only because dirt retained may cause exposure or processing artifacts in the radiographs, but because such dirt may also be transferred to the loading bench, and subsequently to other film or screens.

22.2 The surface of the loading bench must be kept clean. Where manual processing is used cleanliness will be promoted by arranging the darkroom with processing facilities on one side and film-handling facilities on the other. The darkroom will then have a wet side and a dry side and the chance of chemical contamination of the loading bench will be relatively slight.

22.3 Films should be handled only at their edges, and with dry, clean hands to avoid finger marks on film surfaces.

22.4 Sharp bending, excessive pressure, and rough handling of any kind must be avoided.

23. Film Processing, General

23.1 To produce a satisfactory radiograph, the care used in making the exposure *must* be followed by equal care in processing. The most careful radiographic techniques can be nullified by incorrect or improper darkroom procedures.

23.2 Sections 24–26 provide general information for film processing. Detailed information on film processing is provided in Guide E 999.

24. Automatic Processing

24.1 *Automatic Processing*—The essence of the automatic processing system is control. The processor maintains the chemical solutions at the proper temperature, agitates and replenishes the solutions automatically, and transports the films mechanically at a carefully controlled speed throughout the processing cycle. Film characteristics must be compatible with processing conditions. It is, therefore, essential that the recommendations of the film, processor, and chemical manufacturers be followed.

24.2 *Automatic Processing, Dry*—The essence of dry automatic processing is the precise control of development time and temperature which results in reproducibility of radiographic density. Film characteristics must be compatible with processing conditions. It is, therefore, essential that the recommendations of the film and processor manufacturers be followed.

25. Manual Processing

25.1 Film and chemical manufacturers should be consulted for detailed recommendations on manual film processing. This section outlines the steps for one acceptable method of manual processing.

25.2 *Preparation*—No more film should be processed than can be accommodated with a minimum separation of ½ in. [12.7 mm]. Hangers are loaded and solutions stirred before starting development.

25.3 *Start of Development*—Start the timer and place the films into the developer tank. Separate to a minimum distance of ½ in. [12.7 mm] and agitate in two directions for about 15 s.

25.4 *Development*—Normal development is 5 to 8 min at 68°F [20°C]. Longer development time generally yields faster film speed and slightly more contrast. The manufacturer's recommendation should be followed in choosing a development time. When the temperature is higher or lower, development time must be changed. Again, consult manufacturer-recommended development time versus temperature charts. Other recommendations of the manufacturer to be followed are replenishment rates, renewal of solutions, and other specific instructions.

25.5 *Agitation*—Shake the film horizontally and vertically, ideally for a few seconds each minute during development. This will help film develop evenly.

25.6 *Stop Bath or Rinse*—After development is complete, the activity of developer remaining in the emulsion should be neutralized by an acid stop bath or, if this is not possible, by rinsing with vigorous agitation in clear water. Follow the film manufacturer's recommendation of stop bath composition (or length of alternative rinse), time immersed, and life of bath.

25.7 *Fixing*—The films must not touch one another in the fixer. Agitate the hangers vertically for about 10 s and again at the end of the first minute, to ensure uniform and rapid fixation. Keep them in the fixer until fixation is complete (that is, at least twice the clearing time), but not more than 15 min in relatively fresh fixer. Frequent agitation will shorten the time of fixation.

25.8 *Fixer Neutralizing*—The use of a hypo eliminator or fixer neutralizer between fixation and washing may be advantageous. These materials permit a reduction of both time and amount of water necessary for adequate washing. The recommendations of the manufacturers as to preparation, use, and useful life of the baths should be observed rigorously.

25.9 *Washing*—The washing efficiency is a function of wash water, its temperature, and flow, and the film being washed. Generally, washing is very slow below 60°F [16°C]. When washing at temperatures above 85°F [30°C], care should be exercised not to leave films in the water too long. The films should be washed in batches without contamination from new film brought over from the fixer. If pressed for capacity, as more films are put in the wash, partially washed film should be moved in the direction of the inlet.

25.9.1 The cascade method of washing uses less water and gives better washing for the same length of time. Divide the wash tank into two sections (may be two tanks). Put the films from the fixer in the outlet section. After partial washing, move the batch of film to the inlet section. This completes the wash in fresh water.

25.9.2 For specific washing recommendations, consult the film manufacturer.

25.10 *Wetting Agent*—Dip the film for approximately 30 s in a wetting agent. This makes water drain evenly off film which facilitates quick, even drying.

25.11 *Residual Fixer Concentrations*—If the fixing chemicals are not removed adequately from the film, they will in time cause staining or fading of the developed image. Residual fixer concentrations permissible depend upon whether the films are to be kept for commercial purposes (3 to 10 years) or must be of archival quality. Archival quality processing is desirable for all radiographs whenever average relative humidity and temperature are likely to be excessive, as is the case in tropical and subtropical climates. The method of determining residual fixer concentrations may be ascertained by reference to ANSI PH4.8, PH1.28, and PH1.41.

25.12 *Drying*—Drying is a function of (1) film (base and emulsion); (2) processing (hardness of emulsion after washing, use of wetting agent); and (3) drying air (temperature, humidity, flow). Manual drying can vary from still air drying at ambient temperature to as high as 140°F [60°C] with air circulated by a fan. Film manufacturers should again be contacted for recommended drying conditions. Take precaution to tighten film on hangers, so that it cannot touch in the dryer.

Too hot a drying temperature at low humidity can result in uneven drying and should be avoided.

26. Testing Developer

26.1 It is desirable to monitor the activity of the radiographic developing solution. This can be done by periodic development of film strips exposed under carefully controlled conditions, to a graded series of radiation intensities or time, or by using a commercially available strip carefully controlled for film speed and latent image fading.

27. Viewing Radiographs

27.1 Guide E 1390 provides detailed information on requirements for illuminators. The following sections provide general information to be considered for use of illuminators.

27.2 *Transmission*—The illuminator must provide light of an intensity that will illuminate the average density areas of the radiographs without glare and it must diffuse the light evenly over the viewing area. Commercial fluorescent illuminators are satisfactory for radiographs of moderate density; however, high light intensity illuminators are available for densities up to 3.5 or 4.0. Masks should be available to exclude any extraneous light from the eyes of the viewer when viewing radiographs smaller than the viewing port or to cover low-density areas.

27.3 *Reflection*—Radiographs on a translucent or opaque backing may be viewed by reflected light. It is recommended that the radiograph be viewed under diffuse lighting conditions to prevent excess glare. Optical magnification can be used in certain instances to enhance the interpretation of the image.

28. Viewing Room

28.1 Subdued lighting, rather than total darkness, is preferable in the viewing room. The brightness of the surroundings should be about the same as the area of interest in the radiograph. Room illumination must be so arranged that there are no reflections from the surface of the film under examination.

29. Storage of Processed Radiographs

29.1 Guide E 1254 provides detailed information on controls and maintenance for storage of radiographs and unexposed film. The following sections provide general information for storage of radiographs.

29.2 Envelopes having an edge seam, rather than a center seam, and joined with a nonhygroscopic adhesive, are pre-

ferred, since occasional staining and fading of the image is caused by certain adhesives used in the manufacture of envelopes (see ANSI PH1.53).

30. Records

30.1 It is recommended that an inspection log (a log may consist of a card file, punched card system, a book, or other record) constituting a record of each job performed, be maintained. This record should comprise, initially, a job number (which should appear also on the films), the identification of the parts, material or area radiographed, the date the films are exposed, and a complete record of the radiographic procedure, in sufficient detail so that any radiographic techniques may be duplicated readily. If calibration data, or other records such as card files or procedures, are used to determine the procedure, the log need refer only to the appropriate data or other record. Subsequently, the interpreter's findings and disposition (acceptance or rejection), if any, and his initials, should also be entered for each job.

31. Reports

31.1 When written reports of radiographic examinations are required, they should include the following, plus such other items as may be agreed upon:

31.1.1 Identification of parts, material, or area.

31.1.2 Radiographic job number.

31.1.3 Findings and disposition, if any. This information can be obtained directly from the log.

32. Identification of Completed Work

32.1 Whenever radiography is an inspective (rather than investigative) operation whereby material is accepted or rejected, all parts and material that have been accepted should be marked permanently, if possible, with a characteristic identifying symbol which will indicate to subsequent or final examiners the fact of radiographic acceptance.

32.2 Whenever possible, the completed radiographs should be kept on file for reference. The custody of radiographs and the length of time they are preserved should be agreed upon between the contracting parties.

33. Keywords

33.1 exposure calculations; film system; gamma-ray; image quality indicator (IQI); radiograph; radiographic examination; radiographic quality level; technique file; X-ray

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. USE OF FLUORESCENT SCREENS

X1.1 *Description*—Fluorescent intensifying screens have a cardboard or plastic support coated with a uniform layer of inorganic phosphor (crystalline substance). The support and phosphor are held together by a radiotransparent binding material. Fluorescent screens derive their name from the fact that their phosphor crystals “fluoresce” (emit visible light) when struck by X or gamma radiation. Some phosphors like calcium tungstate (CaWO_4) give off blue light while others known as rare earth emit light green.

X1.2 *Purpose and Film Types*—Fluorescent screen exposures are usually much shorter than those made without screens or with lead intensifying screens, because radiographic films generally are more responsive to visible light than to direct X-radiation, gamma radiation, and electrons.

X1.2.1 Films fall into one of two categories: non-screen type film having moderate light response, and screen type film specifically sensitized to have a very high blue or green light response. Fluorescent screens can reduce conventional exposures by as much as 150 times, depending on film type.

X1.3 *Image Quality and Use*—The image quality associated with fluorescent screen exposures is a function of sharpness, mottle, and contrast. Screen sharpness depends on phosphor crystal size, thickness of the crystal layer, and the reflective base coating. Each crystal emits light relative to its size and in all directions thus producing a relative degree of image unsharpness. To minimize this unsharpness, screen to film contact should be as intimate as possible. Mottle adversely affects image quality in two ways. First, a “quantum” mottle is dependent upon the amount of X or gamma radiation actually absorbed by the fluorescent screen, that is, faster screen/film systems lead to greater mottle and poorer image quality. A “structural” mottle, which is a function of crystal size, crystal

uniformity, and layer thickness, is minimized by using screens having small, evenly spaced crystals in a thin crystalline layer. Fluorescent screens are highly sensitive to longer wavelength scattered radiation. Consequently, to maximize contrast when this non-image forming radiation is excessive, fluoromaterial intensifying screens or fluorescent screens backed by lead screens of appropriate thickness are recommended. Screen technology has seen significant advances in recent years, and today’s fluorescent screens have smaller crystal size, more uniform crystal packing, and reduced phosphor thickness. This translates into greater screen/film speed with reduced unsharpness and mottle. These improvements can represent some meaningful benefits for industrial radiography, as indicated by the three examples as follows:

X1.3.1 *Reduced Exposure (Increased Productivity)*—There are instances when prohibitively long exposure times make conventional radiography impractical. An example is the inspection of thick, high atomic number materials with low curie isotopes. Depending on many variables, exposure time may be reduced by factors ranging from $2\times$ to $105\times$ when the appropriate fluorescent screen/film combination is used.

X1.3.2 *Improved Safety Conditions (Field Sites)*—Because fluorescent screens provide reduced exposure, the length of time that non-radiation workers must evacuate a radiographic inspection site can be reduced significantly.

X1.3.3 *Extended Equipment Capability*—Utilizing the speed advantage of fluorescent screens by translating it into reduced energy level. An example is that a 150 kV X-ray tube may do the job of a 300 kV tube, or that iridium 192 may be used in applications normally requiring cobalt 60. It is possible for overall image quality to be better at the lower kV with fluorescent screens than at a higher energy level using lead screens.

BIBLIOGRAPHY ON INDUSTRIAL RADIOGRAPHY

For conciseness, this bibliography has been limited to books and specifically to books in English published after 1950.

- (1) Clark, G. L., *Applied X-Rays*, 4th ed., McGraw Hill Book Co., Inc., New York, 1955.
- (2) Clauser, H. R., *Practical Radiography for Industry*, Reinhold Publishing Corp., New York, 1952.
- (3) Hogarth, C. A., and Blitz, J. (Editors), *Techniques of Nondestructive Testing*, Butte Worth and Co., Ltd., London, 1960.
- (4) McMaster, R. C. (Editor), *Nondestructive Testing Handbook*, The Ronald Press, New York, 1960.
- (5) Morgan, R. H., and Corrigan, K. E. (Editors), *Handbook of Radiology*, The Year Book Publishers, Inc., Chicago, 1955.
- (6) Reed, M. E., *Cobalt-60 Radiography in Industry*, Tracer-lab, Inc., Boston, 1954.
- (7) Robertson, J. K., *Radiology Physics*, 3rd ed., D. Van Nostrand Company, New York, 1956.
- (8) Weyl, C., and Warren, S. R., *Radiologic Physics*, 2nd ed., Charles C. Thomas, Springfield, IL, 1951.
- (9) Wilshire, W. J. (Editor), *A Further Handbook of Industrial Radiology*, Edward Arnold and Company, London, 1957.
- (10) McGonnagle, W. J., *Nondestructive Testing*, McGraw Hill Book Co., Inc., New York, 1961.
- (11) *Handbook on Radiography*, Revised edition, Atomic Energy of Canada Ltd. Ottawa, Ont., 1950.
- (12) *Papers on Radiography, ASTM STP 96*, ASTM, 1950.
- (13) *Symposium on the Role of Nondestructive Testing in the Economics of Production, ASTM STP 112*, ASTM, 1951.
- (14) *Radioisotope Technique*, Vol II, H. M. Stationery Office, London, 1952.

- (15) *Symposium on Nondestructive Testing*, ASTM STP 145, ASTM, 1953.
- (16) *Memorandum on Gamma-Ray Sources for Radiography*, Revised edition, Institute of Physics, London, 1954.
- (17) *Papers on Nondestructive Testing*, see *Proceedings*, ASTM, Vol 54, 1954.
- (18) *Radiography in Modern Industry* (3rd edition), Eastman Kodak Co., Rochester, NY, 1969.
- (19) *Symposium on Nondestructive Tests in the Field of Nuclear Energy*, ASTM STP 223, ASTM, 1958.
- (20) *Radiographer's Reference* (3rd edition), E. I. du Pont de Nemours & Co., Inc., Wilmington, DE, 1974 (or latest revision).

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).



Standard Practice for Ultrasonic Pulse-Echo Straight-Beam Examination by the Contact Method¹

This standard is issued under the fixed designation E 114; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This practice² covers ultrasonic examination of materials by the pulse-echo method using straight-beam longitudinal waves introduced by direct contact of the search unit with the material being examined.

1.2 This practice shall be applicable to development of an examination procedure agreed upon by the users of the document.

1.3 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

E 317 Practice for Evaluating Performance Characteristics of Ultrasonic Pulse-Echo Examination Systems Without the Use of Electronic Measurement Instruments³

E 543 Practice for Agencies Performing Nondestructive Testing³

E 1316 Terminology for Nondestructive Examinations³

2.2 ASNT Standards:

SNT-TC-1A Recommended Practice for Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing⁴

ANSI/ASNT CP-189 ASNT Standard for Qualification and Certification of Nondestructive Testing Personnel⁴

2.3 Other Documents:

NAS-410 NAS Certification & Qualification of Nondestructive Test Personnel⁵

3. Terminology

3.1 Refer to Terminology E 1316 for definitions of terms used in this practice.

4. Basis of Application

4.1 Purchaser-Supplier Agreements:

The following items require agreement between the using parties for this practice to be used effectively:

4.1.1 *Qualification of Nondestructive Testing Agencies*—Agreement is required as to whether the nondestructive testing agency, as defined in Practice E 543 must be formally evaluated and qualified to perform the examination. If such evaluation and qualification is specified, a documented procedure such as Practice E 543 shall be used as the basis for evaluation.

4.1.2 *Personnel Qualification*—Nondestructive testing (NDT) personnel shall be qualified in accordance with a nationally recognized NDT personnel qualification practice or standard such as ANSI/ASNT-CP-189, SNT-TC-1A, NAS-410, or a similar document. The practice or standard used and its applicable revision shall be specified in the contractual agreement between the using parties.

4.1.3 *Extent of Examination*—The extent of the examination shall be determined by agreement of the using parties.

4.1.4 *Time of Examination*—The time of examination shall be determined by agreement of the using parties.

4.1.5 *Interpretation Criteria*—The criteria by which the ultrasonic signals and part acceptability will be evaluated and shall be determined by agreement of the using parties.

5. Significance and Use

5.1 A series of electrical pulses is applied to a piezoelectric element (transducer) which converts these pulses to mechanical energy in the form of pulsed waves at a nominal frequency. This transducer is mounted in a holder so it can transmit the

¹ This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee E07 on Nondestructive Testing and is the direct responsibility of Subcommittee E07.06 on Ultrasonic Method.

Current edition approved May 15, 1995. Published July 1995. Originally published as E 114 – 55 T. Last previous edition E 114 – 90.

² For ASME Boiler and Pressure Vessel Code applications see related Practice SE-114 in Section II of that Code.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.03.

⁴ Available from American Society for Nondestructive Testing, 1711 Arlington Plaza, P.O. Box 28518, Columbus, OH 43228-0518.

⁵ Available from Aerospace Industries Association of America, 1250 Eye Street, N.W., Suite 1200, Washington, D.C. 20005-3924 .

waves into the material through a suitable wear surface and couplant. The assembly of transducer, holder, wearface, and electrical connector comprise the search unit.

5.2 Pulsed energy is transmitted into materials, travels in a direction normal to the contacted surface, and is reflected back to the search unit by discontinuity or boundary interfaces which are parallel or near parallel to the contacted surface. These echoes return to the search unit, where they are converted from mechanical to electrical energy and are amplified by a receiver. The amplified echoes (signals) are usually presented in an A-scan display, such that the entire round trip of pulsed energy within the resolution of the system may be indicated along the horizontal base line of the display by vertical deflections corresponding to echo amplitudes from each interface, including those from intervening discontinuities. By adjustment of the sweep (range) controls, this display can be expanded or contracted to obtain a designated relation between the displayed signals and the material reflectors from which the signal originates. Thus a scaled distance to a discontinuity and its displayed signal becomes a true relationship. By comparison of the displayed discontinuity signal amplitudes to those from a reference standard, both location and estimated discontinuity size may be determined. Discontinuities having dimensions exceeding the size of the sound beam can also be estimated by determining the amount of movement of a search unit over the examination surface where a discontinuity signal is maintained.

NOTE 1—When determining the sizes of discontinuities by either of these two practices, only the area of the discontinuity which reflects energy to the search unit is determined.

5.3 Types of information that may be obtained from the pulsed-echo straight-beam practice are as follows:

5.3.1 Apparent discontinuity size (Note 2) by comparison of the signal amplitudes from the test piece to the amplitudes obtained from a reference standard.

5.3.2 Depth location of discontinuities by calibrating the horizontal scale of the A-scan display.

5.3.3 Material properties as indicated by the relative sound attenuation or velocity changes of compared items.

5.3.4 The extent of bond and unbond (or fusion and lack of fusion) between two ultrasonic conducting materials if geometry and materials permit.

NOTE 2—The term “apparent” is emphasized since true size depends on orientation, composition, and geometry of the discontinuity and equipment limitations.

6. Apparatus

6.1 Complete ultrasonic apparatus shall include the following:

6.1.1 *Instrumentation*—The ultrasonic instrument shall be capable of generating, receiving, and amplifying high-frequency electrical pulses at such frequencies and energy levels required to perform a meaningful examination and to provide a suitable readout.

6.1.2 *Search Units*—The ultrasonic search units shall be capable of transmitting and receiving ultrasound in the material at the required frequencies and energy levels necessary for discontinuity detection. Typical search unit sizes usually range

from 1/8 in. (3.2 mm) in diameter to 1 1/8 in. (28.6 mm) in diameter with both smaller and larger sizes available for specific applications. Search units may be fitted with special shoes for appropriate applications. Special search units encompassing both a transmitter and a receiver as separate piezoelectric elements can be utilized to provide some degree of improved resolution near the examination surface.

6.1.3 *Couplant*—A couplant, usually a liquid or semi-liquid, is required between the face of the search unit and the examination surface to permit or improve the transmittance of ultrasound from the search unit into the material under test. Typical couplants include water, cellulose gel, oil, and grease. Corrosion inhibitors or wetting agents or both may be used. Couplants must be selected that are not detrimental to the product or the process. The couplant used in standardization should be used for the examination. During the performance of a contact ultrasonic examination, the couplant layer between search unit and examination material must be maintained such that the contact area is held constant while maintaining adequate couplant thickness. Lack of couplant reducing the effective contact area or excess couplant thickness will reduce the amount of energy transferred between the search unit and the examination piece. These couplant variations in turn result in examination sensitivity variations.

