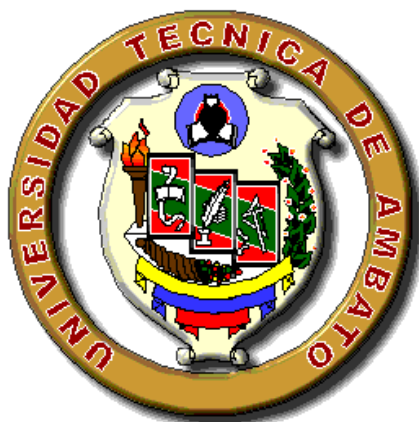


# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



## FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TEMA:** “ESTUDIO DE LOS FACTORES TÉCNICOS QUE AFECTAN EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL CAMIÓN RECOLECTOR DE DESECHOS MODELO CCL 120, PARA DISMINUIR LOS DAÑOS FRECUENTES EN LA ESTRUCTURA DEL SISTEMA COMPACTADOR”

**AUTOR:** WELLIGTON VLADIMIR POVEDA ALMEIDA

**TUTOR:** Ing. Mg. JORGE GUAMANQUISPE

**AMBATO – ECUADOR**

**2013**

## **CERTIFICACIÓN**

En mi calidad de Tutor del trabajo de investigación sobre el tema “Estudio de los factores técnicos que afectan el correcto funcionamiento del camión recolector de desechos modelo CCL 120, para disminuir los daños frecuentes en la estructura del sistema compactador” presentado por el Señor Welligton Vladimir Poveda Almeida, estudiante de la facultad de ingeniería Civil y Mecánica, carrea de Ingeniería Mecánica, considero que dicho informe investigativo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del jurado examinador designado por el consejo.

Ambato, Julio de 2013

EL TUTOR

.....  
Ing. Mg. Jorge Guamanquispe

C.I.: 1802039485

## **AUTORÍA**

El contenido de la presente investigación desarrollada bajo el tema “Estudio de los factores técnicos que afectan el correcto funcionamiento del camión recolector de desechos modelo CCL 120, para disminuir los daños frecuentes en la estructura del sistema compactador”, así como las opiniones e ideas, verdades, comentarios de resultados y análisis son de exclusiva responsabilidad del autor.

.....  
Egdo. Welligton Vladimir Poveda Almeida

C.I 180400441-2

## **DEDICATORIA**

A Dios quién ha sido y será el mejor baluarte en mi vida, y que gracias a él he podido conocer a personas que forman parte especial de mi presente y que de alguna manera se han convertido en las bases fundamentales para mi futuro.



## **AGRADECIMIENTO**

A todas aquellas personas presentes y ausentes que lograron guiarme de buena manera para lograr terminar esta investigación.

# ÍNDICE GENERAL

## PÁGINAS PRELIMINARES

Certificación.....	II
Autoría.....	III
Dedicatoria .....	IV
Agradecimiento .....	V
Indice General .....	VI
Resumen ejecutivo .....	XVIII
Executive summary .....	XIX

## ÍNDICE DE CONTENIDO

### CAPÍTULO I

#### 1 EL PROBLEMA

1.2 Planteamiento del problema .....	1
1.2.1 Contextualización.....	1
1.2.2 Análisis crítico.....	8
1.2.3 Prognosis.....	8
1.2.4 Formulación del problema .....	8
1.2.5 Preguntas directrices .....	8
1.2.6 Delimitación del objeto de investigación.....	9
1.2.6.1 De contenido.....	9
1.2.6.2 Espacial .....	9
1.2.6.3 Temporal .....	9
1.2 Justificación.....	9
1.3 Objetivos .....	11
1.3.1 Objetivo general.....	11
1.3.2 Objetivos específicos.....	11

### CAPÍTULO II

#### 2 MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes investigativos .....	12
---------------------------------------	----

2.1.1 Fundamento teórico .....	13
2.1.1.1 Camión recolector de carga lateral.....	13
2.1.1.2 Residuo a sólidos.....	18
2.1.1.3 Resistencia de materiales .....	25
2.1.1.4 Diseño mecánico y estructural .....	29
2.1.1.5 Etapa de estructuración .....	31
2.1.1.6 Estimación de las solicitaciones o acciones .....	31
2.1.1.7 Análisis estructural.....	32
2.1.1.8 Idealización de la estructura .....	32
2.1.1.9 Métodos del diseño estructural.....	32
2.1.1.10 Acciones y sus efectos sobre los sistemas estructurales .....	34
2.1.1.11 Cargas mínimas de diseño .....	34
2.1.2 El esfuerzo .....	34
2.1.2.1 Diseño de vigas sin soporte lateral.....	35
2.1.2.2 Ecuaciones del método de diseño por esfuerzos permisibles (Método Método) .....	38
2.1.3 Aceros estructurales .....	40
2.1.4 Clasificación del acero .....	41
2.1.4.1 Aceros al carbono .....	41
2.1.4.2 Aceros aleados.....	43
2.1.4.3 Aceros inoxidables .....	44
2.1.5 Estructura del compactador .....	45
2.2 Fundamentación filosófica .....	47
2.3 Fundamentación legal .....	48
2.4 Red de categorías fundamentales .....	50
2.5 Hipótesis.....	50
2.6 Variables.....	50
2.6.1 Señalamiento de variables.....	50

## **CAPÍTULO III**

### **3 METODOLOGÍA**

3.1 Enfoque.....	51
------------------	----

3.2 Modalidad básica de la investigación.....	51
3.2.1 De campo .....	52
3.2.2 Bibliográfica - Documental.....	52
3.3 Tipo de investigación .....	52
3.3.1 Exploratoria. ....	53
3.3.2 Descriptiva .....	53
3.3.3 Explicativa.....	53
3.4 Población y muestra. ....	54
3.5 Operalización de variables. ....	55
3.5.1 Variables independiente. ....	55
3.5.2 Variables dependiente. ....	56
3.6 Recolección de información. ....	57
3.7 Procesamiento de la información. ....	58
3.7.1 Análisis e interpretación de resultados.....	58

## **CAPÍTULO IV**

### **4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

4.1 Análisis de los resultados .....	59
4.1.1 Estudio metalográfico .....	59
4.1.2 Análisis de funcionamiento .....	61
4.1.3 Posibles daños ocurridos en la estructura del compactador .....	65
4.1.4 Análisis de cargas aplicadas en la prensa .....	65
4.1.5 Análisis de cargas aplicadas en las bases inferiores de la estructura del compactador .....	70
4.1.6 Cálculo del esfuerzo normal, cortante y de diseño por esfuerzos permisible (método ASD) referida a la figura 4-8, 4-10 y 4-12.....	74
4.2 Interpretación de datos .....	99
4.3 Verificación de la hipótesis .....	108
4.3.1 Modelo lógico .....	108
4.3.2 Selección del estadístico.....	109
4.3.3 Región de aceptación y rechazo .....	110

## **CAPÍTULO V**

### **5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1 Conclusiones .....	113
5.1 Recomendaciones .....	114

## **CAPÍTULO VI**

### **6 PROPUESTA**

6.1 Datos informativos .....	116
6.2 Antecedentes de la propuesta .....	116
6.3 Justificación.....	117
6.4 Objetivos.....	118
6.4.1 Objetivo general.....	118
6.4.2 Objetivos específicos.....	118
6.5 Análisis de factibilidad .....	118
6.5.1 Factibilidad tecnológica .....	118
6.5.2 Factibilidad ambiental.....	119
6.5.3 Factibilidad económica .....	119
6.6 Fundamentación .....	120
6.6.1 Material de la estructura .....	120
6.6.2 Análisis de elementos sometidos a estudio .....	120
6.6.3 Fuerza que actúa sobre las bases de la estructura.....	120
6.7 Metodología .....	121
6.7.1 Determinación de la fuerza cortante máxima.....	121
6.7.2 Determinación del momento flector máximo.....	124
6.7.3 Realización de los diagramas de cortante y momento máximo .....	124
6.7.4 Comprobación de la resistencia de la estructura por el método de diseño por esfuerzos permisibles (método ASD).....	126
6.7.5 Diseño de las bases inferiores de la estructura .....	129
6.7.6 Elaboración de un presupuesto para la reparación de la estructura.....	129
6.7.7 Elaboración de los planos de la base inferior de la estructura .....	133
6.8 Administración.....	133

6.9 Previsión de la evaluación .....	134
6.10 Conclusiones .....	135
Materiales de referencia .....	136

## **ANEXOS**

### **ANEXO A**

Anexo A1 Ensayo metalográfico probeta 1 .....	141
Anexo A2 Ensayo metalográfico probeta 2 .....	142
Anexo A3 Ensayo metalográfico probeta 3 .....	142
Anexo A4 Ensayo metalográfico probeta 4 .....	144
Anexo A5 Ensayo metalográfico probeta 5 .....	145
Anexo A6 Ensayo metalográfico probeta 6 .....	146
Anexo A7 Evaluación de la microestructura de la probeta 1 .....	149
Anexo A8 Evaluación de la microestructura de la probeta 2 .....	150
Anexo A9 Evaluación de la microestructura de la probeta 3 .....	151
Anexo A10 Evaluación de la microestructura de la probeta 4 .....	152
Anexo A11 Evaluación de la microestructura de la probeta 5 .....	153
Anexo A12 Evaluación de la microestructura de la probeta 6 .....	154
Anexo A13 Ensayo de dureza probeta 1G .....	156
Anexo A14 Ensayo de dureza probeta 2G .....	157
Anexo A15 Ensayo de dureza probeta 1P .....	158
Anexo A16 Ensayo de dureza probeta 2P .....	159
Anexo A17 Ensayo de dureza probeta 3P .....	160