6.1.3.1 The couplant should be selected so that its viscosity is appropriate for the surface finish of the material to be examined. The examination of rough surfaces generally requires a high-viscosity couplant. The temperature of the material’s surface can change the couplant’s viscosity. As an example, in the case of oil and greases, see Table 1.

6.1.3.2 At elevated temperatures as conditions warrant, heat-resistant coupling materials such as silicone oils, gels, or greases should be used. Further, intermittent contact of the search unit with the surface or auxiliary cooling of the search unit may be necessary to avoid temperature changes that affect the ultrasonic wave characteristics of the search unit. At higher temperatures, certain couplants based on inorganic salts or thermoplastic organic materials, high-temperature delay materials, and search units that are not damaged by high temperatures may be required.

6.1.3.3 Where constant coupling over large areas is needed, as in automated examination, or where severe changes in surface roughness are found, other couplants such as liquid gap coupling will usually provide a better examination. In this case, the search unit does not contact the examination surface but is separated by a distance of about 0.2 in. (0.5 mm) filled with

TABLE 1 Suggested Viscosities—Oil Couplants

NOTE 1—The table is a guide only and is not meant to exclude the use of a particular couplant that is found to work satisfactorily on a particular surface.

Approximate Surface Roughness Average (Ra), $\mu\text{in.}$ (μm)	Equivalent Couplant Viscosity, Weight Motor Oil
5–100 (0.1–2.5)	SAE 10
50–200 (1.3–5.1)	SAE 20
100–400 (2.5–10.2)	SAE 30
250–700 (6.4–17.8)	SAE 40
Over 700 (18–)	cup grease

couplant. Liquid flowing through the search unit fills the gap. The flowing liquid provides the coupling path and has the additional advantage of cooling the search unit if the examination surface is hot.

6.1.3.4 An alternative means of direct contact coupling is provided by the wheel search unit. The search unit is mounted at the required angle to a stationary axle about which rotates a liquid-filled flexible tire. A minimum amount of couplant provides ultrasonic transmission into the examination surface since the elastic tire material is in rolling contact and conforms closely to the surface.

6.1.4 *Reference Standards*—The production item itself may be an adequate standard using the height of the back wall echo for reference. For more quantitative information, machined artificial reflectors (discontinuities) or charts representing distance-amplitude relationships of known reflector sizes for a particular search unit and material may be used for standardization. These artificial reflectors may be in the form of flat-bottom holes, side-drilled holes, or slots. An alternate method of fabricating a reference standard may be the introduction of known discontinuities during the fabrication process of a production item or other convenient configuration. The surface finish of the reference standard should be similar to the surface finish of the production item (or corrected; see 7.3). The reference standard material and the production material should be acoustically similar (in velocity and attenuation). The reference standard selected shall be used by the examiner as the basis for signal comparisons.

7. Standardization of Apparatus

7.1 If quantitative information is to be obtained, vertical or horizontal linearity or both should be checked in accordance with Practice E 317 or another procedure approved by the users of the document. An acceptable linearity performance may be agreed upon by the users of the document.

7.2 Prior to examination, standardize the system in accordance with the product specification.

7.3 Where the surface finishes of the reference standard and the production item do not match, or where there is an acoustic difference between the standard and the production item, an attenuation correction should be made to compensate for the difference. The attenuation correction is accomplished by noting the difference between signals received from the same reference reflector (that is, back reflection) in the basic standardization (reference) block and in the production material, and correcting for this difference.

7.4 It should be recognized that near-field effects may cause sensitivity inconsistencies when searching for inhomogeneities smaller than the effective beam diameter. Suitable delay line search units or other means such as examining from both sides of the item may be considered where the application warrants fine scrutiny. When performing examinations in the far-field, it is recommended that compensation be made for the acoustic attenuation of the test material with respect to a certain reference standard. This compensation may be accomplished with multiple depth reference reflectors, electronically, with attenuation curves drawn on the face of the A-scan display, or with charts for distance-amplitude relationships of known

reflectors. For optimum examination performance, compensations should be made for both near and far-field effects.

7.5 Unless otherwise specified, the initial pulse and at least one back reflection shall appear on the A-scan display while examining for discontinuities in materials having parallel surfaces. The total number of back reflections depends upon equipment, geometry and material type, information desired, or operator preference. Reduction of the back reflection during scanning is indicative of increased attenuation or sound scattering discontinuities provided that front and back surface roughness and parallelism of the production piece are approximately the same as that of the standard. For non-parallel surfaces, the time trace of the display shall be standardized by using standards that include the maximum thickness of the production item being examined.

7.6 For bond/unbond (fusion/lack of fusion) examinations, a reference standard should be used similar to the production item being examined containing areas representing both bonded (fused) and unbonded (lack of fusion) conditions, if geometry and material permit.

7.7 Standardization with respect to reference standards should be periodically checked to ensure that the ultrasonic system standardization is not changing. As a minimum, the standardization shall be checked each time there is a change of operators, when search units are changed, when new batteries are installed, when equipment operating from one power source is changed to another power source, or when improper operation is suspected.

8. Procedure

8.1 When ultrasonic examinations are performed for the detection or sizing of discontinuities, or both, reflectors not perpendicular to the ultrasonic beam may be detected at reduced amplitudes, with a distorted envelope depending upon the reflector area, whether it is curved or planar, whether it is smooth or rough, perhaps with reflecting facets. Reflector characteristics may also cause rapid shifts in apparent depth as the search unit approaches or moves away from the low amplitude indication. Another effect of these reflectors is the loss of back reflection which occurs when the discontinuity lies directly between the search unit and the back surface. Reflectors detectable due to any of the foregoing phenomena cannot be sized solely on signal amplitude but require special corrections for search unit and flaw characteristics.

8.2 *Examination Surface*—Surfaces shall be uniform and free of loose scale and paint, discontinuities such as pits or gouges, weld splatter, dirt, or other foreign matter which affect examination results. Tightly adhering paint, scale, or coatings do not necessarily need to be removed for examining if they present uniform attenuation characteristics. The examination surface must be adequate to permit ultrasonic examination at the sensitivity specified. If needed, surfaces may be ground, sanded, wire brushed, scraped, or otherwise prepared for examining purposes. Curved surfaces, either concave or convex, may be examined; however, the standardization system should compensate for the effective change in search unit transmitting area between the reference standard and production item. If practical, the reference standard should have the same geometry as the item being examined.

8.3 *Search Unit*—Select a suitable search unit size and frequency after consideration of the acoustic characteristics of material to be examined, the geometry of the production item, and the minimum size and type of discontinuity to be detected. The higher the frequency selected, the higher the resolving capability accompanied with a decrease in penetrating power; conversely, the lower the frequency used, the greater the penetrating power with decreasing resolving capability. Factors limiting the use of higher frequencies are the equipment and the material properties. The limiting use of lower frequencies is the loss in sensitivity level for the examination. Various types of straight-beam search units are available offering advantages for specific applications. The above statements should be considered when choosing the search unit size, type, and frequency. When delay materials are used in the search unit, the standardization and examination surface temperatures should be within 25°F (14°C) to avoid large attenuation and velocity differences.

NOTE 3—The largest diameter and highest frequency search units yielding desired results should be used for maximum resolution and good beam directivity.

8.4 *Scanning*—Scanning may be either continuous or intermittent, depending upon the geometry, application, and requirements of the part being examined. For continuous scanning, the search unit indexing must be adequate to provide 100 % coverage, at uniform examination sensitivity, of the area being examined. Adjust scanning speed or instrument repetition rate or both to permit detection of the smallest discontinuities referenced in the specification and to allow the recording or signaling device to function.

8.4.1 *Manual Scanning*—Hold the search unit in the hand and move over the surface of the production piece.

8.4.2 *Automated Scanning*—The search unit is held by a suitable fixed device and either the production piece moves or is held stationary while the search unit moves mechanically along some predetermined path. For automated scanning, monitor coupling between the search unit and part either electronically or visually to ensure proper examination sensitivity.

8.5 During the evaluation of indications, maintain the same relative sensitivities between the reference standard and the production item. Make an evaluation of ultrasonic indications after response reflections from discontinuities are maximized by search unit manipulation. Map discontinuity extremities larger than the sound beam. A recommended method for mapping, on the surface of the production piece, the apparent size (that is, the reflecting surface seen by the search unit) of discontinuities larger than the search unit is by the half-amplitude method. Position the search unit over the discontinuity for maximum signal response and move in one direction until the signal drops rapidly to the base line on the A-scan

display. Then return the search unit to the position where the signal was half the amplitude that it had at the point where the indication began to drop rapidly to the base line. At this point the center of the search unit should approximately coincide with the edge of the discontinuity. Repeat this procedure for other directions as necessary to outline the discontinuity on the surface. Search units of other frequencies and sizes may be used for mapping to obtain greater accuracy. Special consideration should be given to discontinuities when the signal amplitude drops to half the maximum amplitude or less, and remains at the lower level over extended distances (for example, more than half the search unit diameter).

NOTE 4—For rounded surfaces, geometry must be considered when using this method.

9. Examination Data Record

9.1 The following data should be recorded as a minimum for future reference at the time of each examination:

- 9.1.1 Part number identification,
- 9.1.2 Operator's name and level (if certified),
- 9.1.3 Instrument description, make, model, and serial number,
- 9.1.4 Setup—Couplant, cable type and length, manual/automatic scanning,
- 9.1.5 Search unit description—Type, size, frequency, special shoes,
- 9.1.6 Reference standards (and standardization data required to duplicate the examination).
- 9.1.7 Indication information as specified by the applicable specification, or results of the examination (number, classification, and location of discontinuities). For bond/unbond (fusion/lack of fusion) examinations the extent of unbond (lack of fusion) or bond (fusion) should be reported.

10. Interpretation of Results


10.1 Advance agreement should be reached by users of this document as applicable regarding the interpretation of the results of the examinations and how they shall be recorded. All discontinuities having signals that exceed the rejection level as defined by the material specification, drawing, or purchase order shall be rejected unless it is determined from the machine part drawing that the rejectable discontinuities will not remain in the finished part.

11. Report

11.1 The report shall include the information agreed upon by users of this document.

12. Keywords

12.1 contact; examination; nondestructive testing; pulse-echo; straight-beam; ultrasonic

 **E 114 – 95 (2001)**

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).



Standard Reference Photographs for Liquid Penetrant Inspection¹

This standard is issued under the fixed designation E 433; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 These reference photographs are supplied as a means of establishing types and characteristics of surface discontinuities detectable by the penetrant examination methods. They may be used as a reference for acceptance standards, specifications and drawings.

1.2 Actual dimensions including maximum length of indications and number of indications per unit area must be specified by the users of this document. No attempt has been made to establish limits of acceptability or the metallurgical cause of a discontinuity.

NOTE 1—Examples of these reference photographs are shown in Figs. 1-8.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

E 165 Test Method for Liquid Penetrant Examination²

2.2 ASTM Adjuncts:

Reference Photographs for Penetrant Inspection³

3. Classifications

3.1 *Types*—For the purposes of this standard there are two types of indications, which are defined as follows:

3.1.1 *Type I Indications*—Those in which neither of the measurable dimensions is greater than three times the other.

3.1.2 *Type II Indications*—Those in which one of the measurable dimensions is at least three times greater than the other.

3.2 *Classes*—For purposes of this standard there are four classes of indications which are defined as follows:

- A. Single
- B. Multiple unaligned
- C. Multiple aligned
- D. Intersection of surfaces (threads, corners, fillets, etc.)

¹ These reference photographs are under the jurisdiction of ASTM Committee E07 on Nondestructive Testing and are the direct responsibility of Subcommittee E07.03 on Liquid Penetrant and Magnetic Particle Methods.

Current edition approved July 10, 2003. Published September 2003. Originally approved in 1971. Last previous edition approved in 1997 as E 433 – 71 (1997).

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.03.

³ Available from ASTM Headquarters. Order ADJE0433.

4. Identification

4.1 The types of discontinuity indications covered by these reference photographs are listed and described in Table 1. Each type of discontinuity indication is designated by a Roman numeral. The class of indication is designated by the letters A through D. Individual photographs within type and class are identified by numbers. Each reference photograph is, therefore, identified with the proper Roman numeral, letter, and number.

TABLE 1 Reference Photographs, Indication Types

Type	Class	Description	Fig. No.
I	A	single	I-A1, 2
	B	multiple unaligned	I-B1, 2, 3, 4
	C	multiple aligned	I-C1, 2
	D	intersection of surfaces (threads, corners, fillets, etc.)	I-D1
II	A	single	II-A1, 2, 3, 4
	B	multiple unaligned	II-B1, 2, 3
	C	multiple aligned	II-C1, 2, 3, 4
	D	intersection of surfaces (threads, corners, fillets, etc.)	II-D1, 2, 3, 4, 5

5. Method of Preparation

5.1 The reference photographs were reproduced from master photographs which are the property of ASTM. The photographs retain the original photographic contrast.

6. Basis for Use of Reference Photographs

6.1 These reference photographs are intended for use when specified in the inquiry, contract, order material specification, or applicable code, and when the severity is mutually agreed upon between the manufacturer and the purchaser. It is recognized that it is impossible to rigidly interpret indications from a set of photographic references. Consequently, there is a need for close cooperation between manufacturer and purchaser.

6.2 Zones of inspection and severity levels in each zone shall be shown on applicable drawings or otherwise specified. Unless otherwise specified all accessible surfaces shall be examined.

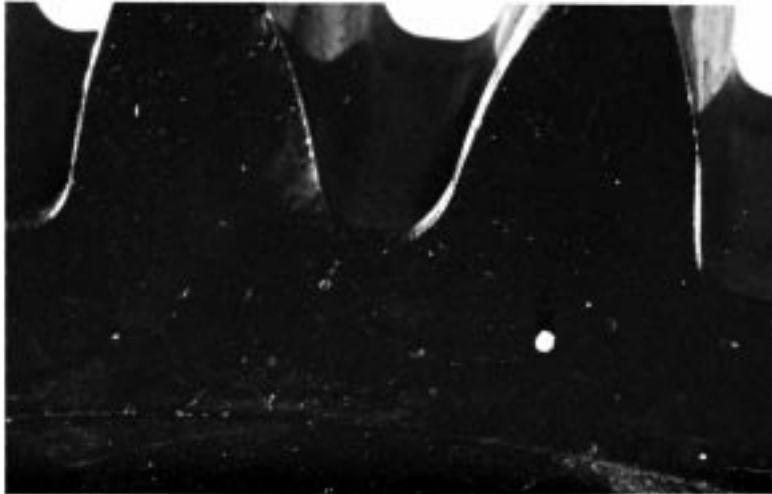


FIG. 1 Example of Type I, Class A, Indication

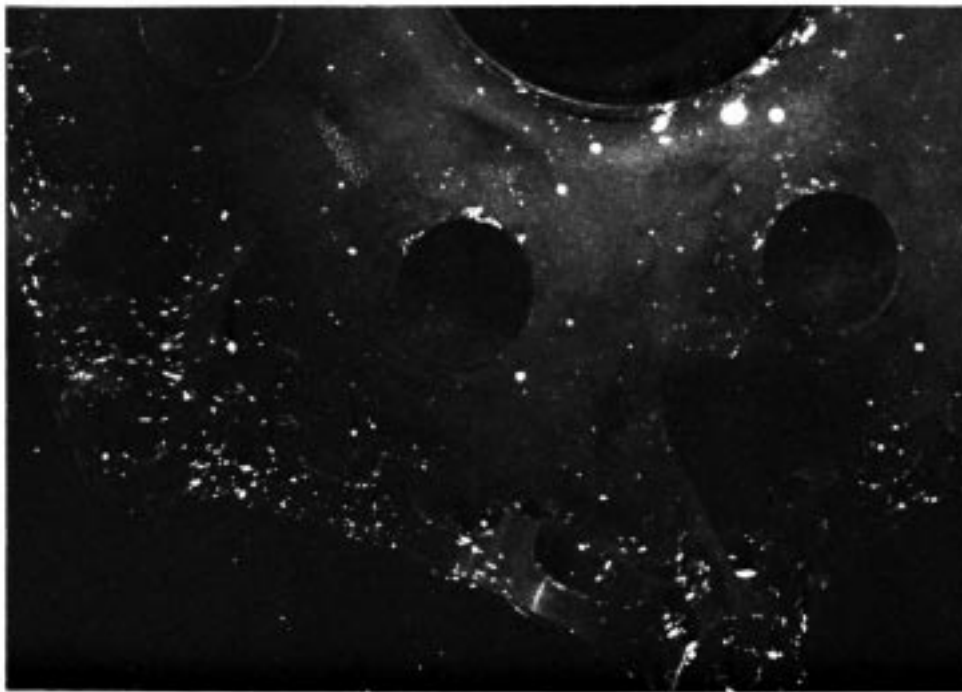


FIG. 2 Example of Type I, Class B, Indication

6.3 These reference photographs are intended to depict penetrant indications of surface discontinuities. They are not intended to indicate the depth of such discontinuities.

6.4 Applicable penetrant examination methods and techniques are described in the latest issue of Test Method E 165.

7. Keywords

7.1 discontinuities; liquid penetrant indications; liquid penetrant inspection; penetrant inspection; penetrant examination; photographs; reference photographs



FIG. 3 Example of Type I, Class C, Indication



FIG. 4 Example of Type I, Class D, Indication



FIG. 5 Example of Type II, Class A, Indication



FIG. 6 Example of Type II, Class B, Indication



FIG. 7 Example of Type II, Class C, Indication

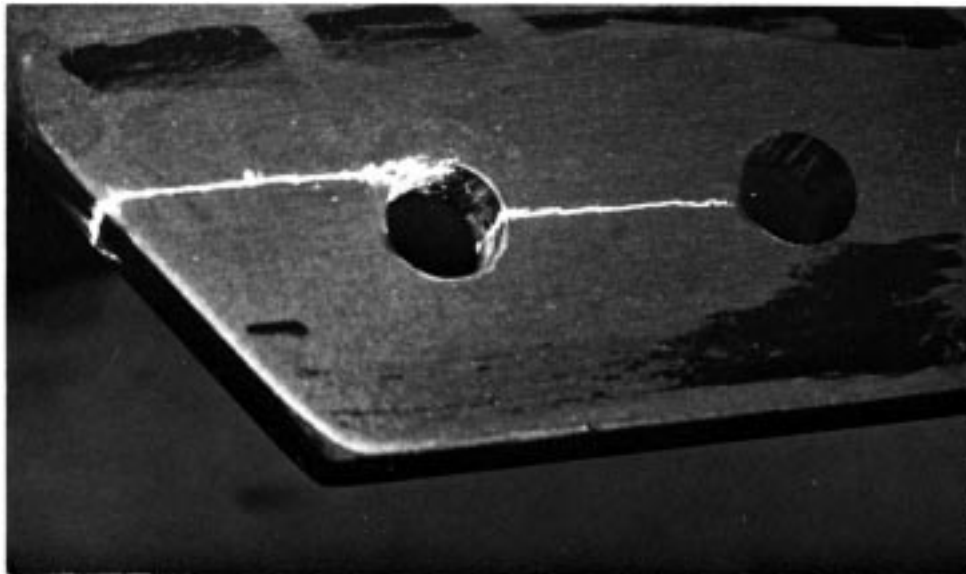


FIG. 8 Example of Type II, Class D, Indication

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).



Standard Practice for Strain-Controlled Fatigue Testing¹

This standard is issued under the fixed designation E 606; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This practice covers the determination of fatigue properties of nominally homogeneous materials by the use of uniaxially loaded test specimens. It is intended as a guide for fatigue testing performed in support of such activities as materials research and development, mechanical design, process and quality control, product performance, and failure analysis. While this practice is intended primarily for strain-controlled fatigue testing, some sections may provide useful information for load-controlled or stress-controlled testing.

1.2 The use of this practice is limited to specimens and does not cover testing of full-scale components, structures, or consumer products.

1.3 This practice is applicable to temperatures and strain rates for which the magnitudes of time-dependent inelastic strains are on the same order or less than the magnitudes of time-independent inelastic strains. No restrictions are placed on environmental factors such as temperature, pressure, humidity, medium, and others, provided they are controlled throughout the test, do not cause loss of or change in dimension with time, and are detailed in the data report.