### **ANEXO B**

Anexo B1 Comparación de propiedades mecánicas de aceros ASTM A37, A42 y A52 de sus diferentes grados .....	162
Anexo B2 Tabla de propiedades mecánicas y dureza de aceros .....	163
Anexo B3 Propiedades del acero A37 .....	164
Anexo B4 Propiedades mecánicas y composición química acero Hardox 400 ...	165
Anexo B5 Propiedades y dureza de aceros Hardox 400 y 450 .....	167
Anexo B6 Propiedades mecánicas y composición química del acero A36 .....	168

Anexo B7 Propiedades mecánicas del acero A500 de diferentes perfiles Estructurales.....	169
---	-----

## **ANEXO C**

ANEXO C1 Norma ASTM E3- 01 .....	171
Anexo C2 Norma ASTM E 10- 01.....	183
Anexo C3 Especificaciones generales de tubo rectangular.....	192
Anexo C4 Especificaciones Generales de Perfiles Laminados UPN.....	193

## **ANEXO D**

Anexo D1 Tabla E3 Valores críticos de t.....	195
Anexo D2 Obtención de la toma de muestras y realización de la practica .....	196
Anexo D2-1 Obtención de las muestras .....	196
Anexo D2-2 Preparación de las muestras y realización de la práctica.....	198
Anexo D2-3 Equipos y realización del ensayo de dureza .....	201
Anexo D3 Posibles daños ocurridos en la estructura del compactador.....	203
Anexo D4 Planos.....	205

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 2-1 Camión compactador de carga lateral CCL 120.....	14
Figura 2-2 Cámara de compactación, prensa y sus partes.....	16
Figura 2-3 Cilindro expulsor.....	17
Figura 2-4 Prensa .....	18
Figura 2-5 Plato prensa .....	18
Figura 2-6 Diagrama típico de esfuerzo-deformación unitaria para el acero.....	26
Figura 2-7 Ejemplo de valores $C_b$ .....	37
Figura 2 8 Detalle posterior del camión compactador .....	46
Figura 2-9 Estructura del compactador (1) y Prensa (2) .....	47
Figura 2-10 Plato prensa .....	47
Figura 2-11 Red de categorías fundamentales .....	50
Figura 4-1 Disposición de los cilindros óleo-hidráulicos.....	63
Figura 4-2 Acción de los cilindros óleo-hidráulicos .....	63
Figura 4-3 Detalle prensa .....	65

Figura 4-4 Diagrama de cuerpo libre .....	66
Figura 4-5 Diagrama de cargas, cortante y momento máximo con $\alpha=30^\circ$ .....	66
Figura 4-6 Área de sección transversal de la prensa .....	67
Figura 4-7 Diagrama de cargas, cortante y momento máximo con $\alpha=51^\circ$ .....	68
Figura 4-8 Fuerzas y Reacciones producidas en el apoyo posterior .....	70
Figura 4-9 Diagrama de cargas aplicadas en el elemento 1 .....	71
Figura 4-10 Diagrama de fuerzas en los ejes x, y .....	72
Figura 4-11 Diagrama de fuerzas en los ejes z, y.....	72
Figura 4-12 Diagrama de cargas, cortante y momento máximo respecto al eje xy.....	72
Figura 4-13 Diagrama de cargas, cortante y momento máximo respecto al eje zy.....	73
Figura 4-14 Área de sección para $I_z$ .....	74
Figura 4-15 Área de sección para $I_x$ .....	75
Figura 4-16 Media de durezas de las probetas ensayadas .....	104
Figura 4-17 Resistencia a la tracción de las probetas ensayadas .....	104
Figura 4-18 Valores del esfuerzo normal respecto al eje z .....	105
Figura 4-19 Valores del esfuerzo normal respecto al eje x .....	105
Figura 4-20 Valores del esfuerzo cortante respecto al eje z.....	106
Figura 4-21 Valores del esfuerzo cortante respecto al eje x.....	106
Figura 4-22 Valores del cálculo realizado de diseño por esfuerzos permisibles respecto al eje z.....	107
Figura 4-23 Valores del cálculo realizado de diseño por esfuerzos permisibles respecto al eje x .....	107
Figura 4-24 Sumatoria de los esfuerzos de flexión vs. los esfuerzos permisibles	108
Figura 4-25 Prueba de hipótesis para $\sigma$ desconocida, $\alpha=0,005$ , con 8 grados de libertad.....	112
Figura 6-1 Diagrama de fuerzas en los ejes x, y.....	122
Figura 6-2 Diagrama de fuerzas en los ejes z, y.....	122
Figura 6-3 Diagrama de cargas, cortante y momento máximo respecto al eje x y.....	125



Figura 6-4 Diagrama de cargas, cortante y momento máximo respecto al eje $z$ y.....	125
Figura 6-5 Valores de Esfuerzos producidos en la estructura del compactador ..	128
Figura 6-6 Factor de seguridad de la estructura del compactador.....	128
Figura 6-7 Detalle del apoyo posterior de la estructura del compactador.....	129

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Especificaciones técnicas del chasis y equipo Themac .....	15
Tabla 2-2 Clasificación de la basura .....	19
Tabla 2-3 Porcentaje de materiales contenidos en la basura .....	21
Tabla 2-4 Fuentes de residuos sólidos en la comunidad .....	22
Tabla 2-5 Contenidos de humedad de desechos sólidos. ....	24
Tabla 2-6 Composición química del acero A36.....	42
Tabla 2-7 Propiedades mecánicas del acero A36 .....	43
Tabla 3-1 Operacionalización de variable independiente .....	55
Tabla 3-2 Operacionalización de variable dependiente .....	56
Tabla 4-1 Evaluación microestructural .....	59
Tabla 4-2 Resistencia a la tracción aproximada .....	60
Tabla 4-3 Ensayo de dureza Brinell .....	60
Tabla 4-4 Posibles daños ocurridos en la estructura del compactador.....	65
Tabla 4-5 Tabla de cálculo del módulo de inercia .....	67
Tabla 4-6 Valores calculados del esfuerzo normal y cortante respecto al eje $z$ ...100	
Tabla 4-7 Valores calculados del esfuerzo normal y cortante respecto al eje $x$ ...100	
Tabla 4-8 Valores del cálculo de diseño por esfuerzos permisibles por método ASD, respecto al eje $z$ , utilizando acero A37b .....	101
Tabla 4-9 Valores del cálculo de diseño por esfuerzos permisibles por método ASD, respecto al eje $x$ , y la suma del Esfuerzo de flexión/ Esfuerzo permisible, utilizando acero A37b .....	101
Tabla 4-10 Valores del cálculo de diseño por esfuerzos permisibles por método ASD respecto al eje $z$ , utilizando acero A36. ....	102

Tabla 4-11 Valores del cálculo de diseño por esfuerzos permisibles por método ASD, respecto al eje $x$ , y la suma del Esfuerzo de flexión/ Esfuerzo permisible, utilizando acero A36. ....	102
Tabla 4-12 Valores del cálculo de diseño por esfuerzos permisibles por método ASD respecto al eje $z$ , utilizando acero A500b. ....	103
Tabla 4-13 Valores del cálculo de diseño por esfuerzos permisible por método ASD, respecto al eje $x$ , y la suma del Esfuerzo de flexión/ Esfuerzo permisible, utilizando acero A500b .....	103
Tabla 4-14 Valores del factor de diseño por esfuerzos permisibles .....	110
Tabla 4-15 Frecuencia esperada y observada del factor de diseño por esfuerzos permisibles.....	111
Tabla 6-1 Valores calculados del esfuerzo normal y cortante respecto al eje $z$ y respecto al eje $x$ y. ....	126
Tabla 6-2 Valores del cálculo de diseño por esfuerzos permisible por método ASD, respecto al eje $z$ , utilizando acero A36. ....	126
Tabla 6-3 Valores del cálculo de diseño por esfuerzos permisible por método ASD, respecto al eje $x$ , y la suma del Esfuerzo de flexión/Esfuerzo permisible utilizando acero A36. ....	127
Tabla 6-4 Detalle del costo de un tubo rectangular de 150x50x3 en acero A36..	129
Tabla 6-5 Detalle del costo de un tubo rectangular de 80x40x3 en acero A36....	130
Tabla 6-6 Presupuesto para recursos materiales y de proceso. ....	131
Tabla 6-7 Presupuesto para la obtención de las muestras metalográficas. ....	131
Tabla 6-8 Presupuesto para recursos humanos .....	132
Tabla 6-9 Presupuesto para la reparación de las bases inferiores de la estructura del compactador .....	132
Tabla 6-10 Administración de la tesis.....	133
Tabla 6-11 Gastos totales de reparación y administrativos del estudio .....	134

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**INGENIERÍA MECÁNICA**

“ESTUDIO DE LOS FACTORES TÉCNICOS QUE AFECTAN EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL CAMIÓN RECOLECTOR DE DESECHOS MODELO CCL 120, PARA DISMINUIR LOS DAÑOS FRECUENTES EN LA ESTRUCTURA DEL SISTEMA COMPACTADOR”.

**Autor:** Welligton Vladimir Poveda Almeida

**Tutor:** Ing. Mg. Jorge Guamanquispe

**Fecha:** 10 de Agosto de 2013

**RESUMEN**

En el presente trabajo de investigación se determinó los factores que afectan al adecuado funcionamiento del camión recolector de desechos modelo CCL 120, cuando se someten a la carga de trabajo diaria, verificando la utilización del acero utilizado en la construcción del compactador mediante un análisis microestructural, posterior efectuando un análisis de esfuerzos combinados mediante las ecuaciones del método ASD usando diferentes aceros estructurales y variando el área de la sección transversal de las mismas, datos que sirvieron para realizar un análisis estadístico inferencial para determinar la influencia que puede tener la fuerza de trabajo sobre las bases de la estructura del compactador.

De igual manera se determinó los valores correspondientes a la deformación de las bases inferiores de la estructura, debidos a la carga de trabajo de la prensa bajo la acción de los cilindros óleo-hidráulicos, fundamentos que sirvieron para realizar un nuevo análisis del material, diseño y dimensiones utilizados en la construcción de las bases inferiores de la estructura del compactador, proporcionando una mejor influencia de la fuerza de trabajo aplicada sobre la estructura.

**TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO**

**FACULTY OF CIVIL AND MECHANICAL ENGINEERING**

**MECHANICAL ENGINEERING**

"TECHNICAL STUDY OF FACTORS AFFECTING THE CORRECT FUNCTIONING OF THE TRUCK MODEL WASTE COLLECTOR CCL 120, TO REDUCE THE FREQUENT DAMAGE OF STRUCTURE COMPACTOR SYSTEM".

**Author:** Sr. Vladimir Poveda Welligton Almeida

**Tutor:** Engineer. Mg. Jorge Guamanquispe

**Date:** August 10, 2013

**ABSTRACT**

In the present research identified the factors affecting the proper operation of the waste disposal truck, when undergoing to the daily workload, verifying the use of the steel used in the construction of the compactor by microstructural analysis, later making a combined stress analysis by ASD method equations using different structural steels and varying the cross-sectional area thereof, data used for inferential statistical analysis to determine the influence that the workforce on the basis of the structure of the compactor.

In addition we could be determined the values for the deformation of the lower bases of the structure, due to the workload of the press under the action of the oil-hydraulic cylinder, which served basis for further analysis of the material, design and dimensions used in the construction of the lower bases of the structure of the compactor, providing better influence of the force applied on the work structure.

# **CAPÍTULO I**

## **1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

“Estudio de los factores técnicos que afectan el correcto funcionamiento del camión recolector de desechos modelo CCL 120, para disminuir los daños frecuentes en la estructura del sistema compactador”

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN**

La basura se ha convertido en uno de los mayores problemas ambientales de las ciudades contemporáneas, convertidas en inmensas factorías de desperdicios, resultado de la actual cultura de consumo. Los inconvenientes provocados por la basura en los centros poblados ha obligado la organización de sistemas de gestión que comprenden varios procesos, pero el referido a los métodos y sistemas de recolección son los más importantes y visibles para las poblaciones, porque allí comienza la problemática, pues los desechos no recolectados con oportunidad se descomponen o se desperdigan en las calles, provocando graves problemas de salubridad e higiene.

Un gran porcentaje de los problemas ciudadanos en la recolección de basura tiene sus causas en el nivel cultural y falta de conciencia de los usuarios, pues la mayoría responde de manera muy relativa a los principios de aseo, cuidado del medio ambiente y hasta el reciclaje y clasificación de basura; puesto que en poblaciones o barrios de mayor pobreza, es común encontrar esquinas convertidas en botaderos de todo tipo de basura, las mismas que son un festín para canes callejeros. Al contrario, es sinónimo de desarrollo y modernidad encontrar ciudades de calles y aceras limpias y aseadas, de las cuales se conocen varias poblaciones europeas y norteamericanas que lo han conseguido, especialmente a

base de recursos económicos y tecnológicos, incluyendo campañas de concientización para sus ciudadanos. A nivel mundial, se puede notar que varios de los sistemas de recolección de desechos con los que cuentan las grandes metrópolis, son realizadas mediante grandes contenedores metálicos conocidos en nuestro país como ecotachos, y que actualmente se han reemplazado por una innovadora manera de lidiar con los desechos sólidos más compacta e higiénica que los métodos convencionales y virtualmente libre de olores pero esto solo en algunos países europeos.

Esto se realiza, utilizando un nuevo sistema de acumulación profunda, el mismo que ofrece muchas características inigualables particularmente en lugares donde el espacio es esencial. Sólo el 40 % del contenedor es visible, mientras que el 60% restante está instalado a una profundidad de 1,5m bajo tierra, siempre dependiendo del área disponible y la aplicación que se le vaya a dar, ya sea para áreas de viviendas urbanas, áreas familiares, áreas rurales. La ventaja clave en el diseño vertical es que la gravedad actúa ayudando a los desechos a compactarse a sí mismos; este sistema se encuentra ya funcionando con gran éxito en países como Finlandia, Noruega, Dinamarca, Suiza, Alemania, Israel, Italia, Brasil, Chile, etc.<sup>1</sup>

En nuestro país se han desarrollado políticas de Estado y municipales para abordar este problema, pero con poco o ningún resultado satisfactorio. Entre los años sesenta y ochenta del siglo anterior, instituciones como el IEOS, Ministerio de Salud, Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (junto con algunos Municipios), realizaron gestiones referidas a la normalización, reglamentación e implementación de varios planes de manejo de residuos sólidos urbanos; producto de estas gestiones, se obtuvo el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, el Reglamento de los Desechos Sólidos, el Análisis del Marco Jurídico relacionado con el Manejo de los Desechos Sólidos, entre otros.

---

<sup>1</sup>Fuente: MOLOK ARGENTINA, Oncativo 1947 9° "A", (1824) Lanús Este, Buenos Aires-Argentina, molok@molok.com.ar

Hasta inicios del 2000, esas regulaciones no habían sido suficientes para resolver el problema de la recolección de la basura, pues tanto en las principales ciudades ecuatorianas, cuanto en los poblados rurales, los desechos de los hogares y aún de las industrias y comercios, aparecían desperdigados en las calles y aceras, debido a la irregularidad en la recolección por parte de los carros destinados para el efecto, complicándose aún más por los canes callejeros que rompían las fundas en busca de alimento.

En las ciudades más grandes, como Quito y Guayaquil, se trazaron planes emergentes para mejorar la recolección de basura, hasta que finalmente esta gestión fue delegada a empresas privadas. Si bien mejoró la recolección, en estas urbes, el problema no ha sido resuelto satisfactoriamente, pues cuando el carro recolector no llega o se desfasa el circuito de recolección, vuelven los problemas con la basura.

La ciudad de Ambato, conocida por su gran movimiento comercial, fue la primera de nuestro país en adoptar un sistema alterno de recolección de basura, dicho sistema está vigente desde hace varias décadas en países de mayor desarrollo económico, siendo esta la recolección primaria de basura en grandes contenedores, ubicados en sitios comunes a las viviendas y locales comerciales. La instalación de los denominados “ecotachos” en el cantón Ambato, se realizó a finales del año 2005, especialmente en cuanto a la limpieza de sus calles céntricas se refería, donde se implementó el plan piloto para ver su viabilidad; llegando a la implementación de varios ecotachos en otros sectores de la ciudad a partir del siguiente año. Para lograr mantener operante este nuevo sistema de recolección se creó la empresa Globalparts S.A. en Ambato en el año 2006, la cual realiza las labores de recolección de los desechos de los ecotachos y además proporcionan mantenimiento a los camiones.

La solución aplicada en Ambato, no ha sido analizada o gestionada en las grandes ciudades del país, quizá por los altos costos que demanda, además de los problemas de logística que podrían generarse en ciudades altamente pobladas. Sin embargo, la gestión sí fue observada y analizada por la municipalidad de

Rumiñahui, cuyo Concejo, en enero de 2008, puso en marcha el Plan de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos.<sup>2</sup> El sistema de recolección en ecotachos, que es el componente principal del mencionado proyecto, parece una alternativa importante para resolver en gran parte el problema de la basura en ciudades grandes y pequeñas del Ecuador.

Refiriéndose a los camiones de recolección de desechos de carga lateral modelo CCL 120, los cuales son construidos por el grupo industrial Italiano OMB, cuyos cálculos, diseños y estudios realizados para su elaboración, fueron basados de acuerdo a sus necesidades y problemática que tienen en su país y ciudades donde laboran diariamente. La empresa Themac inició sus actividades en Sudamérica en 1997 como filial del grupo industrial italiano OMB y que en el año 2006 se independizó estableciendo la matriz en Chile, con plantas de fabricación y ensamblaje en Brasil, Uruguay y el país antes mencionado, que atienden el mercado de América Latina y el Caribe<sup>3</sup>, de donde fueron importados los camiones que actualmente laboran en nuestra urbe, recalando que dichos camiones fueron construidos basándose en parámetros acordes al tipo de basura, cultura y cantidad de desechos que diariamente producen y están sujetos a tratar en dichos países.