NOTE 1—The term *inelastic* is used herein to refer to all nonelastic strains. The term *plastic* is used herein to refer only to the time-independent (that is, noncreep) component of inelastic strain. To truly determine a time-independent strain the load would have to be applied instantaneously, which is not possible. A useful engineering estimate of time-independent strain can be obtained when the strain rate exceeds some value. For example, a strain rate of $1 \times 10^{-3} \text{ sec}^{-1}$ is often used for this purpose. This value should increase with increasing test temperature.

1.4 This practice is restricted to the testing of axially loaded uniform gage section test specimens as shown in Fig. 1(a). Testing is limited to strain-controlled cycling. The practice may be applied to hourglass specimens, see Fig. 1(b), but the user is cautioned about uncertainties in data analysis and interpretation. Testing is done primarily under constant amplitude cycling and may contain interspersed hold times at repeated intervals. The practice may be adapted to guide testing for more general cases where strain or temperature may vary

according to application specific histories. Data analysis may not follow this practice in such cases.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- A 370 Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products²
- E 3 Methods of Preparation of Metallographic Specimens³
- E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines³
- E 8 Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials³
- E 9 Test Methods of Compression Testing of Metallic Materials at Room Temperature³
- E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometers³
- E 111 Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus³
- E 112 Test Methods for Determining Average Grain Size³
- E 132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature³
- E 157 Practice for Assigning Crystallographic Phase Designations in Metallic Systems³
- E 209 Practice for Compression Tests of Metallic Materials at Elevated Temperatures with Conventional or Rapid Heating Rates and Strain Rates³
- E 337 Test Method for Measuring Humidity with a Psychrometer (the Measurement of Wet- and Dry-Bulb Temperatures)⁴
- E 384 Test Method for Microhardness of Materials³
- E 399 Test Method for Plane-Strain Fracture Toughness of Metallic Materials³
- E 466 Practice for Conducting Force Controlled Constant Amplitude Axial Fatigue Tests of Metallic Materials³
- E 467 Practice for Verification of Constant Amplitude Dynamic Loads on Displacements in an Axial Load Fatigue Testing System³
- E 468 Practice for Presentation of Constant Amplitude Fatigue Test Results for Metallic Materials³
- E 739 Practice for Statistical Analysis of Linear or Linearized Stress-Life ($S-N$) and Strain-Life ($\epsilon-N$) Fatigue Data³
- E 1012 Practice for Verification of Specimen Alignment

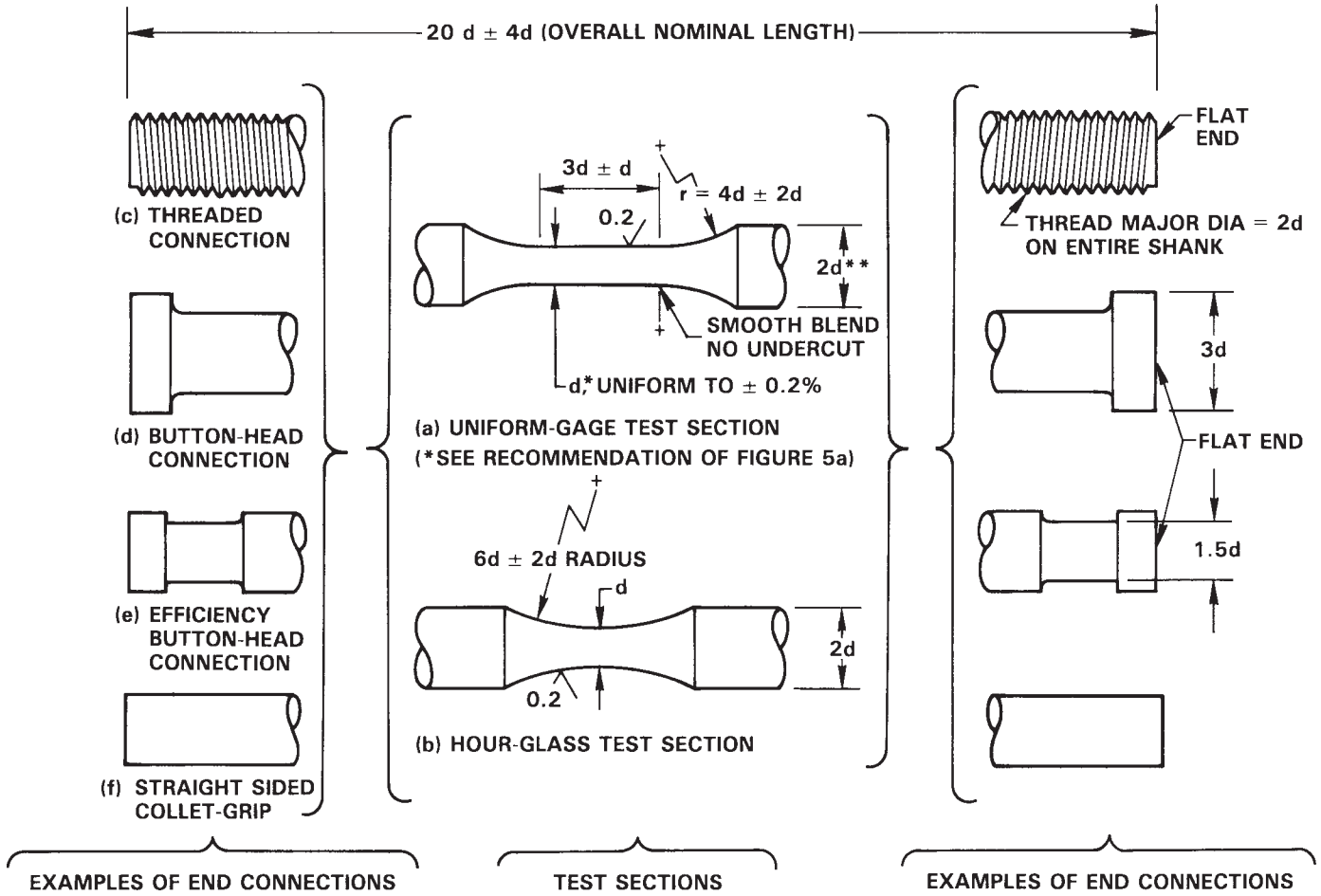
¹ This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee E-8 on Fatigue and Fracture and is the direct responsibility of Subcommittee E08.05 on Cyclic Deformation and Fatigue Crack Formation.

Current edition approved Oct. 15, 1992. Published March 1993. Originally published as E 606 – 77 T. Last previous edition E 606 – 80.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 01.03.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 11.03.



NOTE 1—* Dimension d is recommended to be 6.35 mm (0.25 in.). See 7.1. Centers permissible. ** This diameter may be made greater or less than $2d$ depending on material hardness. In typically ductile materials diameters less than $2d$ are often employed and in typically brittle materials diameters greater than $2d$ may be found desirable.

FIG. 1 Recommended Low-Cycle Fatigue Specimens

Under Tensile Loading³

E 1049 Practices for Cycle Counting in Fatigue Analysis³

E 1150 Definitions of Terms Relating to Fatigue³

3. Terminology

3.1 The definitions in this practice are in accordance with Definitions E 1150.

3.2 Additional definitions associated with time-dependent deformation behavior observed in tests at elevated homologous temperatures are as follows:

3.2.1 *hold period*, τ_h —the time interval within a cycle during which the stress or strain is held constant.

3.2.2 *inelastic strain*, ϵ_{in} —the strain that is not elastic. For isothermal conditions, ϵ_{in} is calculated by subtracting the elastic strain from the total strain.

3.2.3 *total cycle period*, τ_t —the time for the completion of one cycle. The parameter τ_t can be separated into hold and nonhold components:

$$\tau_t = \Sigma\tau_h + \Sigma\tau_{nh} \quad (1)$$

where:

$\Sigma\tau_h$ = sum of all the hold portions of the cycle and
 $\Sigma\tau_{nh}$ = sum of all the nonhold portions of the cycle.

τ_t also is equal to the reciprocal of the overall frequency when the frequency is held constant.

3.2.4 The following equations are often used to define the instantaneous stress and strain relationships for many metals and alloys:

$$\epsilon = \epsilon_{in} + \epsilon_e \quad (2)$$

$$\epsilon_e = \frac{\sigma}{E^*} \text{ (see Note 2)}$$

and the change in strain from any point (1) to any other point (3), as illustrated in Fig. 2, can be calculated as follows:

$$\epsilon_3 - \epsilon_1 = \left(\epsilon_{3in} + \frac{\sigma_3}{E^*} \right) - \left(\epsilon_{1in} + \frac{\sigma_1}{E^*} \right) \quad (3)$$

All strain points to the right of and all stress points above the origin are positive. The equation would then show an increase in inelastic strain from 1 to 3 or:

$$\epsilon_{3in} - \epsilon_{1in} = \epsilon_3 - \epsilon_1 + \frac{\sigma_1}{E^*} - \frac{\sigma_3}{E^*} \quad (4)$$

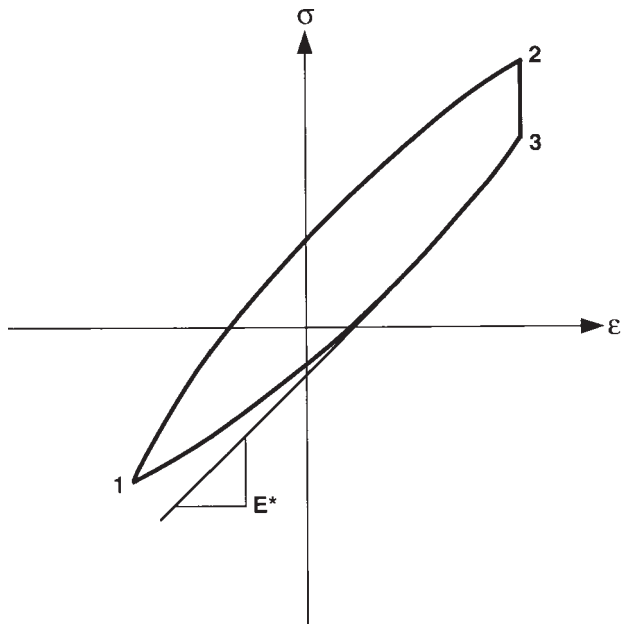


FIG. 2 Analyses of a Total Strain versus Stress Hysteresis Loop Containing a Hold Period

Similarly, during the strain hold period, the change in the inelastic strain will be equal to the change in the stress divided by E^* , or:

$$\epsilon_{3in} - \epsilon_{2m} = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{E^*} \quad (5)$$

NOTE 2— E^* represents a material parameter that may be a function of environment and test conditions. It also may vary during a test as a result of metallurgical or physical changes in the specimen. In many instances, however, E^* is practically a constant quantity and is used rather extensively in isothermal, constant-rate testing, in the analysis of hysteresis loops. In such cases, a value for E^* can best be determined by cycling the specimen prior to the test at stress or strain levels below the elastic limit. E^* is NOT the monotonic Young's modulus.

4. Significance and Use

4.1 Strain-controlled fatigue is a phenomenon that is influenced by the same variables that influence load-controlled fatigue. The nature of strain-controlled fatigue imposes distinctive requirements on fatigue testing methods. In particular, cyclic total strain should be measured and cyclic plastic strain should be determined. Furthermore, either of these strains typically is used to establish cyclic limits; total strain usually is controlled throughout the cycle. The uniqueness of this practice and the results it yields are the determination of cyclic stresses and strains at any time during the tests. Differences in strain histories other than constant-amplitude alter fatigue life as compared with the constant amplitude results (for example, periodic overstrains and block or spectrum histories). Likewise, the presence of nonzero mean strains and varying environmental conditions may alter fatigue life as compared with the constant-amplitude, fully reversed fatigue tests. Care must be exercised in analyzing and interpreting data for such cases.

4.2 Strain-controlled fatigue can be an important consideration in the design of industrial products. It is important for

situations in which components or portions of components undergo either mechanically or thermally induced cyclic plastic strains that cause failure within relatively few (that is, approximately $<10^5$) cycles. Information obtained from strain-controlled fatigue testing may be an important element in the establishment of design criteria to protect against component failure by fatigue.

4.3 Strain-controlled fatigue test results are useful in the areas of mechanical design as well as materials research and development, process and quality control, product performance, and failure analysis. Results of a strain-controlled fatigue test program may be used in the formulation of empirical relationships between the cyclic variables of stress, total strain, plastic strain, and fatigue life. They are commonly used in data correlations such as curves of cyclic stress or strain versus life and cyclic stress versus cyclic plastic strain obtained from hysteresis loops at some fraction (often half) of material life. Examination of the cyclic stress-strain curve and its comparison with monotonic stress-strain curves gives useful information regarding the cyclic stability of a material, for example, whether the values of hardness, yield strength, ultimate strength, strain-hardening exponent, and strength coefficient will increase, decrease, or remain unchanged (that is, whether a material will harden, soften, or be stable) because of cyclic plastic straining (1).⁵ The presence of time-dependent inelastic strains during elevated temperature testing provides the opportunity to study the effects of these strains on fatigue life and on the cyclic stress-strain response of the material. Information about strain rate effects, relaxation behavior, and creep also may be available from these tests. Results of the uniaxial tests on specimens of simple geometry can be applied to the design of components with notches or other complex shapes, provided that the strains can be determined and multiaxial states of stress or strain and their gradients are correctly correlated with the uniaxial strain data.

5. Functional Relationships

5.1 Empirical relationships that have been commonly used for description of strain-controlled fatigue data are given in Appendix X1. These relationships may not be valid when large time-dependent inelastic strains occur. For this reason original data should be reported to the greatest extent possible. Data reduction methods should be detailed along with assumptions. Sufficient information should be developed and reported to permit analysis, interpretation, and comparison with results for other materials analyzed using currently popular methods.

5.2 If use is made of hourglass geometries, original data should be reported along with results analyzed using the relationships in Appendix X2.

6. Methodology

6.1 *Testing Machine*—Testing should be conducted with a tension-compression fatigue testing machine that has been verified in accordance with Practices E 4 and E 467, unless more stringent requirements are called for in this specification.

⁵ The boldface numbers in parentheses refer to the list of references at the end of this standard.

The testing machine, together with any fixtures used in the test program, must meet the bending strain criteria in 6.3.1. The machine should be one in which specific measures have been taken to minimize backlash in the loading train.

NOTE 3—Load measuring capability of 45 kN (approximately 10 kips) or greater would be sufficient for the recommended specimens (Section 7) and most test materials. The machine load capacity used for these specimens would not be required to exceed 110 kN (approximately 25 kips); however, large-capacity fatigue machines may be beneficial because of increased axial stiffness and decreased lateral deflection of these systems. Achieving a change in axial concentricity of less than or equal to 0.05 mm (0.002 in.) TIR (total indicator reading), as measured between the top and bottom specimen fixture under cyclic load, is a measure of success with respect to minimizing lateral deflection of the load train.

6.2 *Strain Control*—Testing machine controls should permit cycling between constant strain limits. If material behavior permits (for example, aging effects do not hinder), control stability should be such that the strain maximum and minimum limits are repeatable over the test duration to within 1 % of the range between maximum and minimum control limits.

NOTE 4—See 6.4.1 and 6.5 on use of load and strain transducers in relation to repeatability requirements.

NOTE 5—For strain control under long-life conditions it is sometimes advantageous to run a pseudostrain control test under load control. The test could be started in strain control and switched to load control after cyclic stabilization of the stress response occurs. In these cases strain should be monitored (directly or indirectly) and adjustments made in load control to maintain strain limits within 1 % of the range between maximum and minimum limits.

6.3 *Fixtures*:

6.3.1 To minimize bending strains, specimen fixtures should be aligned such that the major axis of the specimen closely coincides with the load axis throughout each cycle. It is important that the accuracy of alignment be kept consistent from specimen to specimen. Alignment should be checked by means of a trial test specimen with longitudinal strain gages placed at four equidistant locations around the minimum diameter. The trial test specimen should be turned about its axis, installed, and checked for each of four orientations within the fixtures. The maximum bending strains so determined should not exceed 5 % of the minimum axial strain range imposed during any test program. For specimens having a uniform gage length, it is advisable to place a similar set of gages at two or three axial positions within the gage section. One set of strain gages should be placed at the center of the gage length to detect misalignment that causes relative rotation of the specimen ends about axes perpendicular to the specimen axis. An additional set of gages should be placed away from the gage-length center to detect relative lateral displacement of the specimen ends. The lower the bending strain, the more repeatable the test results will be from specimen to specimen. This is especially important for materials with low ductility where much better alignment may be needed (that is, bending strains should not exceed 5 % of the minimum strain amplitude).

NOTE 6—This section refers to Practice E 1012 Type A tests.

NOTE 7—Four strain measurements, 90° opposed to each other, are required to ensure that bending strains are not large. Utilization of a single extensometer with dual axial outputs will allow for only two specimen loadings to gather the required four strain readings, without the necessity

of strain gaging specimens.

6.3.2 Several commonly used fixturing techniques are shown schematically in Fig. 3. The selection of any one fixturing technique depends primarily upon the user's specimen design. Fixtures should be constructed of hardened steel for high strength and abrasion resistance. The collet type grip shown, or other fixturing techniques that provide high precision lateral stiffness to hold precise alignment are acceptable. Fixtures not capable of high alignment may be coupled with the Woods metal pot (2, 3) of Fig. 4 or a similar device. Such a device may help to compensate for misalignment in the load train that would induce bending strains in the specimen during fixturing. Placement of the fixtures within die-set or flex bars reduces relative lateral motion of specimen ends and increases lateral stiffness that is important in machines that do not provide adequate safeguards against compressive buckling of the test specimen.

6.3.3 For elevated-temperature testing it is usually necessary to provide some means for cooling the fixtures to prevent damage to other load-train components such as load cells. One method commonly used employs water-cooling coils attached to the fixtures or to other appropriate locations in the load train. Care must be taken to avoid affecting the load cell calibration or the load-train alignment by the addition of cooling coils.

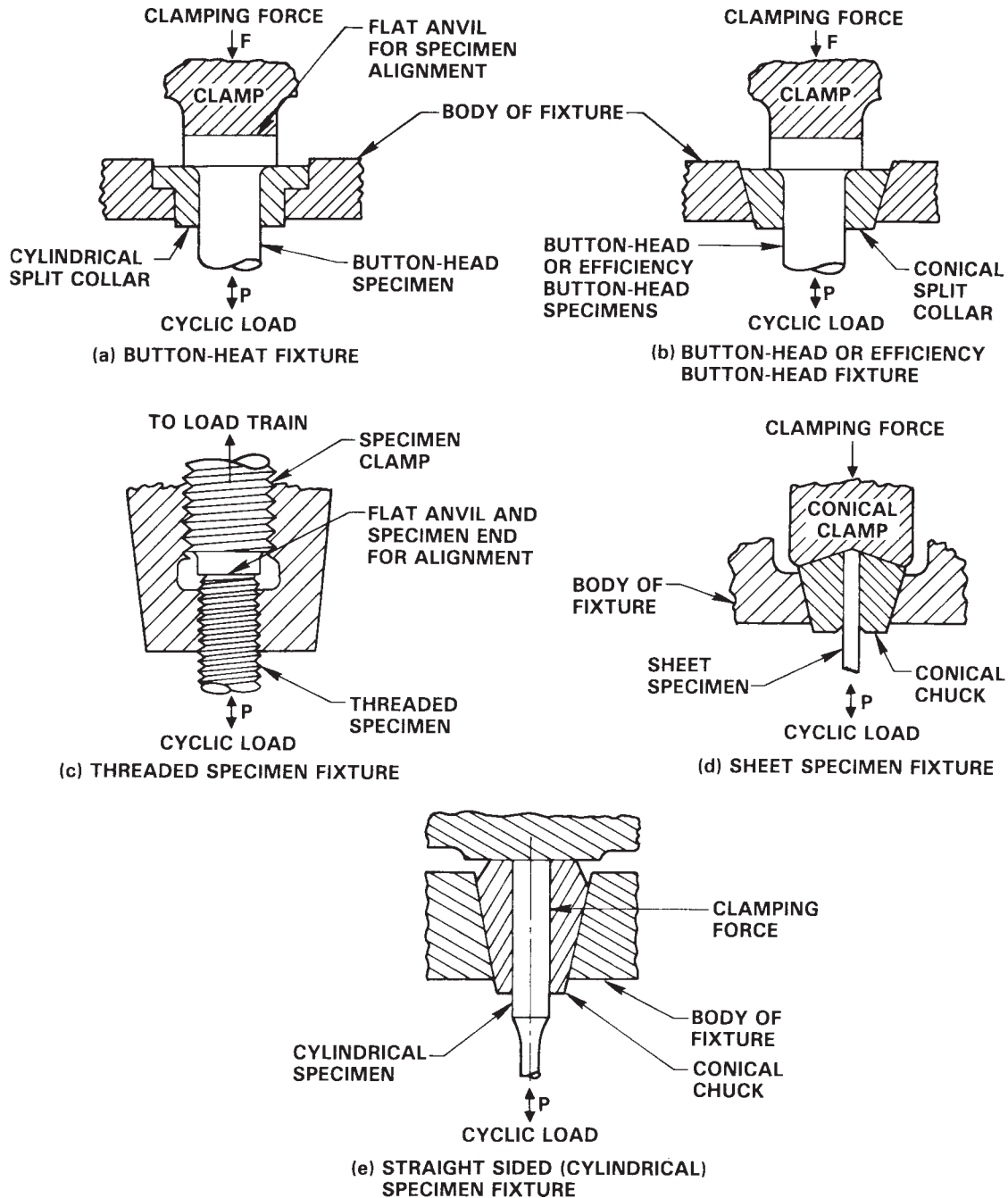
6.4 *Extensometers*—Extensometers should be employed for the purpose of measuring deformation in the gage section. They should be suitable for dynamic measurements over long periods of time.