Ciertas necesidades de varios países no se pueden comparar con la realidad del nuestro y específicamente con la de nuestra ciudad, pues a partir del año 2006 con la implementación y adquisición de los camiones recolectores de carga lateral no se tuvo mayores inconvenientes durante el primer semestre del año, en cuanto al mantenimiento se refiere. Sin embargo, luego del primer año de trabajo (datos de los ingenieros y técnicos de la empresa Globalparts S.A.), se empezó a tener varios inconvenientes con el sistema de compactación de los camiones, siendo entre otros: deformación, fatiga y hasta rotura del material, teniendo problemas

---

<sup>2</sup>Fuente: Informe de la empresa Globalparts

<sup>3</sup>Fuente: THEMAC. Historia. Disponible en: [www.themac.cc](http://www.themac.cc)



no solo en el sistema antes mencionado sino que además se veía afectada toda la cámara de compactación, traduciéndose además en gastos para la empresa, retraso en las rutas de recolección, las cuales a su vez generan acumulación de basura en varios sectores de la ciudad, convirtiéndose ya no solo en un problema empresarial sino a la vez en un problema ciudadano y que al mismo tiempo pueden generar multas por parte del I. Municipio de Ambato hacia la empresa por incumplimiento de trabajo y además de estar siempre alerta de no obtener sanciones por parte del Ministerio del Medio Ambiente y Gestión Ambiental.

La empresa Globalparts S.A. proporciona mantenimiento a 5 camiones compactadores que recolectan la basura de la ciudad, de los cuales 3 son y están a cargo de la empresa los mismos que vienen laborando desde el año en que se implementó el nuevo sistema contenerizado de recolección y los 2 restantes están a cargo del I. Municipio de Ambato los cuales llegaron en el primer trimestre del año 2011; cuando los técnicos de la empresa han requerido repuestos o sustituir alguna pieza o parte del camión, deben importarlos desde Chile para poder poner el camión nuevamente a operar; pero el tiempo de paralización y espera es demasiado largo y además con un costo elevado. Para evitar esto han elegido otra opción más rápida pero con criterio menos efectivo; el cual fue recurrir a arreglar él o los daños causados con herramientas, materiales y procedimientos disponibles en nuestro medio, improvisando de tal manera que lograron poner nuevamente en funcionamiento al camión compactador, pero esto sin ningún criterio sustentable como lo es un cálculo, diseño o estudio previo para determinar cuál era la solución más adecuada.

Ciertas reparaciones no duraban más de un día, lo que significaba una pequeña paralización que no tenía muchas consecuencias futuras, pero cuando los daños eran mayores debían recurrir a otras Municipalidades como son (Cotopaxi y Pichincha), para que se les facilite un camión recolector para cubrir el retraso de rutas que fueron afectadas con la paralización del camión, cumpliendo con la demanda que la ciudad requiere.

### 1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO

La empresa Globalparts S.A. ubicada en la ciudad Ambato, Provincia de Tungurahua se encarga de coordinar, organizar y planificar las rutas de recolección de los ecotachos en las diferentes zonas de la ciudad de Ambato; con la aprobación del proyecto, en la primera etapa que se inició en octubre del 2006 colocando 560 ecotachos que fueron instalados en las calles céntricas de la urbe. El proyecto de colocación de los ecotachos, fue una de las iniciativas más exitosas para mejorar la recolección de basura en la ciudad de Ambato, obteniendo unos resultados muy buenos.

En la primera fase se instalaron los ecotachos en las calles Bolívar, Cevallos, 12 de Noviembre y en los alrededores de los mercados Central, Urbina y Modelo, ya que estas zonas son las más transitadas de la ciudad. Meses después, el proyecto fue ampliado a otros sectores donde se realizaron los trabajos de instalación, entre los cuales estaban, las ciudadelas: Letamendi, España, San Antonio, Nueva Esperanza, Ingahurco, Oriente, El Recreo y Cristóbal Colón. Además de Los Padres Josefinos, Cashapamba, Pichincha Baja, entre otras. En total se colocaron 360 ecotachos. Al empezar con la nueva recolección de basura en las calles donde estaban los ecotachos se suspendieron los recorridos de los carros recolectores durante el día, para que por la noche los camiones recolectores realizaran la recolección de desechos.

En estos barrios, los beneficiarios indicaron que el proyecto ayudó a que el sistema de recolección sea eficiente. Asimismo la iniciativa fue premiada por la Asociación de Municipalidades como uno de los mejores planes desarrollado por un Municipio.

En la segunda etapa se colocaron 200 ecotachos más, en otras zonas donde aún no se contaban con este sistema de recolección, obteniendo los mismos resultados que en los otros sectores de la ciudad. Según informes del Municipio, diariamente se recogen entre 70 y 80 toneladas de basura, mediante el sistema de los ecotachos. Además es necesario anotar que cada ecotacho tiene una capacidad de 2.4 metros cúbicos, con una estructura de acero de alta calidad galvanizada y

pintada. Su vida útil es de 8 años y se lo identifica en la ciudad de Ambato con color verde. El contenedor tiene una palanca para abrir la tapa superior, la misma que facilita al usuario el depósito de la basura. Cada camión recolector de carga lateral tiene una capacidad de almacenamiento y compactación máxima de 10 a 12 toneladas, teniendo que en un inicio abastecerse con tres camiones que recogían la basura depositada en los 360 ecotachos que fueron colocados en la primera fase, para posterior al éxito obtenido, la Municipalidad contribuyó con 2 camiones recolectores más, dada la demanda y acogida del proyecto. Según datos obtenidos del I. Municipio de Ambato en el año 2008, la ciudad producía aproximadamente, 220 toneladas diarias de desechos.<sup>4</sup>

Esa cantidad no solo incluye la zona céntrica sino además a las parroquias Montalvo, Izamba, Picaihua, Quisapincha, Pinlo y otras ubicadas en la zona rural, pero a finales del año 2011 se incorporaron a este sistema contenerizado de basura varios sectores que aún no contaban con este servicio entre ellos: Las Catilinarias, La Florida, Nueva Esperanza, Jardín Ambateño, Tres Juanes, La Concepción, La Victoria, Ingahurco Bajo, entre otros.

En la actualidad 800 contenedores de basura están situados en toda la urbe ambateña, recogiendo diariamente cerca de 120 toneladas diarias de basura de las más de 230 toneladas que genera la ciudad en la actualidad.<sup>5</sup>

La distancia entre cada ecotacho colocado sobre las aceras de la ciudad es de entre 70 y 100 metros. La construcción de los recipientes, camiones y repuestos está a cargo de la empresa Themac establecida en Chile, siendo todos estos importados hacia nuestra ciudad, logrando ser la primera ciudad en la Sierra centro donde funciona este sistema hasta la actualidad.

---

<sup>4</sup> Fuente: Revista virtual Bittium Energy. Ecuador Bittium Energy Ecuador. Publicación del lunes 22 de septiembre de 2008.

<sup>5</sup> Fuente: Publicación del diario El Universo, Martes 08 de noviembre del 2011.

### **1.2.3 PROGNOSIS**

El estudio de los factores técnicos que afectan el correcto funcionamiento del camión recolector de basura de los ecotachos servirá para disminuir los daños frecuentes que ocurren en el sistema de compactación de basura, considerado esta la parte prioritaria en el camión recolector, alcanzando resultados que permitan alargar la vida útil no solo de este sistema sino de todos ellos, los cuales son indispensables para el adecuado funcionamiento y oportuna operación del camión; logrando de esta manera aplicar un correcto programa de mantenimiento, además de enfatizar en una educada utilización del sistema de compactación de los operarios, creciendo firmemente como empresa y cumpliendo oportunamente con las rutas y cronogramas planeados para contribuir con el desarrollo de nuestro país y de la región, sin dejar de lado la preservación del medio ambiente y consiguiendo mantener la mejora en la salud general de la población; la transformación de la vista de las calles, hacia una visión mucho más saludable y limpia; reducción de costos en el proceso de recolección; rebaja de los índices de contaminación de las calles, aceras, plazas, etc. Apropiación de la comunidad de una cultura de protección del medioambiente; y/o ahorro en la contratación de barrenderos de a pie.

### **1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Qué tipo de factores técnicos afectan el correcto funcionamiento del camión recolector de desechos de carga lateral para producir daños frecuentes en la estructura del sistema compactador?

### **1.2.5 PREGUNTAS DIRECTRICES**

¿Existe una adecuada selección de materiales en el compactador de camión recolector?

¿El diseño del sistema de compactación será el adecuado para el camión recolector de desechos de carga lateral?

¿Existe otro tipo de material que pueda reemplazar a los utilizados en la construcción original y que se puedan conseguir en nuestro mercado?