6.4.1 The non-self contained extensometer may be of two major types: Contacting (for example, the more frequently used strain gage or LVDT type as shown in Fig. 5) or noncontacting (for example, optical types). The output of the extensometer or auxiliary device of the extensometer system should be suitable for control purposes, readout, and recording. The extensometers should qualify as Class B-2 or better in accordance with Practice E 83.

NOTE 8—For best results, the extensometer system (mechanical and electrical) should have a maximum nonlinearity of 0.3 % of full-scale range. Thus, the extensometer design should minimize sources of mechanical hysteresis. The more effective designs have a low activation force that eliminates slippage of the contacts and a low mass to provide high natural frequency for improved dynamic response characteristics.

6.4.2 Extensometers should measure longitudinal deformation when a uniform-gage specimen, such as shown in Fig. 1(a), is tested. Generally, these extensometers are attached as shown in Fig. 5(a).

NOTE 9—Care should be exercised when installing the longitudinal extensometer so as to prevent damage to the specimen surface and consequential premature fatigue failure at the contact points. It is very important to ensure a secure attachment of the extensometer to the test specimen. Damaged or worn contacts or flexure in the attachment apparatus can induce significant hysteresis errors in the measurement. Often, small strips of transparent tape, copper bondable strain gage terminals, or other such protective tabs are adhered to the specimens uniform section at the locations where extensometer tips would contact the material. Use of the tape or tabs tends to "cushion" the attachment. Another alternative is the use of quick-drying epoxy. Light force springs or small rubber bands are often employed to hold the extensometer to the specimen. Dulling the tips for softer material is also commonly done.



NOTE 1—The clamping force should be greater than the cyclic load to avoid backlash within the specimen fixture.

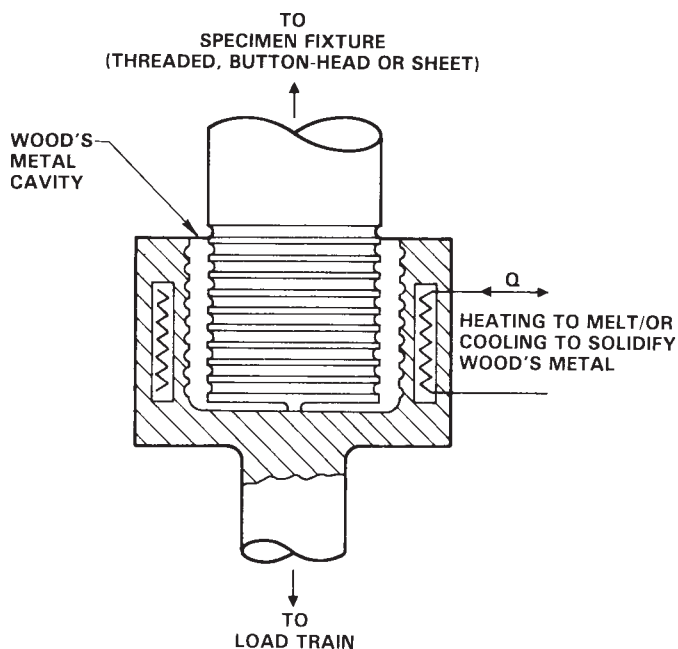
FIG. 3 Schematic Examples of Fixturing Techniques For Various Specimen Designs

Extensometer slippage can be observed after the first several cycles from X-Y traces or strip chart recordings by observing the stress-strain response. Unusual shifts in mean values of stress in response to imposed strain ranges is an indication of such slippage.

6.4.3 Extensometers should measure diametral deformations when specimens having hourglass profiles are tested. A typical method of diametral displacement measurement is shown schematically in Fig. 5(b). Curved extensometer tips, convex in the longitudinal plane, can provide point contact during testing. Care should be exercised during installation of

the diametral extensometer to prevent damage to the test specimen surface. Extensometer tips should be adjusted properly to minimize the force they impose on the specimen. When installing the extensometer, gently move its tip longitudinally along the specimen while watching the gage readout to find the minimum diameter. Calibration of extensometers should be conducted before and after each test program.

NOTE 10—Care should be taken in the measurement of diametral strains for materials such as cast materials that possess large grains or a



NOTE 1—Wood's metal pot is used to provide initially zero stress in the specimen during fixturing. This pot may be within a die-set to combine zero fixturing stress with rigid alignment.

FIG. 4 Schematic of Wood's Metal Pot Showing Principle of Operation

large degree of preferred orientation. These, as well as hexagonal close-packed materials, tend to be anisotropic and therefore may require special methods of strain measurement and interpretation because Poisson's ratio changes substantially with the orientation of the extensometer with respect to the crystallographic orientation of the specimen. Cyclic hardening or softening also might alter the apparent value of Poisson's ratio, thereby complicating data analyses and interpretation.

6.5 *Load Transducers*—A load transducer should be placed in series with the test specimen for the purpose of measuring magnitude and sense of the axial load transmitted through the specimen. Load transducer capacity should be selected to adequately cover the range of loads to be measured in the test being conducted, but not so large as to render larger errors (that is, greater than 1 % of the difference between maximum and minimum control limits). Load transducer calibration should be verified in accordance with Practices E 4 and E 467.

NOTE 11—The load transducer should be designed specifically for fatigue testing and possess the following characteristics: high resistance to bending; high axial stiffness; high linearity; accuracy and sensitivity; low hysteresis; high overturning moment stiffness; and high lateral stiffness. For best results, it is recommended that the maximum load transducer nonlinearity and hysteresis should not exceed 0.5 % and 0.3 % of full-scale range, respectively.

6.6 *Data Recording Systems*—Analog strip chart and X-Y recorders or their digital equivalent should be considered a minimum requirement for data collection.

NOTE 12—Accuracy of recording systems should be kept within 1 % of full scale. Analog/digital devices are available that include maximum and minimum limit detection, maximum-minimum memory, and underpeak detection.

NOTE 13—Data acquisition system characteristics such as sampling frequency and data skew between load and deformation (stress and strain)

channels can affect hysteresis loop presentation on an X-Y recorder used in digital recording systems. It is recommended that these characteristics be taken into consideration along with the strain rate or frequency of cycling to determine that the hysteresis plots are within the required error limits.

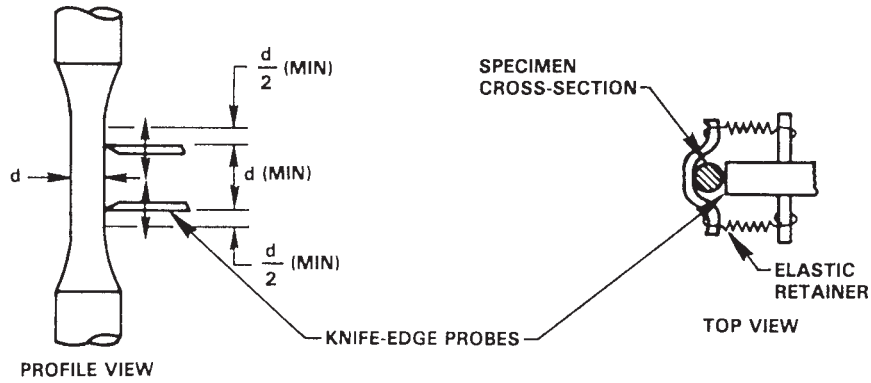
6.6.1 *X-Y Recording*—Some means of X-Y recording should be used for the purpose of recording hysteresis loops of load versus deformation or stress versus strain. A potentiometric X-Y recorder or an oscilloscope equipped with a camera are acceptable alternatives. The potentiometric X-Y recorder should be used only when the rate of cycling results in a pen velocity that is less than one-half of the recorder's slewing speed. At higher frequencies, the oscilloscope may be used. Alternative devices include: digital X-Y plotters for real time recording or to plot stored data and data logging devices that store data in a host computer system or transmit data to a printer.

6.6.2 If digital-type recording devices are used, it is recommended that a sufficient number of simultaneous data pairs (such as stress and strain) be taken for both the ascending segment and descending segment of the hysteresis loop to adequately determine the shape of the loop.

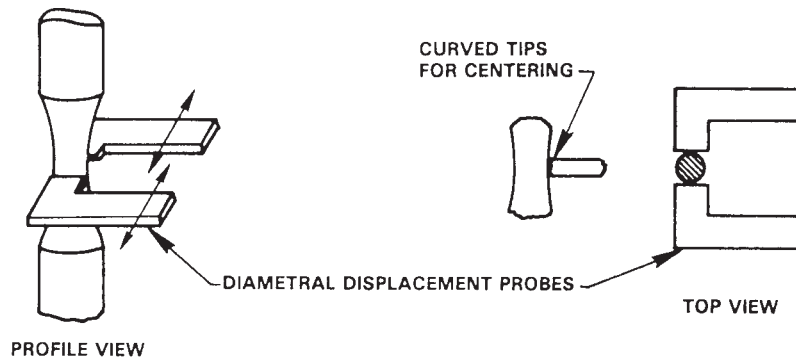
6.6.3 *Strip Chart Recording*—Strip chart recorders may be used to monitor load (or strain). If used, the frequency of the test should be such that the recording pen velocity never exceeds one-half of the recorder's slewing speed. It is recommended that these recorders be calibrated at the testing frequencies used. Storage oscilloscopes also may be used to record the load versus strain loops. Load or strain peaks also may be monitored by devices that detect, display, and retain maximums and minimums in memory or that reproduce these data at predetermined periods.

6.7 *Cycle Counter*—A cycle counter shall be used to indicate total accumulated cycles of loading or straining. An elapsed time indicator is a desirable adjunct to the cycle counter to provide an excellent check of both frequency and the current cycle count. Two types of counters are generally available, mechanical or electronic. A minimum requirement is that a counter have typically five or six digits and $\times 10$, $\times 100$, and $\times 1000$ range multipliers. Digital counters with 1 count resolution with 1 count resolution (no multipliers) are available. Counters are often equipped with a "preset count" feature that may be used to stop a test for examination of the specimen, to command a recorder to take data, or to end a test after a specific number of cycles.

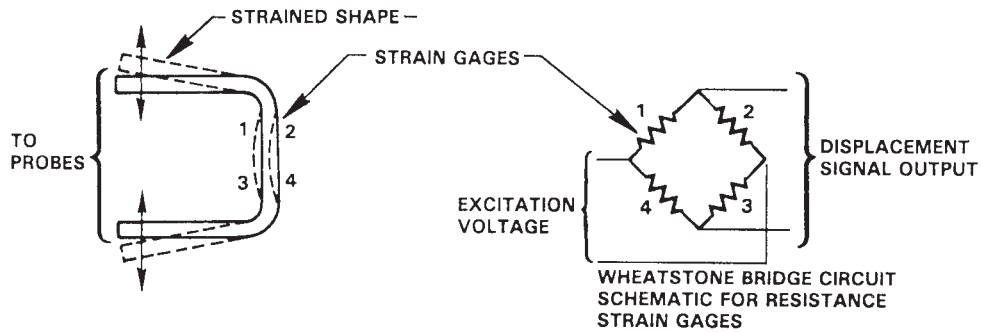
6.8 *Calibration*—The calibration interval of all electronic recording and transducer systems should be performed in accordance with the manufacturer's recommendations; in the absence of these, the interval should be no greater than six months and even more frequent if necessary to maintain required accuracy. Calibration should be checked whenever accuracy is in doubt. All calibrations should be traceable to the National Institute of Standards and Technology. When calibrating a transducer system, it is important that it be performed using the same setup and arrangement of components as used in the test. As an example, when calibrating a load transducer used on an automated system, it is necessary to calibrate the output from the computer, not from any intermediary electronics.



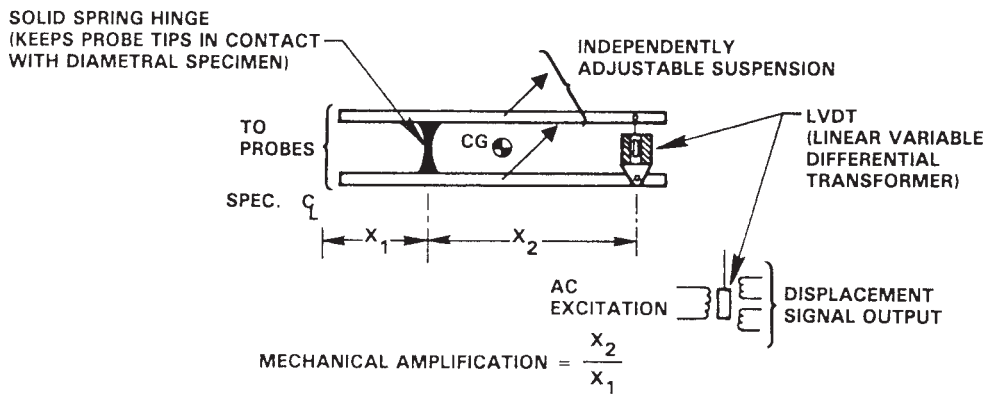
(a) LONGITUDINAL DISPLACEMENT MEASUREMENT FOR UNIFORM GAGE SPECIMEN OF FIGURE 1(a). (PROBES MAY BE ATTACHED TO EITHER TRANSDUCER 5(c) OR 5(d).)



(b) DIAMETRAL DISPLACEMENT MEASUREMENT FOR HOURGLASS SPECIMEN OF FIGURE 1(b). (PROBES MAY BE ATTACHED TO EITHER TRANSDUCER 5(c) OR 5(d).)



(c) STRAIN-GAGE DISPLACEMENT TRANSDUCER



(d) LVDT DISPLACEMENT TRANSDUCER
FIG. 5 Extensometer Schematic

6.9 *Strain Computer*—An analog (or digital) computer is recommended for use in low-cycle fatigue tests of hourglass specimens whenever appreciable cyclic hardening and softening occurs during the test. Such a computer is useful when used in the real-time mode with servocontrolled testing machines and can be used for limit control of screw-driven machines. The computer should be designed to convert diametral strain and axial load signals into an axial strain signal. See Appendix X2 for conversion relations. In the case of servocontrolled machines, this axial strain signal may be used as a feedback signal for control purposes, thus simulating axial strain control. A block diagram for the analog (or digital) computer program is shown in Fig. 6.

7. Specimens

7.1 *Specimen Design*—Fig. 1 shows two basic specimen configurations. Fig. 1(a) shows a recommended uniform-gage specimen. When the choice of an hourglass configuration is deemed necessary, the profile recommended is as shown in Fig. 1(b). Use of Fig. 1(b) should follow careful consideration of problems of data interpretation, and anisotropy and buckling (see Note 10 and Note 14). Both of these recommended specimens possess a solid circular cross section and minimum diameters of 6.35 mm (0.25 in.) in the test section. Specific cross-sectional dimensions are listed here only because they have been dominant in the generation of the low-cycle fatigue database that exists in the open literature. Specimens possessing other diameters or tubular cross sections may be tested successfully within the scope of this practice; however, crack growth rate, specimen grain size, and other considerations might preclude direct comparison with test results from the recommended specimens (see Note 15). While design of specimen end connections is primarily dependent upon user preference (see Note 16), a number of commonly used configurations are shown in Fig. 1(c), 1(d), 1(e) and 1(f). Care must be exercised in the machining of uniform-gage specimens to blend the shoulder radius at the specimen ends with minimum diameter so as to avoid undercutting. So that stress concentrations are minimized, shoulder radius should be as large as possible, consistent with limitations on specimen length.

NOTE 14—Lives determined using tubular specimens are less than those for solid specimens, the extent of which depends on the failure criteria and specimen configuration. Differences in excess of a factor of

two are not unusual for failure criteria based on separation, whereas for failure defined by crack lengths contained within the tube wall there will be much less difference.

NOTE 15—Selection of either the uniform-gage section or hourglass profile is commonly based upon the magnitude of strain range to be imposed. The recommended uniform gage specimen is frequently suitable for strain ranges up to about 2 %. Above 2 % hourglass specimens may be necessary. Soft materials or elevated temperatures may dictate lower strain ranges. The maximum strain range may be increased by appropriate lateral restraints and through the use of short load trains. Options to increase stiffness to avoid the use of hourglass specimens should be exhausted before adopting the configuration shown in Fig. 1(b). If these options fail, the recommended hourglass specimen possesses a profile ratio of 12:1 for radius-of-curvature to minimum radius-of-specimen. If the user wishes, different ratios between the limits of 8:1 and 16:1 may be employed. Lower limits will increase stress concentration and may affect fatigue life; higher ratios limit the specimen’s buckling resistance. For some materials tested in the low-life range, hourglass specimens might give different results from similarly stressed uniform-gage specimens. It is very difficult to determine axial strains from measurements of diametral strain in hourglass specimens for many anisotropic as well as cast materials.

NOTE 16—Design of specimen end connections is dependent upon user preference, fixturing, or availability of material, or a combination of all three; it is constrained principally by proper considerations of axial alignment and backlash. Button-head end connections, such as those shown in Fig. 1(d) and 1(e), permit precise alignment with a specimen end clamping preload (to avoid backlash in the grip). The threaded connection, shown in Fig. 1(c), is useful where the available material is not thick enough to provide for the larger diameter button-head ends. The efficiency button-head connection, shown in Fig. 1(e), provides the button-head preloading feature without requiring larger diameter ends. The button-head design is useful at elevated temperatures, as it does not suffer the “oxidation-sticking” experienced with threaded ends, but it may produce some specimen failures in the fixture when used at room temperatures. The design shown in Fig. 1(f) is convenient for use in collet-type hydraulic grips. This configuration eliminates long life thread failures often associated with Fig. 1(c) type specimens.

7.1.1 *Alternative Specimen Design for Sheet Specimens*—Often, it is desirable to obtain test specimens from sheet material that is less than 6.0 mm (0.24 in.) thick. In general, the considerations discussed in other sections apply equally to sheet testing. However, special specimen geometries and gripping arrangements, as well as more sensitive load and strain transducers, are necessary. It is strongly recommended that torsional loads introduced by actuator rod rotations be eliminated by use of rotational restraints or similar devices. Typical specimen designs that have been used successfully are shown in Fig. 7. The specimens in Fig. 7(a) have a rectangular cross section and are suitable up to strain amplitudes of at least 1 % applied to sheets as thin as 2.54 mm (0.10 in.). For higher strain amplitudes, antibuckling restraints can be adapted to the specific geometry and extensometer used. In using such restraints, care must be taken to avoid increased resistance to axial load influenced by the restraints. When restraints can not be adopted, it may be necessary to use the cylindrical cross section hourglass specimen in Fig. 7(b), see Ref (4) for other designs. The geometries that are adequate for resisting buckling and/or incremental bending collapse at short lives often will lead to grip failures at long lives. The investigator may find it convenient to employ two geometrically similar specimen designs for development of a strain-life curve.