## **1.2.6 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.6.1 DE CONTENIDO**

El estudio de los factores técnicos que afectan el correcto funcionamiento del camión recolector de desechos de carga lateral se centrará en el campo de:

**Campo:** Ingeniería Mecánica.

**Área:** Diseño de elementos mecánicos, Ingeniería de materiales, Sistemas mecánicos y medio ambiente y Técnicas.

### **1.2.6.2 ESPACIAL**

Este proyecto se realizará con la aprobación de la Empresa Globalparts S.A. ubicada en el cantón Ambato perteneciente a la Provincia de Tungurahua, en la Av. Bolivariana 21-15 y Víctor Hugo, mientras que la investigación se complementará con la indagación teórico – científico realizada en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, así como las pruebas y parte experimental podrían realizarse en los Laboratorios de Materiales y Energías de la Universidad Técnica de Ambato (Campus Huachi) y finalmente la puesta en marcha del estudio se lo hará en la empresa.

### **1.2.6.3 TEMPORAL**

El presente proyecto investigativo se va a realizar entre los meses de Febrero a Septiembre 2013.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

THEMAC es una compañía dedicada al desarrollo de tecnologías en el rubro de la higiene urbana, en América Latina y el Caribe. En particular, THEMAC diseña, fabrica y comercializa equipamiento para la contenerización y recolección

automatizada de residuos sólidos urbanos, así como aplicaciones para su implantación y gestión.

Globalparts S.A. es el representante directo de la empresa Themac en nuestro país; la cual manifiesta que es una empresa que se dedica a prestar servicios de recolección de residuos sólidos urbanos desde septiembre del 2006 en la ciudad de Ambato, utilizando para el desarrollo de sus actividades, contenedores metálicos reforzados con una capacidad específica, además es necesario la utilización de unidades con equipos robóticos que facilitan el desempeño y automatizan el proceso de recolección, permitiendo una mayor eficiencia en cada una de sus operaciones las cuales se complementan proporcionando el mantenimiento a todas las máquinas, materiales y equipos garantizando su permanencia y crecimiento.

Por otro lado, el tema es de gran interés ya que en la actualidad este tipo de aplicaciones de gestión medio ambiental son muy comunes y de vital importancia, que además servirán para un futuro profesional, reflejando los conocimientos adquiridos durante la carrera estudiantil y recordando a la vez varios conceptos, temas y fundamentos indispensables para el desarrollo del presente estudio, justificándose ante la pronta necesidad de analizar los frecuentes daños que sufre el sistema de compactación de los camiones recolectores de desechos de carga lateral en la empresa Globalparts S.A., entre esos el sistema hidráulico, el diseño, resistencia y fatiga que están expuestos los materiales, para optimizar los recursos disponibles en la empresa.

Consiguiendo operar de mejor manera tanto el sistema de recolección, sistema de compactación y descarga de desechos, permitiendo prevenir futuros daños, paralizaciones, retraso de rutas, acumulación de desechos, etc. Enfocándose en alargar la vida útil de las máquinas, equipos e instalaciones empleadas, con el propósito de implementar prácticas adecuadas para el adecuado manejo y uso técnico de los sistemas, proporcionando una mayor productividad de la empresa y finalmente dé una mejor calidad de vida a usuarios y operarios; beneficiando con esto significativamente el saneamiento ambiental de la ciudad de Ambato; mejorando el ecosistema para los objetivos y fines que persigue tanto la empresa

como toda nuestra ciudad y más aún los sectores que se benefician con un sistema eficaz.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL**

Estudiar cuáles son los factores técnicos que afectan el correcto funcionamiento del camión recolector de desechos de carga lateral para disminuir los daños en el sistema compactador.

### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ▲ Evaluar la selección de materiales en el sistema compactador del camión recolector para precisar los daños frecuentes que sufre el mecanismo compactador del camión recolector de basura.
- ▲ Analizar el diseño del sistema compactador de basura para determinar su incidencia sobre los frecuentes daños.
- ▲ Investigar que otro material puede reemplazar a los utilizados en la construcción del sistema compactador original.

## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS**

Tras revisar tesis y archivos en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica se logró encontrar el diseño y construcción de un prototipo de un camión recolector compactador de basura de carga posterior que fue realizado en año de 2008, por el ahora Ing. Luis Alberto Salán Atiencia, el mismo que fue desarrollado en la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi, Panamericana Sur Kml sector Niágara en la empresa INDUACERO; con el cual se pretendió dar inicio al desarrollo, diseño y fabricación de equipos de recolección de basura para mejorar el manejo de la misma y dejar de importar de otros países y abarcar ese mercado satisfaciendo a la vez la demanda en el país. Este estudio que se realizó anteriormente ayuda a dilucidar ciertos criterios, términos y detalles que serán de considerable ayuda para el desarrollo de la presente investigación.

Además gracias al aporte de la Secretaría de Desarrollo Social, con la contribución del Ingeniero Alberto Mulás Alonso y el Director General Ing. Jaime Sancho y Cervera, quiénes realizaron un Manual Técnico Sobre Generación, Recolección y Transferencia de Residuos Sólidos Municipales, donde el manejo, la generación, composición y clasificación de los residuos sólidos, dan varias alternativas sobre la capacidad del vehículo, normas de operación y transferencia de desechos; investigándose sobre todos y cada uno de los detalles que interfieren desde la generación de desechos de cada habitante, casa, sector, etc. Hasta lo que respecta a la recolección, transportación de la misma. Analizándose además los factores que interfieren antes, durante y después y obtener algunas alternativas, ventajas, desventajas y recomendaciones sobre el tema. Javier Patricio Jiménez Robalino y Oscar Alfredo Rosas Laverde, en su tesis ingenieril presentada en la



Escuela Politécnica Nacional para la obtención del título de Ingeniero Mecánico en año 2009, realizan un diseño de una máquina compactadora de chatarra de aluminio para producir pacas de 65 kg. Con la cual lograron contribuir con el reciclaje que tanta falta hace en nuestro país, reutilizar el aluminio compactado enviado a grandes plantas procesadoras como Adelca y Cedal las mismas que reutilizan en nuevos accesorios, perfiles y otros. Realizan varias propuestas, cálculos, diseños y encuestas lograron construir un prototipo de compactadora de chatarra el cual les permitió cumplir con sus objetivos planteados pero con costo elevado. Además de los proyectos descritos anteriormente, podemos indagar en la empresa Globalparts S.A. quienes vienen ya laborando desde la instalación de los nuevos contenedores de basura en nuestra ciudad la misma que se realizó en el año 2006 y cierta investigación con datos y referencias en el I. Municipio de Ambato, más concretamente en EPM-GIDSA<sup>6</sup>, prensa escrita y televisiva y finalmente con la ayuda de la web.

### **2.1.1 FUNDAMENTO TEÓRICO**

Para realizar un adecuado estudio de los factores técnicos que afectan el correcto funcionamiento del camión recolector, es necesario conocer la cantidad de basura generada en las ciudades, la composición de éstos residuos, pues a medida que las ciudades han desarrollado procesos industriales la composición de ésta ha variado pasando de ser densa y casi completamente orgánica a ser voluminosa, parcialmente no biodegradable y con porcentajes crecientes de materiales tóxicos, lo que dificulta a la vez su manejo.

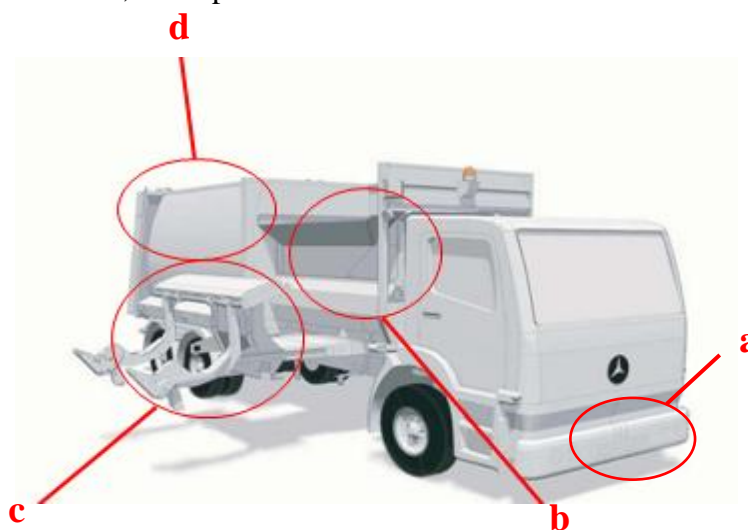
#### **2.1.1.1 CAMIÓN RECOLECTOR DE CARGA LATERAL**

El camión recolector de carga lateral que va a analizarse en este estudio es el modelo CCL 120, el cual está constituido por 4 partes principales (ver figura 2-1), tiene un gran desempeño y es muy versátil, brindando buen servicio en zonas céntricas de cualquier ciudad, por su excelente maniobrabilidad en las calles,

---

<sup>6</sup> Empresa Pública Municipal para la Gestión Integral de los Desechos Sólidos del Cantón Ambato.

utilizado también en centros de gran generación de basura como hospitales, centros comerciales, plazas y mercados siendo muy útil en el manejo de desperdicios infecciosos, su capacidad va desde los 10 a 16 m<sup>3</sup>.