7.2 *Specimen Preparation*—Specimens should be prepared by a specific set of procedures that is known to provide

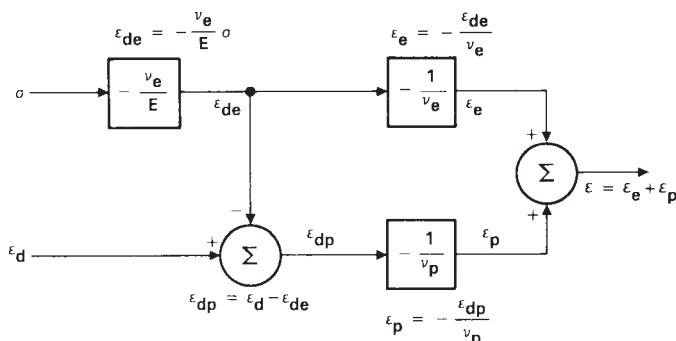
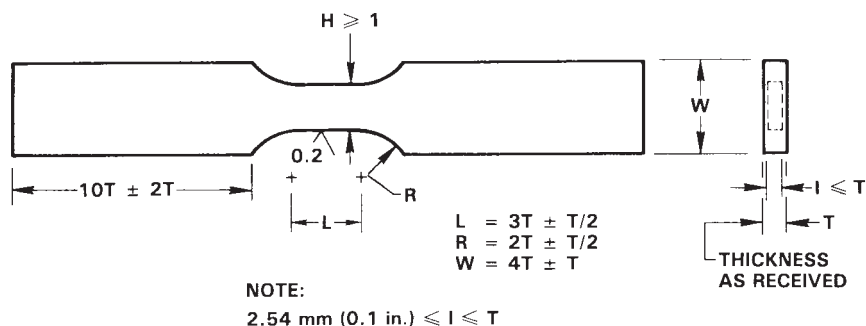
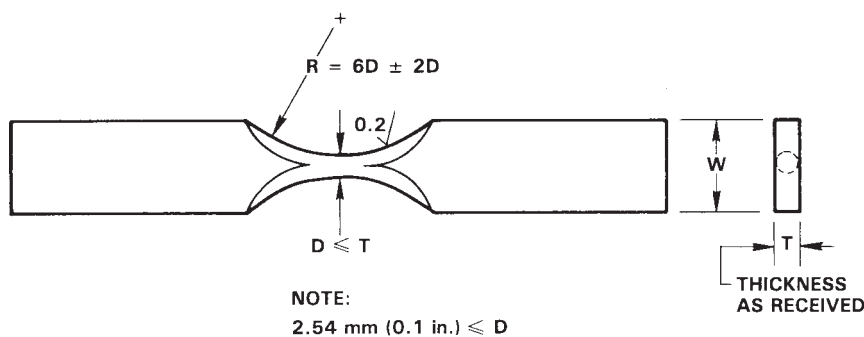


FIG. 6 Block Diagram of Strain Computer (See Appendix X2 for Discussion of Mathematical Relationship)



(a) FLAT-SHEET FATIGUE SPECIMEN WITH RECTANGULAR CROSS SECTION



(b) FLAT-SHEET FATIGUE SPECIMEN WITH CIRCULAR CROSS SECTION

FIG. 7 Sheet Fatigue Specimens—Alternative to Fig. 1 Specimens

consistent test results. Agreement between the testing organization and the user of the test results concerning preparation procedures should be obtained. The following provides recommended guidelines.

7.2.1 Specimen Coupons and Materials—Coupons from which specimens are machined should either be nominally homogeneous or sampled from the source material, or both, so as to be representative of the properties sought in the application of the material to its end use. Thus, when material requirements allow, specimens should be removed from the same material and product form that will be used in the fabricated component of interest. Any material orientations, such as rolling direction or casting direction, should be identified with respect to the orientation of the specimen axes. Orientation notation used in accordance with Test Method E 399 is acceptable such as L, T, S, LT, TL, ST, and the like.

7.2.2 Specimen Surface Preparation—Specimens prepared from coupons will possess a “surface preparation history” as a consequence of machining operations, heat treatments, and the effects of environment during the storage period prior to testing. Unless the purpose of testing is to determine the influence of specific surface conditions on fatigue life, it is recommended that specimen surface preparation be performed in a manner that will have a minimum influence upon the variability in fatigue lives exhibited by the specimen group tested. Ordinarily, this would be accomplished by:

7.2.2.1 consistently machining specimens to be as smooth and uniform in surface finish (in the gage region) as feasible for the subject material and the machining techniques available, and by employing as a final operation a machining or other

“finishing” procedure that would introduce minimal surface metal distortion (see Note 17), and by

7.2.2.2 ensuring, through the use of protective atmospheres, that surface attack, such as oxidation and corrosion, does not occur, either during heat treatments or during specimen storage, for all specimens within a program.

NOTE 17—Appendix X3 presents an example of a machining procedure that has been employed on some metals to minimize variability of machining and heat treatment influences upon fatigue life.

The exact procedure of specimen preparation and handling should be *clearly* and *carefully* documented. It also would be prudent to determine and record the surface residual stresses and the residual stress profile of at least one exemplary specimen.

7.3 Specimen Storage—Test specimens that may be susceptible to corrosion in moist room-temperature air should be protected immediately after preparation and stored until they are tested. Specimens may be stored in a suitable protective environment, such as dry inert gas (as might be conveniently employed in a laboratory desiccator) or a vacuum. The method of storage should be clearly and carefully documented.

7.4 Materials Description—A complete material description is desirable. It is recommended that the following microstructural and mechanical properties be obtained.

7.4.1 Microstructural Characteristics—Composition, grain size (see Test Methods E 112), crystallographic structure, preferred orientation if present, general shape of grains (that is, equiaxed or elongated), second-phase particles (see Practice E 157), heat treatment (whether at the mill, during fabrication, in the laboratory, or a combination of all three), position in

ingot or sheet roll, and specification designation (ASTM, ASME, AISI, Military, SAE, etc.).

7.4.2 Mechanical Properties—For purposes of performing the test and calculating results it is desirable to have available the following representative mechanical properties, obtained at the appropriate temperature and measured in accordance with the applicable standards such as Test Methods E 8, E 9, E 111, E 132 and Practice E 209; tensile or compressive yield strength or yield point, or both; ultimate tensile strength; percent elongation; percent reduction of area; Poisson's ratio; and Young's modulus. The following true stress-strain properties also may be desirable: true fracture strength, true fracture ductility, strain hardening exponent, and strength coefficient. Hardness also may be determined in accordance with Test Methods A 370 or E 384, or both.

8. Procedure

8.1 Test Environment:

8.1.1 Temperature:

8.1.1.1 For materials that are fatigue tested at temperatures other than ambient, all temperatures throughout the gage section (for uniform gage specimens this is the region with constant cross-sectional area) shall be:

$$T_n \pm \Delta T \quad (6)$$

where:

T_n = nominal test temperature in °C and

ΔT = 2°C or 1 %, whichever is greater.

NOTE 18—The temperature variability in the gage section can become a critical issue, particularly if material properties (for example, major alterations of strength, modulus of elasticity, ductility, etc.) or metallurgical stability (for example, microstructure, crystal structure, etc.) are affected significantly. For these reasons as well as others, the temperature variability within the gage section should be maintained as small as possible. Because temperature effects can be significant, the actual temperature variability should be reported with the test results, as should the heating method (induction heating, resistance heating, infrared lamp, etc.).

8.1.1.2 For the duration of the test, the controlled temperature of the specimen should be $T_n \pm 2^\circ\text{C}$.

NOTE 19—If the temperature cannot be maintained within limits mentioned above, then temperature deviations should be reported. If possible, the effect of temperature should be demonstrated throughout the range of test temperatures.

8.1.2 Elevated temperatures may be imposed by any of several methods: (1) high-frequency induction (Note 20), (2) resistance or radiant furnace, or (3) immersion in an inert heated gas or liquid. In (1) and (2) above, an enclosure is recommended to prevent air currents in the vicinity of the specimen from causing undesirable temperature gradients. Specimens tested at room temperature also should be in draft-free surroundings. Temperatures below room temperature may be imposed by placing the specimen and gripping apparatus in a refrigerated chamber that may be either of the liquid or gaseous type, depending on temperature requirements and other possible environmental considerations. Liquefied gases, such as liquid nitrogen, or solidified gases, such as dry ice placed in a liquid medium, provide possible means for low-temperature testing.

NOTE 20—When inductively heating magnetic materials (those materials having relative permeabilities significantly greater than unity), it should be recognized that a varying stress in the specimen can affect the distribution of eddy currents in the specimen and may change the temperature profile. This effect is influenced by the specimen material, design and heat transfer characteristics, the temperature magnitude, the stress magnitude and distribution, the cyclic waveform, and the testing frequency (strain rate). The most pronounced effect is generally produced when conducting tests at low frequencies or with tests containing hold periods. In any case the temperature profile of magnetic specimens should be evaluated throughout the straining cycle. When the effect is severe, it may be necessary to use a susceptor with the induction coil or to use an alternate heating method.

NOTE 21—Use of glass insulation may avoid difficulty with wires submerged in a cooling solvent.

8.1.3 If testing is performed in air, relative humidity may be measured in accordance with Test Method E 337, unless it has already been determined that moisture has little or no effect on fatigue life for the material under test. If an effect is present, relative humidity should be controlled; when uncontrolled it should be carefully monitored and reported.

8.2 Measurement of Test Specimen Dimensions—For the purpose of making an accurate determination of specimen cross-sectional area, measure the reduced section as follows:

8.2.1 Measure the diameter at the center of the gage section by means of an optical comparator or other optical means to an accuracy of 0.0125 mm (0.0005 in.) or better. A precision micrometer may be used in place of the optical comparator if its use does not damage the gage section surface in a way as to affect specimen performance. For uniform-gage specimens, check diameters for at least two other positions within the specimen gage length. The minimum cross-sectional areas should be used for computing the stresses in the specimen during the test. The area at temperature should be used in calculating stress. This area can be obtained by correcting the room-temperature result using the coefficient of thermal expansion.

8.3 Test Machine Control—It is necessary to control one (or more) variable(s) (for example, stress, strain, load, displacement, or other appropriate parameters) in a manner that is in keeping with the test objectives.

8.3.1 **Control Mode**—Total axial strain amplitude is the most commonly utilized control variable in a low-cycle fatigue test. Total axial strain is often controlled continuously throughout each fatigue cycle in a manner prescribed in 8.4. It also is acceptable to control only the limits of either total axial strain or plastic axial strain. In such cases, vary another variable, such as diametral strain, displacement, or load, between these limits in some cyclically consistent manner under either closed loop or other control means. For long-life fatigue tests that exhibit low levels of plastic strain, it is acceptable to control load while monitoring strain and making periodic adjustments of mean load and load range in order to maintain the desired strain limits. Similarly, tests may be initiated in strain control and switched to load control using the stabilized load peaks as limits. When time dependent effects are present, it may no longer be acceptable to control only the limits of the required strain. Continuous control of the parameter of interest may be necessary to obtain the desired intra-cycle response. For example, if the load is controlled between total axial strain

limits in this regime, a quite different material response will be produced than if the total axial strain is continuously controlled.

8.3.2 Closed Loop Method—Fatigue testing machines of the closed loop servocontrolled type often are capable of continuously controlling specific test variables such as load or displacement through appropriate selection of feedback signals. Application of scale factors to these signals thereby permits continuous control of stress or strain. Axial stress may be scaled directly from the load cell signal. Axial strain may be scaled directly from an axial extensometer signal when uniform-gage specimens are tested. When hourglass specimens are tested, an axial strain signal must be determined from a diametral extensometer signal and the force signal by means of a computer (see 6.9) if closed loop control of diametral strain changes during cycling hardening and softening. Additional precautions should be observed when hold times are employed and time-dependent inelastic strains are present. For example, a hold on diametral strain will permit the total axial strain to change during each cycle and will not produce correct relaxation information.

8.3.3 Other Control Methods—Fatigue testing machines that do not provide continuous closed loop control of either specimen load or specimen displacement generally have the capability to impose limits on the chosen test variable. However, they do not control that variable throughout the fatigue cycle. Limit control is a special case of closed loop control. Thus, load and displacement signals may be handled in a manner similar to that of 8.3.2 to determine strain limits. It is not necessary to use a computer for limit control of hourglass specimens if periodic adjustments are made to the diametral strain amplitude in such a manner as to maintain constant axial strain limits. These adjustments are necessary for materials that undergo significant cyclic hardening and softening because of attendant changes to the relationship between axial strain and induced diametral strain. The additional complications of complex waveforms and time-dependent inelastic strains severely curtail the acceptability of limit control techniques. If the technique of limit control is used, the intra-cycle and inter-cycle variation of the parameter of interest should be monitored, and if necessary, periodic adjustments should be made to the testing machine to produce the desired response. Such changes should be reported.

8.4 Waveform—The strain (or stress) versus time waveform should be identical throughout a test program unless test objectives are to determine waveform effects. In the absence of specific waveform requirements or equipment limitations, a triangular waveform for continuous cyclic tests and trapezoidal waveforms for hold period tests are preferred.

8.5 Strain Rate and Frequency of Cycling—Either strain rate or frequency of cycling should be held constant for the duration of each test as well as for the duration of a test program, unless the test objective is specifically to determine either strain rate or frequency effects, respectively.

NOTE 22—While constant strain rate testing is often preferred, constant frequency testing may be of greater practical significance to the fatigue analysis of certain machine components. On the other hand, constant strain rate testing may be experimentally more tractable than constant

frequency testing since long-life, small-strain tests in the former mode may be completed in shorter periods of time than tests conducted in the latter mode.

8.5.1 If nontriangular waveforms preclude constant strain rate testing because of equipment limitations and time limitations preclude constant-frequency testing, other means of rate control are available. One accepted procedure is to maintain constant average strain rate (twice the product of strain range and frequency) throughout each test and for the duration of the test program. Another acceptable procedure, one that is most convenient when testing under plastic strain limit control, is to maintain constant average plastic strain rate.

8.5.2 The selected range of strain rates or frequencies should be sufficiently low as to preclude specimen heating in excess of 2°C (3.6°F). In using a servocontrolled testing machine, make a comparison of the program and feedback signals to ensure that the selected rates or frequencies are and remain within system capabilities and accuracy requirements. Frequency response of extensometers (depending upon their design) is often a limiting factor in the system.

NOTE 23—Notwithstanding the need for constancy of rate, the testing rate may be reduced briefly in order to permit periodic recording operations if doing so does not change specimen behavior. An altered stress-strain response can be expected if the testing rate is reduced when time-dependent strain is present. In addition, a possible effect of the periodic reduction of rate on specimen life should be considered.

8.6 Test Commencement:

8.6.1 Begin all tests in the same direction of initial straining, tensile or compressive, unless the purpose of testing is to study initial loading effects. For some materials, it is acceptable to increase strain amplitude gradually and continuously over a period no greater than approximately 20 cycles or 2 % of anticipated life (whichever is less). Care should be taken in selecting the target strain for the initial cycle to avoid overshooting while minimizing the number of cycles to obtain the desired strain limits. Depending on the material, temperature, strain range, loading range, and dynamic response of the test systems, the peak strain of the initial cycle may vary. If overshooting does occur, the control limits should not be adjusted downward.

8.6.2 In reverse cyclic testing of thin sheet specimens it may be advisable to always begin in tension, particularly with coil products of materials where natural out-of-flatness occurs. In other materials such as flat sheet products, either tension or compression going starts are appropriate.

8.7 Number of Specimens—It is suggested that a minimum of ten specimens be used to generate a fatigue strain-life curve. It also is suggested that the replication guidelines given in STP 588 (5) be followed, especially if subsequent statistical analysis is planned. Reference also is made to Practice E 739.

8.8 Recording—Unless computerized data retrieval systems are employed continuously and it is convenient to record in logarithmic increments of fatigue life (that is, 1, 2, 5, 10, 20, 50, ...), record the initial series of hysteresis loops of axial stress (or load) versus total or plastic axial strain (versus total or plastic diametral strain if an axial strain signal is not available). Record hysteresis loops thereafter at successively larger increments of a cycle count. For tests of 100 cycles or

more, a minimum of ten additional hysteresis loops is desirable. When practical, continuously record the dependent variables (for example, axial stress and plastic axial strain in a total axial strain control test) as a function of time.

NOTE 24—When continuous recording is not practical either because of lengthy test durations or the limited availability of recorders, intermittent records or alternative sampling of the recorded variables is acceptable.

8.9 *Determination of Failure*—The definition of failure may vary with the ultimate use of the fatigue life information (see Note 25). Acceptable alternatives are as follows:

8.9.1 *Separation*—Total separation or fracture of the specimen into two parts at (1) some location within the uniform section of a uniform-gage specimen, or (2) the vicinity of the minimum diameter in an hourglass specimen. All failure locations should be recorded.

NOTE 25—A post-mortem failure analysis should be performed to uncover any unusual causes of failure. Reporting the actual failure location is important. Inclusions, voids, defects, etc., that are not representative of the bulk material or its application may render fatigue life determination invalid (see 8.11.3). Also, consistent failures at one position may signal alignment problems or “knife-edge” failures caused by extensometer attachment.

8.9.2 *Modulus Method*—For any specified number of cycles, N , during the test, the modulus for unloading following a peak tensile stress is defined as E_{NT} and the modulus for loading following a peak compression stress is E_{NC} (see Fig. 8). Failure is defined when the ratio:

$$Q_N = E_{NT}/E_{NC} \quad (7)$$

reaches one-half the value of Q for the first cycle (see Fig. 8).

$$Q_{N_f} = 0.5 Q_1 \quad (8)$$

The number of cycles where this occurs is designated as the number of cycles to failure, N_f . However, if total separation occurs first, as in 8.9.1, the life is N_f .

8.9.3 *Microcracking*—The existence of surface microcracks (for example, as observed optically or by replicas) that are larger than some preselected size consistent with test objectives.

8.9.4 *Load (Stress) Drop*—It is acceptable to define failure in a manner related to the ability to sustain a tensile load (stress). Failure is often defined as the point at which the maximum load (stress) or elastic modulus (as measured when unloading from a peak tensile stress) decreases by approximately 50 % because of a crack or cracks being present. The exact method and the percentage drop should be documented.

8.10 *Test Duration*—Conduct testing at least until failure and preferably until fracture when needs dictate and economics allow. Record total accumulated cycles to failure (and fracture) by means of a cycle counter and check against a measure of elapsed time.

8.11 *Analysis of Data*—While it is not the purpose of this practice to specify data analysis techniques, the following example represents a common procedure utilized when time dependent strains are insignificant.

8.11.1 *Determination of the Cyclic Stress-Strain Curve*—Generate a cyclic stress-strain curve from paired values of stress amplitude and strain amplitude typically at material half-life. When practical, assume a simplifying mathematical expression for the cyclic stress-strain relationship (6).

NOTE 26—See Appendix X1 for expressions.

8.11.2 *Determination of the Strain-Life Relationship*—Generate a strain-life curve from paired values of total strain versus life or plastic strain versus life and elastic strain versus life. When practical, assume a simplifying mathematical relationship.

8.11.3 *Post-Mortem Examinations*—Metallographic examination of the failed specimens is desirable for a variety of purposes depending in part on user interests. Of foremost importance is a fractographic examination of the two surfaces to determine any unusual causes of failure that might invalidate the test results. Dimensional instability of the specimen (unintentional changes in specimen geometry) may occur during the test as a result of time-dependent inelastic deformations. The post-mortem examination should include an evaluation of this occurrence.

8.11.3.1 *Scanning electron microscopy and transmission electron microscopy of fracture replicas* are two common methods used in such an investigation. Ref (7) provides a useful basis for fractographic analysis. The techniques of light metallography and transmission electron microscopy are frequently used when studying structural changes that occur during fatigue or the effects of metallurgical structure on fatigue behavior.

9. Report

9.1 The list of items of information that follows is suggested for inclusion in any report. When publishing results in the open literature, include as much information as possible, independent of the author’s purpose. Routine laboratory reports need include only information pertinent to the end use of the test data. Minimum recommended requirements are indicated by an asterisk (*).