**Figura 2-1:** Camión Compactador de Carga Lateral CCL 120

**Fuente:** Manual de mantenimiento compactador de carga lateral CCL 120

Al camión se lo puede detallar como un equipo compactador automatizado, mono-operado de toma lateral para el vaciado de contenedores y la recolección de residuos sólidos urbanos con brazos de toma cuya elevación se encuentra en el lado derecho del vehículo, el mismo que agrupamos en los siguientes componentes:

- a. Motor y Chasis.
- b. Tolva y cámara prensa.
- c. Grupo de elevación.
- d. Caja de compactación y puerta de descarga.

## **A. MOTOR Y CHASIS**

El chasis da soporte y suspensión a la masa total del vehículo y, no solo eso ya que, además sostiene los sistemas de dirección, carga el motor y el sistema de frenos y asimismo, sirve para que se transmita el torque, sin el cual ningún auto podría caminar.

El motor tiene como objetivo básicamente convertir el combustible (cualquiera que sea) en movimiento y transferirlo a las llantas por medio de la transmisión del vehículo, de tal manera que el vehículo pueda moverse, conociendo esencialmente los motores de combustión interna y motores de combustión externa. Las especificaciones técnicas del camión compactador de carga lateral que vamos a tomar como referencia para nuestro estudio son del camión CCL 108 (chasis y motor) y del equipo Themac modelo CCL 120, las mismas que se muestran a continuación en la siguiente tabla:

**Tabla 2-1:** Especificaciones Técnicas del Chasis y Equipo Themac

DETALLE	CHASIS	EQUIPO
MARCA	Mercedes Benz	THEMAC
AÑO	2006	-
MODELO	2428	CCL 120
COLOR	Blanco	BLANCO
PAÍS DE PROCEDENCIA	-	CHILE

**Fuente:** Manual de mantenimiento Compactador de Carga Lateral CCL 120

## B. TOLVA Y CÁMARA PRENSA

Rigiéndonos a la figura 2-1 las partes b y d se podría decir que forman un solo conjunto o trabajan complementándose, es así que, la *Tolva* es todo aquel conjunto metálico solidario con la cámara de prensa y con la mampara de expulsión que recibe los residuos procedentes del contenedor, que posteriormente fueron colocados por el sistema de elevación, para luego ser arrastrados en la cámara de compactación.

*Prensa*, siendo está la estructura en forma de paralelepípedo que se mueve mediante los 2 cilindros de prensa; la función específica de la prensa consiste en compactar la basura, transfiriéndola de la tolva de carga a la caja de compactación. Encima de la prensa se mueve, arrastrado por ésta, el plato prensa, cuyo cometido consiste en no dejar caer la basura detrás de la prensa cuando ésta se mueve y avanza hacia la parte posterior de la caja.

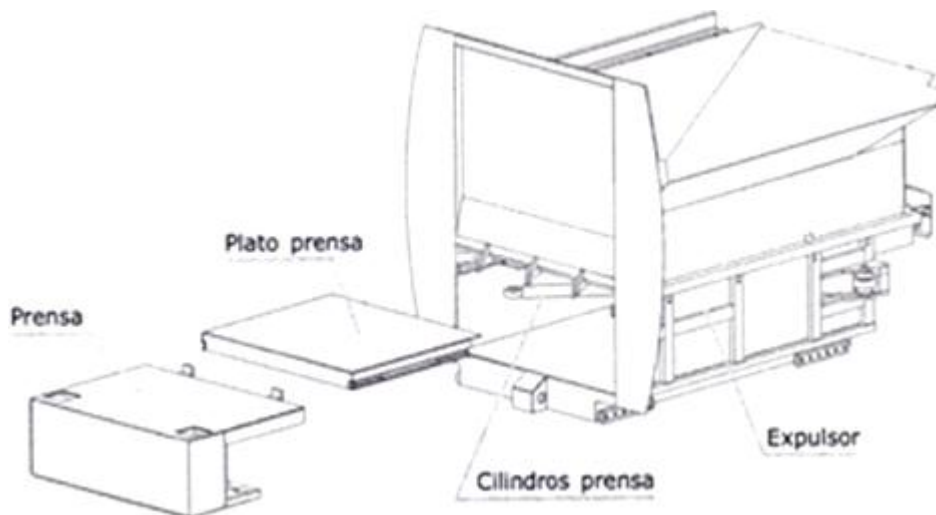
### C. GRUPO DE ELEVACIÓN

El sistema de elevación de los contenedores es un conjunto de componentes que permiten tomar, levantar, vaciar, bascular y reposicionar los contenedores, dotado de un mecanismo que bloquea el pasador de toma de los contenedores en la muesca de toma del brazo de elevación. Tal mecanismo es denominado "sistema de seguro pasador de toma contenedor" (descrito así por la empresa Themac). El sistema de elevación de contenedores es apto y está regulado para levantar una carga máxima de 1200 kg. Siendo el peso total del grupo de elevación de 900Kg.

### D. CAJA DE COMPACTACIÓN Y PUERTA DE DESCARGA

La caja o también denominada cámara de compactación es el lugar donde se almacenan los residuos ya compactados por la prensa, se trata pues de las zonas donde tienen lugar las principales operaciones de compactación de los residuos.

Este grupo se desplaza por traslación en un único cuerpo gracias a la acción del "cilindro expulsor" telescópico, que permite, una vez abierta la puerta trasera de descarga, la expulsión, en una sola operación, de la basura contenida en la caja gracias a la mampara de expulsión, que ocupa toda la sección de la caja misma.



**Figura 2-2:** Cámara de compactación, Prensa y sus partes.

**Fuente:** Manual de mantenimiento compactador de carga lateral CCL 120.

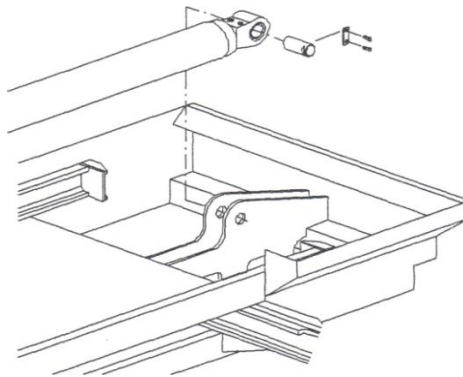
Peso cámara sin prensador y cilindros: 1000 Kg.

Peso cilindro prensador 95 Kg.

Peso Prensa (sin cilindros): 285 Kg.

Peso plato prensa: 100 Kg

El peso total del cilindro expulsor es de 120Kg. Ver figura 2-3



**Figura 2-3:** Cilindro Expulsor

**Fuente:** Manual de mantenimiento compactador de carga lateral CCL 120

La presión entregada por cada cilindro hidráulico es:

$$P = 200 \text{ bar} \quad \text{ó} \quad P = 20000 \text{ KPa}$$

$$\varnothing \text{ pistón} = 0,118 \text{ m}$$

***En donde:***

P = Presión bomba hidráulica [Pa]

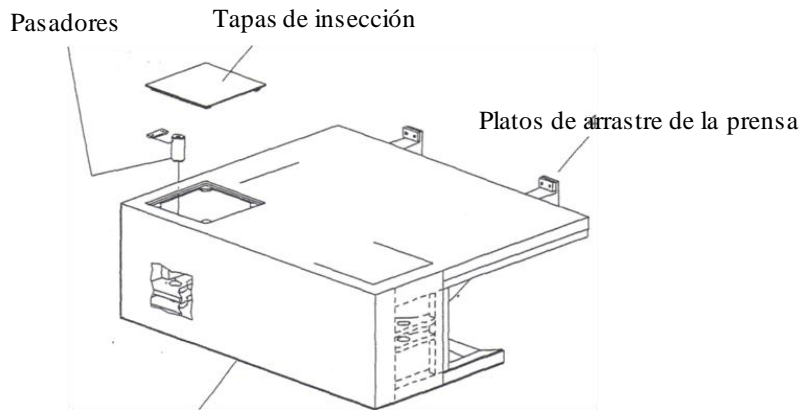
F = Fuerza que ejercen los cilindros [N]

$\varnothing$  = Diámetro del pistón [m]

A = Área del pistón [m<sup>2</sup>]

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{Ec. (2-1)}$$

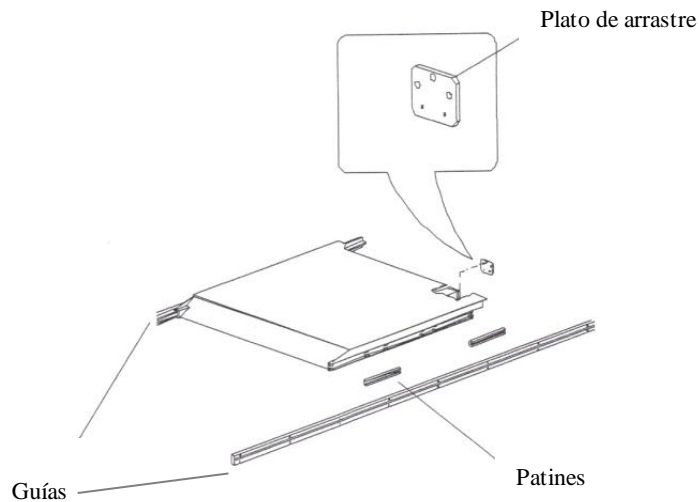
$$A = \pi \cdot r^2 \quad \text{Ec. (2-2)}$$



Láminas antidesgate inferior y laterales

**Figura 2-4:** Prensa

**Fuente:** Manual de mantenimiento compactador de carga lateral CCL 120



**Figura 2-5:** Plato Prensa

**Fuente:** Manual de mantenimiento compactador de carga lateral CCL 120

### 2.1.1.2 RESIDUOS SÓLIDOS

Los residuos sólidos son las partes que quedan de algún producto ya utilizado y se conocen comúnmente como basura. Se puede considerar que los residuos sólidos son generados como resultado de las actividades que realiza la población para su subsistencia y para la obtención de insumos en los diferentes sectores productivos como son el comercio, la industria, el sector agropecuario, el de servicios, etc.