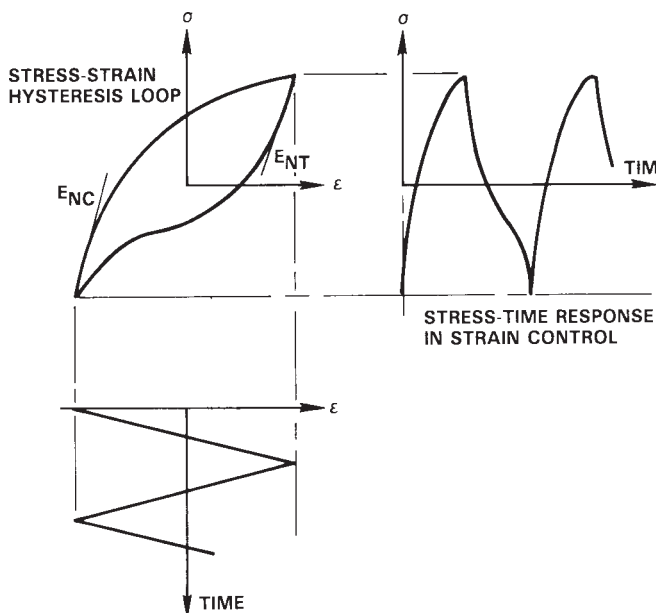


FIG. 8 Definitions of Tension and Compression Modulus for a Determination of Failure

9.1.1 *Specific Objective of Testing.*

9.1.2 *Specimen Materials Description (including processing) **.

9.1.2.1 All available mechanical properties including: yield strength or yield point, or both, ultimate tensile strength, percent elongation and gage length, percent reduction of area, Poisson's ratio, elastic modulus, true fracture strength, true fracture ductility, monotonic strain hardening exponent, monotonic strength coefficient, hardness number, and degree of cold work.

9.1.2.2 All available metallurgical characteristics: certified composition, grain size, crystallographic structure, preferred orientation with respect to specimen axis, general shape of grains (that is, equiaxed or elongated), second phase particles, and heat treatment. Include photomicrographs when possible to document the above properties.

9.1.3 *Specimen Description:*

9.1.3.1 Drawing of the specimen design, or reference to a geometry illustrated in this practice*.

9.1.3.2 Specimen fabrication and surface preparation procedures. If specimens were heat treated after fabrication, details must be provided*.

9.1.3.3 Deviations from recommended specimens configuration and specimen preparation procedures, if any.

9.1.4 *Description of Equipment:*

9.1.4.1 Specimen fixtures and the method used to maintain column rigidity during compression loading.

9.1.4.2 Testing machine.

9.1.4.3 Transducer system (that is, load transducer, deformation transducer).

9.1.4.4 Recorders and recording equipment.

9.1.5 *Description of Testing Environment:*

9.1.5.1 Gas, liquid, or vacuum; chemical composition of medium*.

9.1.5.2 Humidity of gaseous environment*.

9.1.5.3 Test temperature and temperature control method*.

9.1.5.4 Temperature sensing devices, location of temperature measurements, temperature variations in the gage section, any temperature variations in the cycle caused by adiabatic heating or magnetomechanical effects*.

9.1.6 *Testing Conditions and Procedures:*

9.1.6.1 Deviations from recommended procedures, if any.

9.1.6.2 Frequency of cycling (or cyclic strain rate) and description of waveform*.

9.1.6.3 Mode of control, that is, load or stress, continuous strain control, strain limit control, axial strain feedback, diametral strain feedback, etc*.

9.1.6.4 Ratio of axial strain limits (minimum and maximum) and total axial strain range*.

9.1.6.5 Procedure for maintaining constant axial strain limits.

9.1.6.6 Sign of strain at first quarter cycle, tensile or compressive.

9.1.7 *Test Results*—Tabulate the results for all test specimens. When used for purposes of structural analysis, the following three items are most important:

9.1.7.1 Initial, stabilized, or half-life values, or a combination of all three, of the dependent variables from the list of stress range, strain range, and inelastic strain range. Complete curves of these quantities throughout the specimen life. When complete curves are impractical, curves through intermittent values are acceptable*.

9.1.7.2 Relaxation or creep information also should be included for hold-time tests. This should include the values of the relaxed stress or of creep strain, the total amount of relaxation or creep, and the change in the amount of inelastic strain during the hold period. Periodic stress-time recordings obtained with an expanded time scale may be necessary to obtain the desired resolution and to fully characterize the relaxation or creep behavior*.

9.1.7.3 Total number of cycles to failure, N_f , and some additional life measure indicative of crack formation, including the definition used*.

9.1.8 *Results of Analysis for Cyclic Stress-Strain Properties*—If data analysis is performed by means of the relationships in Appendix X1, a tabulation of results should include the cyclic strain hardening exponent and the cyclic strength coefficient.

9.1.9 *Results of Analysis for Strain-Life Properties*—If data analysis is performed by means of the relationships in Appendix X1, a tabulation of results should include the fatigue strength exponent, the fatigue ductility exponent, the fatigue strength coefficient, and the fatigue ductility coefficient.

9.1.10 *Brief Description of the Fracture Characteristics*—Results of post-test metallography and scanning electron microscopy, identification of fracture mechanisms, and the relative degree of transgranular and intergranular cracking. Identify the mechanism or mode of cracking at the region of crack initiation, as well as in the region of crack growth, and note any differences.

APPENDIXES
(Nonmandatory Information)
X1. FUNCTIONAL RELATIONSHIPS

X1.1 For many metals, the following empirical relationships (8) have been used for a convenient description of low-cycle fatigue data. Please note that the subscript used is that for “plastic strain” rather than “inelastic strain.” They are used interchangeably in these fatigue equations.

X1.1.1 *Cyclic Stress-Strain Behavior:* The total strain amplitude for a completely reversed, strain-controlled test may be expressed as:

$$\frac{\Delta\epsilon}{2} = \frac{\Delta\sigma}{2E} + \frac{\Delta\epsilon_p}{2} \quad (\text{X1.1})$$

Recognizing that:

$$\Delta\sigma/2 = K'(\Delta\epsilon_p/2)^{n'} \quad (\text{X1.2})$$

we may express the cyclic stress-strain curve by the constitutive equation:

$$\frac{\Delta\sigma}{2} = \frac{\Delta\sigma}{2E} + \left(\frac{\Delta\sigma}{2K'}\right)^{1/n'} \quad (\text{X1.3})$$

X1.1.2 *Fatigue-Life Relationships:*

$$\Delta\sigma/2 = \sigma'_f(2N_f)^b \quad (\text{X1.4})$$

$$\Delta\epsilon_p/2 = \epsilon'_f(2N_f)^c \quad (\text{X1.5})$$

$$\Delta\epsilon/2 = [\sigma'_f/E](2N_f)^b + \epsilon'_f(2N_f)^c \quad (\text{X1.6})$$

where the variables are:

$\Delta\sigma$ = true stress range,

$\Delta\epsilon$ = true strain range,

$\Delta\epsilon_p$ = true plastic strain range,

N_f = cycles to failure, and

$2N_f$ = reversals to failure;

and the constants are:

n' = cyclic strain hardening exponent,

b = fatigue strength exponent,

c = fatigue ductility exponent,

K' = cyclic strength coefficient,

σ'_f = fatigue strength coefficient,

ϵ'_f = fatigue ductility coefficient, and

E = Young's modulus (modulus of elasticity).

NOTE X1.1—The user is cautioned that the equations presented in these appendices are not readily amenable to direct use in conventional statistical analysis procedures. Care should be taken in transforming the variables to logarithmic base and in defining the dependent and independent variables.

X2. CONVERSION FROM DIAMETRAL STRAIN TO AXIAL STRAIN FOR ISOTROPIC MATERIALS AND UNIFORM STRAINS

X2.1 Conversion of diametral strain to axial strain requires first the separation of the elastic and plastic components from the total strain by:

$$\epsilon = \epsilon_e + \epsilon_p \quad (\text{X2.1})$$

$$\epsilon_d = \epsilon_{de} + \epsilon_{dp} \quad (\text{X2.2})$$

where:

e = elastic component,

p = plastic component,

d = diametral component, and

ϵ = total axial strain.

Axial and diametral components of strain are related through Poisson's ratio, ν , as:

$$\epsilon_e = -\epsilon_{de}/\nu_e \text{ and } \epsilon_p = -\epsilon_{dp}/\nu_p \quad (\text{X2.3})$$

The above expressions may be rearranged to yield:

$$\epsilon_{dp} = -\epsilon_d/\epsilon_{de} \quad (\text{X2.4})$$

$$\epsilon = -\epsilon_{de}/\nu_e - (\epsilon_d - \epsilon_{de})/\nu_p \quad (\text{X2.5})$$

The diametral elastic strain, ϵ_{de} , is related to axial stress by means of Poisson's ratio and Young's modulus,

$$\epsilon_{de} = -(\nu_e\sigma)/E \quad (\text{X2.6})$$

Thus,

$$\epsilon = \sigma/E - \epsilon_d/\nu_p - (\nu_e\sigma)/(\nu_p)E \quad (\text{X2.7})$$

Assuming that plastic deformation occurs under a constant volume condition:

$$\nu_p = 1/2 \quad (\text{X2.8})$$

such that:

$$\epsilon = (\sigma/E)(1 - 2\nu_e) - 2\epsilon_d \quad (\text{X2.9})$$

In an experiment using a diametral strain gage and an axial load transducer, analogs of σ and ϵ_d are continuously available. Young's modulus, E , can be determined in accordance with Test Method E 111. The elastic portion of stress, σ , versus diametral strain, ϵ_d , provides σ/ϵ_{de} , which permits ν_e to be calculated.

X3. EXAMPLE OF MACHINING PROCEDURE

X3.1 The following procedure was developed for machining high-strength materials and results in minimal surface damage and alteration. It can also be applied to lower strength materials. As a conservative general measure, this procedure is recommended unless: (a) the experimental objective is to evaluate another given surface condition, or (b) it is known that the material under evaluation is relatively insensitive to surface condition.

X3.2 Procedure:

X3.2.1 In the final stages of machining to within 0.025 mm (0.001 in.) of the final diameter, remove small amounts of material and reduce the gage diameter 0.125 mm (0.005 in.) by cylindrical grinding at a rate of no more than 0.005 mm (0.0002 in.)/pass.

NOTE X3.1—Some cast materials will not benefit from successive removal of material in small amounts, although this procedure is probably not to their detriment.

X3.2.2 Remove the final 0.025 mm (0.001 in.) by polishing (see Note X3.2) longitudinally to impart a maximum of 0.2- μ m (8- μ in.) surface roughness.

NOTE X3.2—Extreme caution should be exercised in polishing to ensure that material is being properly removed rather than merely smeared

to produce a smooth surface. This is a particular danger in soft materials wherein material can be smeared over tool marks, thereby creating a potentially undesirable influence on crack initiation during testing.

X3.2.3 After polishing (see Note X3.2), all remaining grinding and polishing marks should be longitudinal. No circumferential machining should be evident when viewed at approximately 20 \times magnification under a light microscope.

X3.2.4 If specimen material is soft (for example, copper, aluminum, lead, etc.) at room temperature, final material removal can be performed by means of turning (rather than grinding) and subsequent polishing.

X3.2.5 Degrease the finished specimen. Caution should be exercised to assure that the degreasing agent does not alter material behavior (for example, methanol on titanium alloys).

X3.2.6 If heat treatment is necessary, conduct it before final machining or in such a manner as to avoid any surface damage; employ an inert protective atmosphere to eliminate surface oxidation.

X3.2.7 If surface observations are to be made, the test specimen may be electropolished in accordance with Methods E 3.

X3.2.8 Imprint specimen numbers on both ends of the test section in regions of low stress, away from grip contact surfaces.

REFERENCES

- (1) Mitchell, M. R., "Fundamentals of Modern Fatigue Analysis for Design," *Fatigue and Microstructures*, ASM Symp., St. Louis, MO, October 14–15, 1978, pp. 385–437.
- (2) Raske, D. T. and Morrow, JoDean, "Mechanics of Materials in Low Cycle Fatigue Testing," *Manual on Low Cycle Fatigue Testing*, ASTM STP 465, ASTM, 1969, pp. 1–25.
- (3) Feltner, C. E. and Mitchell, M. R., "Basic Research on the Cyclic Deformation and Fracture Behavior of Materials," *idem*, pp. 27–66.
- (4) Marsh, G. M., Robb, A. D., and Topper, T. H., "Techniques and Equipment for Axial Fatigue Testing of Sheet Steel," SAE Paper No. 730578, May 1973.
- (5) Little, R. E. and Jebe, E. H., *Manual on Statistical Planning and Analysis for Fatigue Experiments*, ASTM STP 588, ASTM, 1975. See also Little, R. E. and Jebe, E. H., *Statistical Design of Fatigue Experiments*, Applied Science Publishers, Ltd., London, 1975.
- (6) Landgraf, R. W., Morrow, JoDean, and Endo, T., "Determination of the Cyclic Stress-Strain Curve," *Journal of Materials (JMLSA)*, Vol 4, No. 1, March 1969, pp. 176–188.
- (7) "Fractography and Atlas of Fractographs," *Metals Handbook*, Am. Soc. Metals, Vol 9, Eighth Edition, 1974.
- (8) Ellis, J. R., "Results of an Interlaboratory Fatigue Testing Program Conducted on Alloy 800 at Room and Elevated Temperatures," *Journal of Testing and Evaluation (JTEVA)*, Vol 15, No. 5, September 1987, pp. 249–250.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).



Standard Practice for Liquid Penetrant Examination¹

This standard is issued under the fixed designation E 1417; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This practice establishes the minimum requirements for conducting liquid penetrant examination of nonporous metal, and nonmetal components.

1.2 The penetrant examination processes described in this practice are applicable to in-process, final, and maintenance (in-service) inspections. These processes are applicable for the detection of discontinuities, such as lack of fusion, corrosion, cracks, laps, cold shuts, and porosity, that are open or connected to the surface of the component under examination.

1.3 Caution must be exercised in the usage of elevated temperature with components manufactured from thermoplastic materials. Also, some cleaners, penetrants, and developers can have a deleterious effect on nonmetallic materials such as plastics. Prior to examination, tests should be conducted to ensure that none of the cleaning or inspection materials are harmful to the components to be examined.

1.4 The values stated in inch-pound units are regarded as standard. The SI units given in parentheses are for information only.

1.5 All areas of this practice may be open to agreement between the cognizant engineering organization and the supplier, or specific direction from the cognizant engineering organization.

1.6 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.* Specific precautionary statements are given in Notes 2 and 3.

2. Referenced Documents

2.1 The following documents form a part of this practice to the extent specified herein:

2.2 ASTM Standards:

D 95 Test Method for Water in Petroleum Products and Bituminous Materials by Distillation²

D 2512 Test Method for Compatibility of Materials with

Liquid Oxygen (Impact Sensitivity Threshold and Pass-Fail Technique)³

E 165 Test Method for Liquid Penetrant Examination⁴

E 543 Practice for Evaluating Agencies that Perform Non-destructive Testing⁴

E 1135 Test Method for Comparing the Brightness of Fluorescent Penetrants⁴

E 1316 Terminology for Nondestructive Examinations⁴

2.3 ASNT Document

ANSI/ASNT-CP-189 Standard for Qualification and Certification of Nondestructive Testing Personnel⁵

SNT-TC-1A Recommended Practice for Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing⁵

2.4 Military Standards:⁶

MIL-I-25135 Inspection Materials, Penetrant⁷

QPL 25135 Qualified Products of, Inspection Materials, Penetrant⁷

MIL-STD-410 Nondestructive Testing Personnel Qualification and Certification⁷

MIL-STD-792 Identification Marking Requirements for Special Purpose Components⁷

MIL-STD-1907 Liquid Penetrant and Magnetic Particle, Soundness Requirements for Materials, Parts, and Weldments⁷

MIL-STD-2175 Castings Classification and Inspection of⁷

QPL-AMS-2644 Qualified Products List, Inspection Material, Penetrant⁷

MIL-STD-6866 Inspection, Penetrant Method of⁷

MIL-STD-45662 Calibration System Requirements⁷

2.5 ANSI/ISO/AIA Standards:⁸

ANSI/NCSL Z540-1 General Requirement for Calibration Laboratories and Measuring Test Equipment

ISO 10012-1 Quality Assurance Requirements for Measuring Test Equipment

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 15.03.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.03.

⁵ Available from American Society for Nondestructive Testing, 1711 Arlington Plaza, P.O. Box 28518, Columbus, OH 43228-0518.

⁶ Copies of specifications, standards, drawings, and publications required by manufacturers in connection with specific acquisition functions should be obtained from the contracting activity or as directed by the contracting officer.

⁷ Available from Standardization Documents Order Desk, Bldg. 4 Section D, 700 Robbins Ave., Philadelphia, PA 19111-5094, Attn: NPODS.

⁸ Available from American National Standards Institute, 11 West 42nd Street, 13th Floor, New York, NY 10036.

¹ This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee E-7 on Nondestructive Testing and is the direct responsibility of Subcommittee E07.03 on Liquid Penetrant and Magnetic Particle Methods.

Current edition approved Feb. 10, 1999. Published April 1999. Originally published as E 1417 – 91. Last previous edition E 1417 – 95a.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 05.01.

NAS 410 Certification and Qualification of Nondestructive Test Personnel

2.6 *SAE Standard*:⁹

AMS 2644 Inspection Material, Penetrant

2.7 *DoD Contracts*—Unless otherwise specified, the issues of the documents that are DoD adopted are those listed in the issue of the DoDISS (Department of Defense Index of Specifications and Standards) cited in the solicitation.

2.8 *Order of Precedence*—In the event of conflict between the text of this practice and the references cited herein, the text of this practice takes precedence.

3. Terminology

3.1 *Definitions*:

3.1.1 The terminology relating to liquid penetrant examination that appears in Terminology E 1316 shall apply to the terms used in this practice.

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard*:

3.2.1 *aerospace*—any component that will be installed on a system that flies.

3.2.2 *cognizant engineering organization*—the company, agency, or other authority responsible for the design or after delivery, end use of the system or component for which liquid penetrant examination is required; in addition to design personnel, this may include personnel from material, and process engineering, stress analysis, NDT or quality groups and others, as appropriate.

3.2.3 *component*—the part(s) or element(s) of a system described, assembled, or processed to the extent specified by the drawing.

3.2.4 *final examination*—the final examination performed for the acceptance of the item. Any change to the item's surface such as machining, grinding, welding, heat treatment, or etching by subsequent manufacturing operation, may render the previous examination invalid, requiring reexamination of all affected surfaces, unless otherwise approved in the contract.

3.2.5 *in-process*—that which occurs during manufacturing before a component is in final form.

3.2.6 *in-service*—refers to components that are in use or storage for their intended function.

3.2.7 *linear indication*—penetrant indications with at least a three to one length to width ratio.

3.2.8 *reprocess*—repeat, after cleaning, the application and appropriate processing of penetrant, emulsifier (as required), and developer (as required).

3.2.9 *rounded indication*—penetrant indication whose length to width ratio is less than three-to-one.

3.2.10 *supplier*—the organization contracted to supply the material, parts, or assembly.

3.2.11 *turbine engine critical components*—any component on turbine engine designated by the manufacturer as “critical.”

4. Significance and Use

4.1 This practice establishes the basic parameters for controlling the application of the liquid penetrant method. This practice is written so it can be specified on the engineering drawing, specification, or contract. It is not a detailed how-to procedure to be used by the inspector and, therefore, must be supplemented by a detailed procedure that conforms to the requirements of this practice. Test Method E 165 contains information to help develop detailed how-to requirements.

5. Classification

5.1 Penetrant examination processes and materials are classified in accordance with the material classification contained in MIL-I-25135 or AMS 2644. Penetrant systems covered by this practice shall be of the following types, methods, and sensitivity levels:

5.1.1 *Type*:

5.1.1.1 *Type I*—Fluorescent dye.

5.1.1.2 *Type II*—Visible dye.

5.1.2 *Method*:

5.1.2.1 *Method A*—Water washable.

5.1.2.2 *Method B*—Post-emulsifiable, lipophilic.

5.1.2.3 *Method C*—Solvent-removable.

5.1.2.4 *Method D*—Post-emulsifiable, hydrophilic.

5.1.3 *Sensitivity*—(These levels apply to Type I penetrant systems only. Type II penetrant systems have only a single sensitivity and it is not represented by any of the levels listed as follows):

5.1.3.1 *Sensitivity Level ½*—Very low.

5.1.3.2 *Sensitivity Level 1*—Low.

5.1.3.3 *Sensitivity Level 2*—Medium.

5.1.3.4 *Sensitivity Level 3*—High.

5.1.3.5 *Sensitivity Level 4*—Ultrahigh.

5.2 Developers shall be of the following forms:

5.2.1 *Form a*—Dry powder.

5.2.2 *Form b*—Water-soluble.

5.2.3 *Form c*—Water-suspendable.

5.2.4 *Form d*—Nonaqueous for Type I fluorescent penetrant.

5.2.5 *Form e*—Nonaqueous for Type II visible dye.

5.2.6 *Form f*—Specific application.

5.3 Solvent removers shall be of the following classes:

5.3.1 *Class 1*—Halogenated.

5.3.2 *Class 2*—Nonhalogenated.

5.3.3 *Class 3*—Specific application.

6. General Practices

6.1 *Responsibility for Examination*—Unless otherwise specified in the contract or purchase order, the cognizant engineering organization is responsible for the performance of all examination requirements as specified herein. The cognizant engineering organization shall specify more stringent requirements than the minimum specified in this practice when necessary to ensure that a component meets its functional and reliability requirements. Except as otherwise specified, the supplier may utilize his own facilities or any other facilities suitable for the performance of the examination requirements specified herein. The purchaser reserves the right to perform

⁹ Available from Society of Automotive Engineers, 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA 15096.

any of the examinations set forth in this practice where such examinations are deemed necessary to ensure that supplies and services conform to prescribed requirements.

6.2 Specifying—When examination is required in accordance with this practice the orders, contracts, or other appropriate documents shall specify the criteria by which the acceptability of components is to be evaluated. An example of such criteria is in MIL-STD-1907; however, other criteria may be utilized. Engineering drawings or other applicable documents shall indicate the acceptance criteria for the entire component; zoning may be used. Examination on a sampling basis shall not be allowed unless specifically permitted by the contract.

6.3 Personnel Qualification—Personnel performing examinations to this practice shall be qualified and certified in accordance with ASNT Personnel Qualification SNT-TC-1A, ANSI/ASNT CP-189, NAS 410, or MIL-STD-410 for military purposes, or as specified in the contract or purchase order.

6.4 Agency Qualification—The agency performing this practice may be evaluated in accordance with Practice E 543.

6.5 Materials:

6.5.1 Qualified Materials—Only materials listed or approved for listing on QPL-25135 or QPL-AMS 2644 (reference MIL-I-25135 or AMS 2644) shall be utilized for penetrant examination. Materials not conforming to the requirements of MIL-I-25135 or AMS 2644 may be used only when a waiver is obtained from the cognizant engineering organization.

6.5.2 Liquid Oxygen (LOX) Compatible Materials—Penetrant materials tested in accordance with Test Method D 2512 and passing at 70 ft-lbf (95 J) or higher, shall be used on LOX wetted surfaces that cannot be thoroughly post-cleaned. Use of these materials shall be in accordance with the material supplier instructions and shall require approval of the cognizant engineering organization when such materials do not meet the requirements of MIL-I-25135 or AMS-2644.

6.6 Equipment and Facilities—Processing equipment used in the penetrant examination process shall be constructed and arranged to permit a uniform and controlled operation. The equipment shall meet all applicable national and local safety requirements as well as the requirements specified herein.

6.6.1 Viewing Areas—Areas where parts are reviewed shall be kept clean at all times. For visible dye examination, Type II, the lighting system shall provide at least 100 fc (1000 lx) of visible light when measured at the examination surface. For stationary fluorescent dye examination, Type I, the ambient visible light background shall not exceed 2 fc (20 lx) at the examination surface. The black lights shall provide a minimum of 1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ at the examination surface. Black lights shall meet the requirements of 7.8.5.1. Viewing areas for portable fluorescent dye examination shall utilize dark canvas, photographer's black cloth, or other methods to reduce the visible light background to the lowest possible level during examination and black light intensity shall meet the above requirements.

6.6.2 Drying Oven—When components are oven dried, the dryer must be a forced-air recirculating type. In automated systems, where parts are dried by radiant heat and forced air, the travel speed of the system shall be such as to preclude

overdrying of parts. The forced air does not have to be recirculating but must preclude contamination of the parts. The temperature shall be controlled with a calibrated device capable of maintaining the oven temperature at $\pm 15^\circ\text{F}$ of the temperature for which it is set. The oven shall not exceed 160°F (71°C). The temperature indicator shall be accurate to $\pm 10^\circ\text{F}$ of the actual oven temperature.

6.7 Written Procedures—All liquid penetrant examination procedures are similar for many components, a master written procedure may be utilized that covers the details common to a variety of components. As a minimum, the following information is required either in individual procedures, or a master procedure, or a combination thereof:

6.7.1 Details of the precleaning and etching process, including the materials used and specification or other document controlling the examination process, the drying parameters and the processing times. If these operations are performed by other than examination personnel, details concerning the operations may be specified in other documents but must be referenced in the procedure(s). Reference Test Method E 165 for detailed cleaning methods and instructions.

6.7.2 Classification of the penetrant examination materials required in accordance with Section 5 and MIL-I-25135 or AMS-2644.

6.7.3 Complete processing parameters for the penetrant examination materials including concentrations, application methods, dwell times, drying times, temperatures, and controls to prevent excessive drying of penetrant or overheating of component, as appropriate. Reference Test Method E 165 for additional details.

6.7.4 Complete examination/evaluation requirements including light intensities (both examination and ambient), the accept/reject criteria and the method and location of marking. Reference Test Method E 165 for additional details.

6.7.5 Identification of the components or areas within a component to be examined in accordance with the procedure.

6.7.6 Complete postcleaning procedures. If postcleaning is performed by other than examination personnel, details concerning this operation may be specified in other documents, but must be referenced in the procedure. Reference Test Method E 165 for additional details.

6.8 Examination Sequence—Final penetrant examination shall be performed after completion of all operations that could cause surface-connected discontinuities or operations that could expose discontinuities not previously open to the surface. Such operations include, but are not limited to, grinding, welding, straightening, machining, and heat treating.

6.8.1 Surface Treatment—Final penetrant examination may be performed prior to treatments that can smear the surface but not by themselves cause surface discontinuities. Such treatments include, but are not limited to, vapor blasting, deburring, sanding, buffing, sandblasting, lapping, or peening. Performance of final penetrant examination after such surface treatments requires that etching be included in the precleaning operation unless otherwise agreed on between the cognizant engineering organization and the NDT facility.

NOTE 1—Final penetrant examination should always precede peening.

6.8.2 *Surface Coatings*—All coatings and other surface conditions, such as, paint, plating, corrosion, etc. shall be removed from the area to be examined prior to penetrant examination. The penetrant examination shall precede any surface finish, such as anodize, except for inservice parts that may be examined without removing the anodize.

6.9 *Material and Process Limitations*—Not all penetrant sensitivity levels, materials, and process methods are applicable to all examination requirements. The sensitivity level shall be adequate for the intended purpose of the examination. Unless there is an approval for deviation given by the cognizant engineering organization, the following selections are mandatory or forbidden, as indicated:

6.9.1 Forms *a* and *b* (dry powder and water soluble) developers shall not be used with Type II (visible dye) penetrant systems. This is not intended to prohibit the use of a Form *f* developer that has been qualified with a particular Type II system in accordance with MIL-I-25135 or AMS-2644.

6.9.2 Type II penetrant examination shall not be used for final acceptance examination of aerospace products. In addition, Type II penetrant examination shall not be used prior to a Type I penetrant examination of the same surface. This is not intended to eliminate the use of in-process Type II inspections where subsequent fabrication/forming operations remove the surfaces inspected.

6.9.3 The maintenance or overhaul examination of turbine engine critical components shall be done only with Type I, Methods C or D (solvent removable or post emulsified, hydrophilic) processes and either sensitivity Levels 3 or 4 penetrant materials.

6.10 *Records*—The results of all penetrant examinations shall be recorded. All recorded results shall be identified, filed, and made available to the cognizant engineering organization upon request. Records shall provide for traceability to the specific part or lot inspected. As a minimum the records shall include: a reference to the specific procedures used; location, classification, and disposition of relevant indications; the inspector's inspection stamp, electronic ID or signature; and the date of examination. Records shall be kept for a minimum of three years or as otherwise specified in the purchase order or contract.

7. Specific Practices (Fig. 1)

7.1 *Surface Preparation*—All surfaces to be examined shall be clean, dry, and free of soils, oil, grease, paint and other coatings (except as allowed by 6.8.2), corrosion products, scale, smeared metal, welding flux, chemical residues, or any other material that could prevent the penetrant from entering discontinuities, suppress dye performance, or produce unacceptable background. Cleaning methods, including etching, selected for a particular component shall be consistent with the contaminants to be removed and shall not be detrimental to the component or its intended function.

7.1.1 Solvent cleaning, that includes vapor degreasing, solvent soak, ultrasonic cleaning, or aqueous-based cleaning solutions shall be used for the removal of oils, greases, waxes and as the final cleaning step prior to penetrant examination unless etching is required.

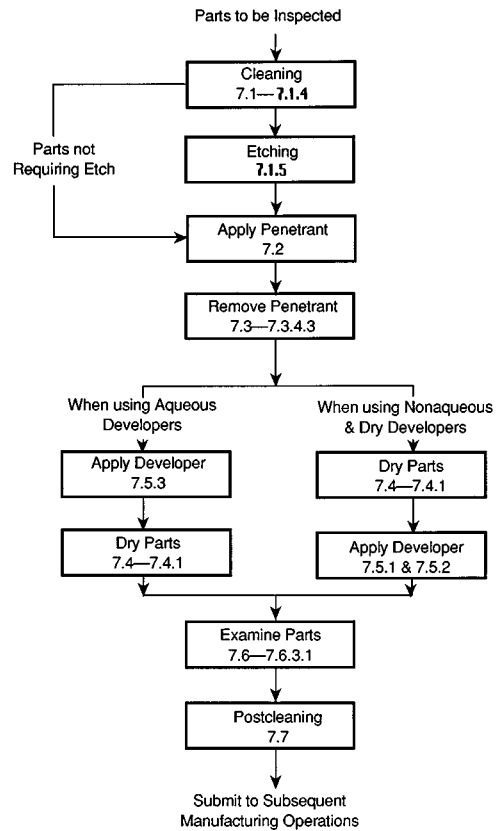


FIG. 1 Process Flow Chart

7.1.2 Chemical cleaning shall be used for the removal of paints, varnishes, scale, carbon, or other contaminants that are not removable by solvent cleaning methods.

NOTE 2—**Precaution:** Caution should be exercised when using chemicals because they may irritate the eyes or skin.

7.1.3 Mechanical cleaning shall be used for the removal of soils and other contaminants that cannot be removed by solvent or chemical cleaning methods.

7.1.4 Grit blasting without etching may be an acceptable cleaning method if it can be demonstrated that a sufficiently fine abrasive (150 grit or finer) will not cause peening and can be removed by a detergent or alkaline cleaner.

7.1.5 Etching, unless otherwise specified, shall be performed when evidence exists that previous cleaning, surface treatments, or service usage has produced a surface condition that degrades the effectiveness of penetrant examination. Etching processes shall be developed and controlled to prevent damage to the component under test. Etching is not required for those features such as close tolerance holes, close tolerance surfaces, faying surfaces, etc., where the function of the component or assembly would be degraded. Etching is not required for intermediate examination when the surface(s) are not retained in the final part/component configuration or when the final penetrant examination is preceded by etching.

7.2 *Penetrant Application*—Unless otherwise specified, the entire surface of the component shall be covered with penetrant. Large components may be examined in sections. Penetrant shall be applied by spraying, dipping, brushing, or other

method to provide coverage as required. The component, penetrant, and ambient temperatures shall all be in the range from 40 to 125°F (4 to 52°C) unless otherwise specified.

7.2.1 Penetrant Dwell Time—The dwell time, unless otherwise specified, shall be a minimum of 10 min. For temperatures between 40 and 50°F (4.4 and 10°C), dwell time shall be a minimum of 20 min. Rotate or otherwise move components, if required, during dwell to prevent pooling of the penetrant. For dwell times greater than 2 h, the penetrant shall be reapplied as required to prevent drying. The component shall be immersed in penetrant, if that is the application method, for no longer than half the total dwell time.

7.3 Penetrant Removal:

7.3.1 Method A Process—Water-washable penetrants shall be removed with a manual or automated water spray, or a manual wipe, or an air agitated immersion wash.

7.3.1.1 Manual Spray—Water pressure adequate to remove the penetrant shall be used but shall not exceed 40 psi (275 kPa). Water temperature shall be between 50 to 100°F (10 to 38°C). When hydro-air nozzles are used the air pressure shall not exceed 25 psi (172 kPa). A coarse spray shall be used with a minimum distance of 12 in. (30 cm), when possible between the spray nozzle and the part. Washing shall be conducted under appropriate illumination. Caution shall be exercised to ensure that over-washing does not occur. If over-washing occurs, the component(s) shall be thoroughly dried and reprocessed. After rinsing, drain water from the component and utilize repositioning, suction, blotting with clean absorbent materials, or filtered shop air at less than 25 psi (172 kPa) to prevent pooling in cavities, recesses, and pockets.

NOTE 3—Caution: Over-removal of the surface penetrant shall require that the component be cleaned and reprocessed. A good indicator of over-wash or over-removal of the surface penetrant is evidenced by the total lack of residue that may occur on all or a specific area of the part, see Test Method E 165.

7.3.1.2 Automated Spray—For automated spray systems, the wash parameters shall be such that the requirements of this practice are met. Water temperature shall be maintained between 50 to 100°F (10 to 38°C).

7.3.1.3 Manual Wipe—Excess penetrant shall be removed with a clean, dry, lint-free cloth or absorbent toweling. The remainder of the surface penetrant shall then be removed with a water-dampened cloth or towel. The surface shall not be flushed with water and the cloth or towel shall not be saturated with water. The component shall be examined under appropriate illumination to ensure adequate removal of the surface penetrant. The surface shall be dried by blotting with a clean, dry towel or cloth, or by evaporation.

7.3.1.4 Immersion—Immersion wash may be utilized if the water is air agitated and good circulation is maintained throughout the wash operation. Water temperature shall be maintained between 50 and 100°F (10 and 38°C).

7.3.2 Method B Process—Lipophilic post-emulsifiable penetrant shall be removed by air agitated water immersion or with a water spray or hydro-air spray rinse after application of an emulsifier and an appropriate emulsifier dwell time. Water pressure and temperature and air pressure shall meet the requirements specified for Method A.

7.3.2.1 Lipophilic emulsifiers shall be applied by immersion or flowing. Lipophilic emulsifiers shall not be applied by spray or brush and shall not be agitated while on the surface of the component. Maximum dwell times, unless otherwise specified, shall be 3 min for Type I systems and 30 s for Type II systems, or as recommended by the manufacturer. Actual dwell times shall be the minimum necessary to produce an acceptable background on the component.

7.3.2.2 Rinsing—After the appropriate emulsifier dwell time, emulsification shall be stopped by immersion or water spray. For spray removal of the penetrant/emulsifier mixture, the parameters of 7.3.1 apply. Dwell time in an agitated immersion rinse, if used, shall be the minimum required to remove the emulsified penetrant. Examine the components under appropriate illumination after rinsing. Clean and reprocess those components with excessive background. After rinsing, drain water from the component and utilize repositioning, suction, blotting with clean absorbent materials or filtered shop air at less than 25 psi (172 kPa) to prevent pooling. Caution shall be exercised to ensure that the air nozzle is held at a sufficient distance from the part to ensure that the developing indication is not smeared by the air blast. If over-emulsification is observed, the component must be cleaned and reprocessed.

7.3.3 Method C Process—Solvent-removable penetrants are removed by first wiping the excess penetrant with a clean, lint-free, dry cloth or absorbent toweling. The remainder of the surface penetrant is then removed with a solvent-dampened lint-free cloth or towel. The surface of the component shall not be flushed with solvent and the cloth or towel shall not be saturated with solvent. The component and cloth or toweling shall be observed under appropriate illumination to ensure adequate removal of the surface penetrant. Over-removal of the surface penetrant shall require the component to be cleaned and reprocessed. The surface shall be dried by blotting with a lint-free, dry cloth or towel, or by evaporation. Method C can also be used for water-washable penetrants using water or solvent for removal of excess penetrant.

7.3.4 Method D Process—Hydrophilic post emulsifiable penetrant shall be removed with a water prerinse, application of the hydrophilic emulsifier and then a postrinse.

7.3.4.1 Rinse—The water prerinse shall be applied for the minimum amount of time required to achieve removal of the bulk surface penetrant. The rinse parameters of 7.3.1 shall apply.

7.3.4.2 Hydrophilic emulsifier shall be applied by immersion, flowing, foaming, or spray. For immersion applications, the concentration, percent volume, shall be no higher than specified by the penetrant system supplier and shall not exceed that for which the system was qualified. For immersion applications, the emulsifier or part may be mildly agitated. Dwell time shall be the minimum required for adequate surface penetrant removal, but unless otherwise approved by the cognizant engineering organization, shall not exceed 2 min. For spray applications, the concentration shall not exceed 5 %.

7.3.4.3 Postrinse—After the application and dwell of the hydrophilic emulsifier, the component being examined shall be rinsed with water. The spray rinse parameters of 7.3.1 shall

apply for the hydrophilic emulsifier. Evidence of over-removal shall require the part to be cleaned and reprocessed. Excessive background may be removed by additional (touchup) application of the hydrophilic emulsifier provided its maximum allowable dwell time is not exceeded. Additional rinsing of the touch-up area will be required after application and dwell of the hydrophilic emulsifier. If careful touch-up application of the hydrophilic emulsifier does not produce an acceptable background, the part shall be cleaned and reprocessed. Manual systems shall require the use of appropriate illumination to ensure adequate penetrant removal.

7.4 Drying—The components shall be dried prior to the application of dry developer, nonaqueous developer, or examination without developer. The components should be drained of excess water but not dried before the application of aqueous soluble or suspendable developers. The components shall be dried after the application of aqueous developers.

7.4.1 Drying Parameters—Components shall be air dried at room temperature or in a drying oven. Oven temperatures shall not exceed that specified in 6.6.2. Drying time shall only be that necessary to adequately dry the part. Components shall be removed from the oven immediately after drying. Components shall not be placed in the oven with pooled water or pooled aqueous solutions/suspensions.

7.5 Developing—Unless otherwise specified, developers shall be utilized for penetrant examination. Type I penetrants that are qualified to MIL-I-25135 or AMS-2644 may be used without developer under either one of the following conditions: manufacturing examination of aluminum and magnesium castings classified by MIL-STD-2175 as Class 3 or 4, or with the expressed approval of the cognizant engineering organization. Minimum and maximum penetrant bleedout times without developer shall be 10 min and 2 h respectively. When developer is used, components that are not inspected before the maximum bleedout time shall be cleaned and reprocessed. When developer is not used, components that are not inspected before the maximum bleedout time shall be reprocessed.

7.5.1 Dry Developers—Components shall be dry before the developer is applied. Dry developer shall be applied in such a manner as to contact all surfaces to be inspected. Excess dry developer may be removed after the development time by light tapping or light air blow-off not exceeding 5 psi. Minimum and maximum developer dwell times shall be 10 min and 4 h, respectively. Dry developers shall not be used with Type II penetrants.

7.5.2 Nonaqueous Developers—Components, or areas requiring examination, shall be dry before application of the developer. Nonaqueous developer shall be applied by spraying. For Type I penetrants, the developer shall be applied as a uniform thin coating over the entire surface to be inspected. For Type II penetrants, the developer shall be applied over the entire surface to form a uniform, white coating to provide suitable color contrast for the penetrant indications. The uniformity and thickness of the developer coating is important for both types of penetrant systems. If the developer coating thickness is too heavy for Type I systems such that the metallic surface is completely masked, the component shall be cleaned and reprocessed. Unless otherwise specified, the minimum and

maximum development times for nonaqueous developers are 10 min and 1 h respectively. For nonaqueous suspendable developer, the developer container shall be frequently agitated during application.

7.5.3 Aqueous Developer—Aqueous soluble developers shall not be used with Type II penetrants or Type I, Method A penetrants. Aqueous suspendable developers can be used with both Type I and Type II penetrants. Aqueous developers may be applied to the component after rinsing. Developers shall be applied by spray, flowing, or immersion. The applied developer shall not be allowed to puddle and shall completely cover all surfaces to be inspected. Components shall be air dried or oven dried to the requirements of 7.4.1. Minimum and maximum development times, after the component is dry, are 10 min and 2 h. Aqueous suspendable developers must be either constantly agitated to keep the particles from settling out of suspension or they must be thoroughly agitated prior to use to ensure that particles are in suspension.

7.6 Inspection—The inspection area shall meet the appropriate requirements of 7.8.5.3. Components shall be inspected before the maximum developing time, and if required by specific procedures, monitored periodically during the developing time. Components not inspected before the maximum developing time shall be cleaned and reprocessed.