Aunado a esto, la propaganda encaminada a favorecer el consumo excesivo de productos aumenta el problema de la generación y acumulación de residuos sólidos, lo cual se convierte cada día en algo más difícil de resolver.

Las autoridades gubernamentales y municipales tienen, en general, un escaso conocimiento de los residuos sólidos que genera la población, por lo que los datos que manejan en cuanto a la cantidad y composición de los mismos son sólo estimaciones que realizan los departamentos de Aseo y Gestión Ambiental, sin basarse en estudios metodológicos.

La generación de residuos sólidos se ha incrementado en las últimas décadas, así como las características de los residuos biodegradables a elementos de lenta y difícil degradación.

La composición de los residuos depende esencialmente de los siguientes factores:

- ▲ El nivel de vida de la población.
- ▲ La estación del año.
- ▲ El día de la semana.
- ▲ Las costumbres de los habitantes.
- ▲ La zona donde se habita.

#### **a. Clasificación de la Basura**

Los residuos sólidos pueden ser clasificados utilizando varios criterios, que se describen a continuación:

**Tabla 2-2:** Clasificación de la basura

<b>ORGÁNICA</b>	<b>INORGÁNICA</b>
<b>Biodegradable</b>	<b>No biodegradable</b>
Papel	Fierro
Telas naturales	Envases de hule
Heces fecales	Recipientes de aluminio

Continuación

Tabla 2-2: Clasificación de la basura

Residuos de plantas	Carrocerías de móviles
Cartón	Láminas
Residuos de carnes	Plásticos
Residuos de frutas y verduras	Tuberías metálicas

Fuente: Ph. D. Víctor Hugo Abril Porras con base en Vásquez (1994)

La cada vez más grande generación de residuos sólidos es la rapidez con que los productos pasan a ser inútiles, pasados de moda, inservibles u obsoletos. Esto provoca una mayor generación de residuos, además de la gran cantidad de bienes de uso efímero conocidos como desechables.

#### b. Composición de los Residuos Sólidos<sup>7</sup>

La generación de los residuos sólidos ha venido variando tanto en calidad como en composición, en la medida en que el desarrollo industrial se ha consolidado. Para la adecuada y correcta gestión de los residuos sólidos es fundamental conocer la composición de los mismos, ya que en función de los componentes, se puede dimensionar los sistemas de recogida selectiva, de reciclaje y aprovechamiento.

Los residuos sólidos urbanos están constituidos tanto por materiales como por productos, entendiendo por materiales el papel, cartón, textiles, vidrio, metal, plástico, madera y residuos de comida. Con la excepción de desperdicios de comida y los textiles, cada categoría de material está conformada por diversos productos. La evolución experimentada por la sociedad ha hecho que los residuos orgánicos, tradicionalmente la fracción mayoritaria en el país, hayan dado paso a otros productos nuevos, especialmente procedentes de los envases y embalajes plásticos. Los residuos sólidos totales de una comunidad están compuestos de los materiales residuales identificados en la tabla 2-3. A continuación se presentan los

---

<sup>7</sup> Muñoz, 2008 y Corbitt 2003



datos típicos de la distribución de los componentes de los residuos sólidos urbanos, en el país y en países vecinos.

**Tabla 2-3:** Porcentaje de materiales contenidos en la basura

Elemento	1	2	3	4	5	6	7
Residuos de alimentos	37%	6%	59%	32%	45%	49%	79,3%
Papel y cartón	23%	41%	10%	16%	30%	13%	6,2%
Plásticos	9%	10,7%	8%	11%	2%	5%	2,3%
Textiles	4%	2,4%	2%	5%	5%	2%	0,8%
Caucho	4%	2,5%	*	*	*	5%	*
Madera	5%	5%	5%	6%	2%	3%	2,3%
Vidrio	8%	5,8%	2%	14%	2%	12%	*
Metales	5	7,9	2	7	3	7	2,9
Otros	5%	1%	10%	9%	11%	4%	1,9%
Poda	*	17,7%	2%	*	*	*	6,6%

\* Comprendido entre otros

1 Bogotá, 1989. Universidad Nacional de Colombia.

2 EUA, 1994. George Tchobanoglous.

3 *Guayaquil, 1992. Relleno sanitario Las Iguanas. Héctor Collazos.*

4 Cúcuta, 1991. Relleno sanitario Guaymarala. Héctor Collazos.

5 Ipiales, 1992. Relleno sanitario Empresas Municipales. Héctor Collazos.

6 Villavicencio, 1991. Relleno sanitario Alcaldía Municipal. Héctor Collazos.

7 Cali, 1995. Emsirva ESP.

**Fuente:** Collazos Peñaloza H. 2008

El conocimiento de "qué se produce" y "cómo se produce" permite no sólo conocer el desarrollo de las sociedades, sino también proporciona información fundamental para la evaluación de alternativas en cuanto a las necesidades de dispositivos, sistemas, planes y programas de manejo se refiere. Esencialmente las características físicas son datos que realmente influyen en cuanto al diseño y construcción, ya sea, de elementos de máquinas o equipos, ya que la composición de los residuos va a variar dependiendo del sitio, ciudad, país, etc. en los cuales se generen. Pues varios de los elementos diseñados van a ser destinados para la recolección de desechos, transporte y tratamiento de los mismos. Para mejorar la comprensión sobre el procedimiento para determinar la composición de los residuos, es necesario revisar la Norma Técnica NTRS-3: Muestreo-Método de Cuarteo, presentada por la secretaría de desarrollo urbano y ecología.

En nuestro país, son pocas las ciudades que se han preocupado por cuantificar los residuos sólido-domésticos y no domésticos que se generan, para con ello planear y programar las inversiones en corto, mediano y largo plazo que permitan desarrollar un manejo adecuado de los residuos. De hecho, los estudios para determinar la generación de residuos están enfocados principalmente a los residuos domésticos, ya que las fuentes generadoras no domésticas presentan un vacío en cuanto a su clasificación y a los procedimientos aplicables para obtener parámetros o índices representativos. Y esto es algo que no solo afecta a nuestro país sino a varios en todo el mundo. En la Tabla 2-4 se muestran las principales fuentes generadoras de desechos sólidos.

**Tabla 2-4:** Fuentes de residuos sólidos en la comunidad

Fuente	Instalaciones, actividades o ubicaciones donde se generan	Tipos de residuos sólidos
Doméstica	Viviendas aisladas y bloques de baja, mediana y elevada altura, etc., unifamiliares y multifamiliares	Residuos de comida, papel, cartón, plásticos, textiles, cuero, residuo de jardín, madera, vidrio, latas de hojalata, aluminio, otros metales, cenizas, hojas en la calle, residuos especiales (artículos voluminosos, electrodomésticos, bienes de línea blanca, residuos de jardín recogidos separadamente, baterías, pilas, aceite, neumáticos), residuos domésticos peligrosos.
Comercial	Tiendas, restaurantes, mercados, edificios de oficinas, hoteles, moteles, imprentas, gasolineras, talleres mecánicos.	Papel, cartón, plásticos, madera, residuos de comida, vidrio, metales, residuos especiales, residuos peligrosos.
Institucional	Escuelas, hospitales, cárceles, centros gubernamentales.	(Como en Comercial)
Construcción y demolición	Lugares nuevos de construcción, lugares de reparación/renovación de carreteras, derribos de edificios, pavimentos rotos.	Madera, acero, hormigón, suciedad.

Continuación

**Tabla 2-4:** Fuentes de residuos sólidos en la comunidad

Servicios Municipales (excluyendo plantas de tratamiento)	Limpieza de calles, paisajismo, limpieza de cuencas, parques y playas, otras zonas de recreo.	Residuos, especiales, basura, limpieza de calles, recortes de árboles y plantas, residuos de cuencas, residuos generales de parques, playas y zonas de recreo.
Industrial	Elaboración, fabricación ligera y pesada, refinerías plantas químicas, centrales térmicas, demolición.	Residuos de procesos industriales, materiales de chatarra. Residuos no industriales incluyendo residuos de comida, basura, cenizas, residuos de demolición y construcción, residuos especiales, residuos peligrosos.
Agrícola	Cosechas de campo, árboles frutales, viñedos, ganadería intensiva, granjas.	Residuos de comida, residuos agrícolas, residuos peligrosos.