7.6.1 Type I Processes—Inspector's vision shall be dark adapted for a minimum of 1 min prior to examining components. Longer times for more complete adaptation should be used if necessary. Inspectors shall not wear photochromic or permanently darkened lenses while processing or reviewing parts under black light. Black lights shall meet the requirements of 7.8.5.1. All areas of fluorescence shall be interpreted. Components with no indications or only nonrelevant indications shall be accepted. Components with relevant indications shall be evaluated with respect to the applicable acceptance criteria. Components with excessive background fluorescence shall be cleaned and reprocessed.

7.6.2 Type II Processes—All indications shall be interpreted. Components with no indications or only nonrelevant indications shall be accepted. Components with relevant indications shall be evaluated with respect to the applicable acceptance criteria. Components with excessive background shall be cleaned and reprocessed.

7.6.3 Evaluation—All indications found during inspection shall be evaluated in accordance with specified acceptance criteria.

7.6.3.1 Indication Verification—If allowed by the specific procedure, indications may be evaluated by wiping the indication with a solvent-dampened swab or brush, allowing the area to dry, and redeveloping. Redevelopment time shall be as long as the original development time, except nonaqueous redevelopment time shall be 3 min minimum. If no indication reappears, the original indication is considered false. This procedure may be performed twice for any given original indication.

7.6.3.2 Discontinuity Removal—When allowed by the specific examination procedure, discontinuity(ies) may be removed by an approved procedure such as sanding, either powered or manual, or grinding to determine the depth and

extent of the discontinuity(ies). After the mechanical operation, the area shall be cleaned, etched (if permitted), and reexamined. The process used for reexamination shall be at least as sensitive as the original process.

7.6.4 *Sizing*—Either the indication or the discontinuity may be sized:

7.6.4.1 *Indication Sizing*—When sizing indications, the area shall be carefully evaluated under appropriate lighting after the required development time. Black and visible lights shall meet the requirements of 6.6.1.

7.6.4.2 *Discontinuity Sizing*—When sizing discontinuities, the area may be carefully wiped with solvent and the discontinuity measured using a scale and appropriate light that meets the requirements of 6.6.1. Discontinuities that are too small to be seen may be carefully wiped clean with solvent and the indication measured just as it is forming.

7.7 *Postcleaning*—Components shall be cleaned after examination to remove developers and other examination material residues if these are detrimental to subsequent operations or the components' intended function.

7.8 *Quality Control Provisions*—This section provides the controls necessary to ensure that the penetrant system materials and equipment provide an acceptable level of performance. The frequency of the required checks, as shown in Table 1 is based upon a facility operating in multi-shift operations daily. For facilities operating less frequently, the frequency of daily and weekly checks may be reduced, but must be performed prior to examinations. Other checks should be performed at the same frequency as for full-time operations. The NDT facility may perform these process control operations or contract for their performance with an independent laboratory.

7.8.1 *Material Conformance (New)*—Prior to being placed in use, the conformance of materials to the requirements of MIL-I-25135 or AMS-2644 shall be verified, normally by a

certified report from the supplier. Use of materials not conforming to MIL-I-25135 or AMS-2644 shall be approved by the cognizant engineering organization prior to use and shall be allowed only when materials conforming to MIL-I-25135 or AMS-2644 are inadequate for the particular application. Operators shall be alert to any changes in performance, color, odor, consistency, or appearance of all penetrant materials in use and shall conduct the appropriate checks and tests if they have reason to believe the quality may have deteriorated. Penetrant examination shall be conducted in accordance with this practice only after acceptable quality of materials has been established.

7.8.2 *Material Checks (In-Use)*—The tests identified in 7.8.2.1 through 7.8.4, whichever is applicable, shall be conducted on in-use materials at frequencies specified in Table 1 and recorded. Records shall be maintained in a specified location for audit by the cognizant engineering organization. Materials that are not recovered or reused, or both, such as materials packaged in aerosol containers, are not subject to the requirements of 7.8.2.

7.8.2.1 *Penetrant Contamination*—The in-use penetrant materials shall be viewed at intervals specified in Table 1 to determine if any of the following conditions are evident: precipitates, waxy deposits, white coloration, separation of constituents, surface scum, or any other evidence of contamination or breakdown. When any of the above conditions are detected the material shall be discarded or modified in accordance with the manufacturers' instructions.

7.8.2.2 *Water Content (Method A Penetrants Only)*—Water content of Method A penetrants shall be checked using the appropriate test method at the frequency specified in Table 1. The concentration of Method A, water-based penetrant shall be checked with a refractometer at the frequency specified in Table 1. The water content must be maintained according to manufacturer's recommendation. Water content of Method A, non-water-based penetrant shall be checked in accordance with Test Method D 95 or Karl Fischer Method as described in Annex A1. If the water content of the in-use penetrant exceeds 5 %, then either discard the penetrant or add sufficient unused penetrant to reduce the water content below 5 %.

7.8.2.3 *Water Content (Lipophilic Emulsifier)*—Water content shall be checked in accordance with Test Method D 95 or Karl Fischer method as described in Annex A1 at the frequency specified in Table 1. If the used emulsifier exceeds the water content of the original emulsifier by more than 5 % it shall be discarded or corrected, as appropriate.

7.8.2.4 *Developer Condition (Dry)*—Dry developer shall be checked at the frequency specified in Table 1 to ensure it is fluffy and not caked. Caked dry developer is unsatisfactory and shall be replaced. For dry developer that is recycled, ten or more fluorescent specks observed under black light in a 4-in. (10-cm) diameter circle when a sample is spread into a thin layer on a flat surface, is unsatisfactory.

7.8.2.5 *Developer Contamination (Aqueous: Soluble and Suspendable)*—Aqueous developers shall be checked for fluorescence, as appropriate, and coverage at the frequency specified in Table 1. Immerse a clean aluminum panel, about 3 by 10 in. (8 by 25 cm) and remove for drying and observation under

TABLE 1 Tests and Test Frequency

Tests	Frequency	Paragraph
System Performance	Daily	7.8.3
Penetrant Contamination	Daily	7.8.2.1
Developer Contamination (Aqueous: Soluble and Suspendable)	Daily	7.8.2.5
Developer Concentration (Aqueous: Soluble and Suspendable)	Weekly	7.8.2.6
Developer Condition (Dry)	Daily	7.8.2.4
Water Wash Pressure ^A	Each shift	7.8.5.4
Water Wash Temperature ^A	Each shift	7.8.5.4
Back Light Intensity	Daily	7.8.5.1
Inspection Area Cleanliness ^A	Daily	7.8.5.3
Water-Based Penetrant Water Concentration	Weekly	7.8.2.2
Non-Water-Based Penetrant (Method A) Water Content	Monthly	7.8.2.2
Emulsifier Concentration (Hydrophilic)	Weekly	7.8.2.7
Penetrant Sensitivity ^B	Weekly	7.8.4.3
Fluorescent Brightness (Test Method E 1135) ^B	Quarterly	7.8.4.1
Penetrant Removability ^B	Monthly	7.8.4.2
Emulsifier Removability ^B	Monthly	7.8.4.4
Emulsifier Water Content (lipophilic)	Monthly	7.8.2.3
Drying Oven Calibration ^C	Quarterly	7.8.5.5
Light Meter Calibration ^C	Semiannually	7.8.5.2

^A Need not be recorded.

^B These checks can be combined and performed during the system performance check in accordance with 7.8.4.

^C The maximum time between verifications may be reduced or extended when substantiated by actual technical/reliability data.

a black light. Failure to uniformly wet the panel or observed fluorescence is unsatisfactory and the developer shall be replaced.

7.8.2.6 Developer Concentration (Aqueous: Soluble and Suspendable)—Aqueous developer concentration shall be checked with a hydrometer at the frequency specified in Table 1. Concentration shall be in accordance with the developer supplier's recommendation.

7.8.2.7 Emulsifier Concentration (Hydrophilic)—Concentration of emulsifier solutions shall be checked with a refractometer at the frequency specified in Table 1 for conformance to 7.3.4.2. A longer period may be used if a plan justifying this extension is prepared by the NDT facility and approved by the cognizant engineering organization.

7.8.3 System Performance—The penetrant system shall be checked at the frequency specified in Table 1 for performance. The check shall be made with known defect standards. The check shall be performed by processing the known defect standard through the system using appropriate processing parameters and comparing the indications thus obtained to those obtained with unused samples of the same materials. This comparison may be made with other records of previously obtained indications or with a similar known defect standard processed with the unused materials. When the performance of the in-use materials falls below the performance of the unused materials, the in-use material quality shall be checked in accordance with the appropriate sections in 7.8.4 prior to conducting any penetrant examination in accordance with this practice. The unacceptable used material shall be discarded.

7.8.3.1 Known Defect Standards—The selection and procedures for the maintenance of known defect standards shall be approved by the cognizant engineering organization. The defects in the standard shall be capable of demonstrating unsatisfactory system performance. The maintenance procedures shall ensure that cleaning of the standards between usages is adequate and that physical changes in the standard that make it unsuitable for use can be detected.

7.8.4 System Checks—The test specified in 7.8.4.1 through 7.8.4.4 shall be made at frequencies specified in Table 1. These periodic checks of penetrant materials may be waived if the known defect standard(s) selected for the system performance check adequately monitor the serviceability of the penetrant materials and the results of the daily performance checks are documented in sufficient detail to allow an audit to detect deterioration of performance below satisfactory levels.

7.8.4.1 Penetrant Brightness—Brightness tests of in-use fluorescent penetrants shall be conducted at the frequency specified in Table 1. Tests shall be in accordance with Test Method E 1135 with a sample of the unused penetrant serving as the reference. Brightness values less than 90 % of the unused penetrant brightness are unsatisfactory and the in-use penetrants shall be discarded or otherwise corrected, as appropriate.

7.8.4.2 Penetrant Removability (Method A Only)—The removability of Method A penetrants shall be tested at the frequency specified in Table 1. The test piece specified in MIL-I-25135 or AMS-2644 shall be used for this test. Tests shall be by normal wash parameters used when processing

production parts with a sample of the unused penetrant serving as a reference or in accordance with MIL-I-25135 or AMS-2644. If the removability is noticeably less than the reference, the in-use penetrant shall be replaced.

7.8.4.3 Penetrant Sensitivity—The sensitivity of penetrants shall be checked in accordance with the procedures of 7.8.3 when the in-use penetrant is used with the unused emulsifier, if applicable, and unused developer if applicable and compared to the results obtained using the unused penetrant, unused emulsifier, if applicable, and unused developer, if applicable. Sensitivity of the in-use penetrant noticeably less than the reference is unsatisfactory.

7.8.4.4 Emulsifier Removability—Removability of the in-use emulsifier shall be tested at the frequency specified in Table 1 by normal wash parameters used when processing production parts with a sample of the unused emulsifier serving as a reference or in accordance with MIL-I-25135 or AMS-2644. The test piece specified in MIL-I-25135 or AMS-2644 shall be used for this test. The in-use emulsifier will be used with the unused penetrant and compared to the reference system of unused emulsifier used with the unused penetrant. Removability less than that of the reference system is unsatisfactory.

7.8.5 Equipment Checks—The following equipment checks shall be made at frequencies specified in Table 1 and recorded. Records shall be maintained in a specified location and available for audit by the cognizant engineering organization. The calibration of equipment shall be traceable to the National Institute of Standards and Technology (NIST) or other recognized national standards, where applicable.

7.8.5.1 Black Lights—Blacklights, portable, hand-held, permanently mounted or fixed, which are used to inspect parts, shall be checked for output at the frequency specified in Table 1 and after bulb replacement. A longer period may be used if a plan justifying this extension is prepared by the NDT facility or its designated delegate. Minimum acceptable intensity is 1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (10 W/m^2) at 15 in. (38.1 cm) from the front of the filter to the face of the sensor. Blacklights shall be checked periodically for cleanliness and integrity and shall be cleaned, repaired or replaced as appropriate.

7.8.5.2 Light Meters—Both the black and visible light meters shall be calibrated in accordance with MIL-STD-45662 or ANSI/NCSL Z540-1.

7.8.5.3 Inspection Area—The inspection area for stationary systems shall be clean and free from excessive fluorescent contamination and residual visible light background.

7.8.5.4 Water Wash Operating Pressures/Temperatures—Indicators and controls shall be checked at the start of each shift to ensure proper settings. Those indicators displaying out-of-control settings shall be adjusted to the proper settings. Indicators and controls shall be calibrated at intervals in accordance with MIL-STD-45662 or ANSI/NCSL Z540-1 or ISO 10012-1.

7.8.5.5 Drying Oven Calibration—The temperature controlling device and the temperature indicating device, if separate from the controller, on the drying oven shall be calibrated to the requirements of 6.6.2 at frequencies established in accordance with the requirements of MIL-STD-45662 or ANSI/NCSL Z540-1 or ISO 10012-1.

7.9 *Marking and Identification*—Components successfully passing the penetrant examination shall be identified and marked as follows:

7.9.1 *Marking*—Marking shall be applied in a manner and location that is harmless to the component, or its intended function, and to preclude removal, smearing, or obliteration by subsequent handling. When subsequent processing would remove such identification, the records accompanying the component shall be marked or shall specify components to the applicable documents. The methods of marking are listed in 7.9.2. Marking shall conform to MIL-STD-792.

7.9.2 *Impression Stamping Ink Stamping, Dyeing, Laser Marking, Vibro Engraving, Peening or Etching*—The specific method to be used shall be specified in the contract document (purchase order, drawing, specification, etc.). If not specified, ink stamping shall be used. Marking shall be located in areas adjacent to the part number or an area specified by the contract documents.

7.9.3 *Other Identification*—Other means of identification, such as tagging, may be applied when the construction, finish, or functional requirements of the component preclude etching, dyeing, or stamping. Items such as bolts, nuts, or other small parts may be identified by conspicuously marking each package.

7.9.4 *Symbols*—Each component that has successfully passed examination shall be marked as follows:

7.9.4.1 When etching or stamping is applicable, symbols shall be used. The stamping may contain an identification symbol or supplier number of the facility and a unique number or symbol identifying the examiner. Except for specialized applications, use the symbol “P” to denote 100 % examination. All components, in the lot sampled, accepted on sampling basis shall be marked with the symbol “P” enclosed by an ellipse.

7.9.4.2 When dyeing is used, maroon dye shall be used to denote components accepted on a 100 % examination basis. Yellow dye shall be used to denote a sampling basis when sampling is permitted.

8. Keywords

8.1 dye liquid penetrant inspection; dye penetrant inspection; fluorescent liquid penetrant inspection; fluorescent penetrant inspection; liquid penetrant inspection; liquid penetrant examination; liquid penetrant testing; nondestructive; nondestructive evaluation; nondestructive examination; nondestructive inspection; nondestructive testing; penetrant examination; penetrant inspection; penetrant testing

ANNEX

(Mandatory Information)

A1. METHOD FOR MEASURING WATER CONTENT

A1.1 *Scope and Application*—This modified Karl Fischer volumetric procedure is a practical alternative to Test Method D 95 for diluted hydrophilic emulsifiers and water contamination of in-use lipophilic emulsifiers and Method A penetrants. The amount of sample used is adjusted to meet the water equivalent capacity of the titration agent employed (1 ml = 5 mg H₂O). For most materials required to meet the five percent (5 %) maximum allowable water content limit, 0.5 to 1.0 g sample size is sufficient.

A1.2 Apparatus:

A1.2.1 *Buret*, glass, 50-ml,

A1.2.2 *Flask*, wide-mouth Erlenmeyer type, 250-ml,

A1.2.3 *Pipets*, volumetric, two, 10-ml,

A1.2.4 *Weighing scale*, reads to at least two decimal places, and

A1.2.5 *White paper*.

A1.3 Reagents:

A1.3.1 *Buffer solution*,¹⁰ Hydranal (Riedel de Haen) or Hydra-Point (J.T. Baker), 500 ml,

A1.3.2 *Titrant*,¹⁰ Hydranal Composite 5 (Riedel de Haen) or Hydra-Point Titrant 5, 1 L, and

A1.3.3 *Methanol*, reagent grade, 500 mL.

A1.4 Analytical Procedure:

A1.4.1 Charge buret with Hydranal titrant.

A1.4.2 Pipet 10 mL of methanol into clean dry Erlenmeyer flask.

A1.4.3 Pipet 10 mL of Hydranal buffer into the same flask and gently swirl to mix.

A1.4.4 Place white paper below buret. Place the flask under the buret and slowly titrate, with gently swirling the Hydranal titrant into the flask until a light yellow-brown color persists (about 3 mL).

A1.4.5 Record titrant reading.

A1.4.6 Place the flask on balance and add about 0.5 g of test sample, and record weight. Gently swirl flask to mix sample.

A1.4.7 Place flask under buret and titrate back to the same yellow-brown color and record the reading.

A1.4.8 Repeat and average % H₂O readings.

A1.5 Calculate Water Content as follows:

$$\% \text{ H}_2\text{O} = [\text{consumption titrant} \times \text{titer value} \times 100] \div \text{sample weight} \quad (\text{A1.1})$$

where:

¹⁰ The sole source of supply for the reagents known to the committee at this time is Crescent Chemical Company, Inc., 1324 Motor Parkway, Hauppauge, NY 11788. If you are aware of alternative suppliers, please provide this information to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee,¹ which you may attend.

consumption = second buret reading of Hydranal Composite 5 Titrant minus the first buret reading, mL,
titer value = 5 mg/ml H₂O, mg/mL, and

sample weight = weight of sample added, mg.
A1.6 Repeat and average % H₂O readings.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

SECCIÓN E

ANEXOS I.M.ESCO

LISTA GENERAL DEL PERSONAL DE PLANTA I.M.ESCO

Nº	NOMBRES	SECCIÓN	CARGO	EDUCACIÓN
1	ACOSTA FRANKLIN	Corte	Ayudante	Primaria
2	ALDAS LUIS	Bodega	Líder	Primaria
3	ALTAMIRANO ADALBERTO	Ensamble	Líder	Primaria
4	ALVAREZ JAVIER	Varios	Ayudante	Primaria
5	BALLADARES DIEGO	Doblado	Líder	Primaria
6	CHACHA MARIO	Corte	Ayudante	Primaria
7	COLLAG DANIEL	Soldadura	Líder	Primaria
8	ESCOBAR JAVIER	Corte	Líder	Primaria
9	ESCOBAR JUAN	Corte	Líder	Primaria
10	GUALLI LUIS	Doblado	Ayudante	Primaria
11	LANDA VICTOR	Doblado	Líder	Primaria
12	LEMA OSCAR	Soldadura	Líder	Secundaria
13	LEMA DARIO	Ensamble	Ayudante	Primaria
14	LLANGANATE DAVID	Soldadura	Ayudante	Primaria
15	LLANGANATE JUAN CARLOS	Doblado	Ayudante	Primaria
16	LLANGANATE MIGUEL	Pintura	Ayudante	Primaria
17	LOPEZ JOSE	Soldadura	Ayudante	Primaria
18	MORALES MARIO	Ensamble	Ayudante	Primaria
19	MORALES WILSON	Doblado	Ayudante	Primaria

N°	NOMBRES	SECCIÓN	CARGO	EDUCACIÓN
20	MOYOLEMA LUIS	Varios	Ayudante	Primaria
21	MUYULEMA EDISSON	Pintura	Ayudante	Primaria
22	PEREZ JUAN	Corte	Ayudante	Primaria
23	PINOS LUIS	Soldadura	Ayudante	Primaria
24	RAMOS MANOLO	Ensamble	Ayudante	Primaria
25	ROBALINO EDISON	Soldadura	Ayudante	Primaria
26	ROVALINO BYRON	Ensamble	Ayudante	Primaria
27	SALINAS ADRIAN	Soldadura	Ayudante	Primaria
28	SOLIS HERNAN	Ensamble	Líder	Secundaria
29	TACO FRANKLIN	Pintura	Ayudante	Primaria
30	TAPIA JUAN CARLOS	Soldadura	Ayudante	Primaria
31	TIBAN MANUEL	Ensamble	Ayudante	Primaria
32	TOAPANTA CRISTIAN	Varios	Ayudante	Primaria
33	VARGAS DAVID	Pintura	Ayudante	Primaria
34	VARGAS VICENTE	Varios	Ayudante	Primaria
35	VARGAS LUIS	Pintura	Líder	Primaria
36	VARGAS SANTIAGO	Pintura	Líder	Primaria
37	VELASTEGUI ARNULFO	Varios	Ayudante	Primaria
38	YUMBOPATIN JOSE	Ensamble	Ayudante	Primaria

PLANTA INDUSTRIAL I.M.ESCO