**Fuente:** Tchobanoglous 1994

En la tabla anterior no se detallan los residuos especiales, ya que estos son los generados en procesos industriales, servicios, hospitalarios y de laboratorios, actividades agrícolas y actividades nucleares, los cuales por sus características físicas, químicas y biológicas deben ser manejados, tratados y dispuestos utilizando métodos adecuados para evitar riesgos a la salud y a la ecología.

Los estudios que a la fecha existían en materia de generación de residuos sólidos se han enfocado principalmente a los residuos domiciliarios generados en casas, parques, mercados y locales comerciales, existiendo muy poca información acerca de los residuos generados en zonas industriales, construcciones, etc. Es así que de datos de la Revista virtual Bittium Energy, en su publicación del lunes 22 de septiembre de 2008, cita que en la ciudad de Ambato producía aproximadamente, 220 toneladas diarias de desechos.

Muchos de los desechos arrojados a los contenedores no siempre son pedazos de papel, restos de cigarrillos, botellas, tierra, excrementos de animales u hojas de árboles. Pues varios usuarios arrojan en su interior llantas, arena, materiales sobrantes de construcción, muebles y hasta colchones; los mismos que aparte de tener mayor volumen ocupan mayor espacio y a la vez, tienen mayor resistencia a la compactación, pudiendo ocasionar averías en los sistemas del camión

recolector. Cabe mencionar que no siempre los desechos arrojados van a estar libres de humedad pues éstos van a variar entre (15 y 40) %, dependiendo de la composición de los desechos, donde sean recolectados los desechos, la estación del año, las condiciones de humedad y meteorológicas del tiempo. El contenido de humedad generalmente se expresa como el peso de humedad por unidad de peso de material húmedo o seco.

A continuación en Tabla 2-5 se expresan valores porcentuales de desechos comúnmente arrojados a los contenedores, mostrando valores en seco y con porcentajes de humedad los que son ilustrativos para una mejor comprensión del presente estudio.<sup>8</sup>

**Tabla 2-5:** Contenidos de humedad de desechos sólidos

COMPONENTE	HUMEDAD	
	%	TÍPICO (%)
Desechos de alimentos	50 - 80	70
Papel	4 - 10	6
Cartón	4 - 8	5
Plásticos	1 - 4	2
Textiles	6 - 15	10
Cauchos	1 - 4	2
Cuero	8 - 12	10
Madera	15 - 40	20
Vidrio	1 - 4	2
Metales no ferrosos	2 - 4	9
Desechos Sólidos Municipales	15 - 40	20

**Fuente:** Morales C. 1994

---

<sup>8</sup> Fuente: Morales C. 1994

### **2.1.1.3 Resistencia de materiales**

Es preciso señalar que los inicios de la ingeniería de materiales, tuvo lugar en México y llegó con el establecimiento del Real Seminario de Minería en 1792 donde se reunieron una gran cantidad de celebres investigadores españoles, alemanes y novo hispanos, bajo la dirección de Fausto de Elhúyar (descubrió el tungsteno), permitiendo con ello el nacimiento de tecnologías revolucionarias, como lo atestiguó Von Humboldt en su visita en 1803, llevando a México a ser el primer productor mundial de plata, hecho que aún se mantiene vigente.

Hay que entender el fundamento mencionando que la resistencia de materiales es la ciencia que trata, estudia y calcula la resistencia y rigidez de los elementos de estructuras. Por los métodos de la resistencia de los materiales se realizan cálculos prácticos y se determinan las dimensiones necesarias, (seguras) de las piezas de máquinas y de distintos tipos de estructuras, siempre dentro de ciertos límites o parámetros para ver la capacidad que tienen para resistir cargas, sin romperse o sufrir variaciones de sus dimensiones o propiedades.

Es una disciplina de la ingeniería mecánica y la ingeniería estructural que estudia los sólidos deformables mediante modelos simplificados. La resistencia de un elemento se define como su capacidad para resistir esfuerzos y fuerzas aplicadas sin romperse, adquirir deformaciones permanentes o deteriorarse de algún modo.

Un modelo de resistencia de materiales establece una relación entre las fuerzas aplicadas, también llamadas cargas o acciones, y los esfuerzos y desplazamientos inducidos por ellas. Típicamente las simplificaciones geométricas y las restricciones impuestas sobre el modo de aplicación de las cargas hacen que el campo de deformaciones y tensiones sean sencillos de calcular.

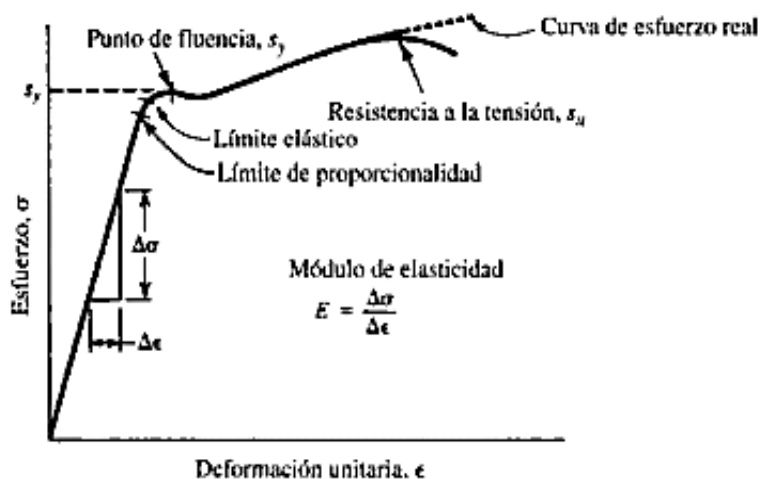
La resistencia de materiales tiene como fin la elaboración de métodos simples de cálculo, aceptables desde el punto de vista práctico, de los elementos típicos más frecuentes de las estructuras, las mismas que van a estar sujetas a tensiones, cargas, trabajo continuo, etc. Manteniendo presente que los materiales no son absolutamente rígidos, sino que bajo la acción de fuerzas exteriores, dentro de

ciertos límites, pueden cambiar su forma, influyendo notablemente sobre las leyes de distribución de las fuerzas interiores en el sólido o estructura tensionada.

Los métodos de la resistencia de materiales no permanecen inalterables sino que varían al surgir problemas y exigencias nuevos de la práctica. Al realizar los cálculos, los métodos de la resistencia de materiales se deben emplear de manera creadora y tener en cuenta que el éxito del cálculo práctico radica no tanto en el empleo de un aparato matemático complicado como en la capacidad de penetrar en el fenómeno de afectación, sino de encontrar la o las hipótesis apropiadas y de llevar los cálculos a resultados numéricos aplicables y definitivos, los mismos que logren satisfacer todas las necesidades. Para profundizar, es necesario anotar varios conceptos ligados a la ingeniería y resistencia de materiales, los cuales nos permitirán entender de mejor manera lo expuesto:

#### a. Resistencia a la tensión $S_u$

Se considera que el punto máximo de la curva esfuerzo-deformación unitaria es la resistencia última a la tensión ( $S_u$ ), a veces se le llama resistencia última o simplemente resistencia a la tensión. En ese punto de la prueba se mide el máximo esfuerzo aparente en una barra de prueba del material, como se muestra en la figura 2-6 la curva parece descender después del punto máximo. Después del punto máximo, es cuando, se da la resistencia a la tensión.



**Figura 2-6:** Diagrama típico de esfuerzo-deformación unitaria para el acero

Fuente: MOTT R. 4ª Edición, pág. 33.

### **b. Resistencia de fluencia $S_y$**

En la figura 2-6 donde hay un gran incremento de la deformación con poco o ningún aumento de esfuerzo se llama resistencia de fluencia o resistencia de cedencia ( $S_y$ ). Esta propiedad indica que el material en realidad ha cedido o se ha deformado en gran medida y de forma plástica y permanente.

Si el punto de cedencia es muy notable como en la figura 2-6, a la propiedad se le llama punto de fluencia (o punto de cedencia) y no resistencia de fluencia. Esto es típico de un acero al carbono simple, laminado en caliente.

### **c. Límite de proporcionalidad**

El punto de la curva de la figura 2-6 donde se desvía de una línea recta se llama límite de proporcionalidad. Esto es, por debajo de este valor de esfuerzo u otros mayores, el esfuerzo ya no es proporcional a la deformación unitaria. Por abajo del límite de proporcionalidad, se aplica la ley de Hooke: el esfuerzo es proporcional a la deformación unitaria.

### **d. Ductilidad**

Es la propiedad que tiene un material de soportar grandes deformaciones sin fallar bajo grandes esfuerzos de tensión. Es así que, cuando se prueba a tensión un acero con bajo contenido de carbono, ocurre una reducción considerable de la sección transversal y además un gran alargamiento en el punto de falla, antes de que se presente una rotura o fractura.

### **e. Límite elástico**

En algún punto llamado límite elástico, el material tiene cierta cantidad de deformación plástica, por lo que no regresa a su forma original después de liberar la carga. Por debajo de este nivel el material se comporta de forma totalmente elástica.

El límite de proporcionalidad y el límite elástico están bastante cerca de la resistencia de fluencia, y siendo difíciles de determinar, rara vez son citados.

## **f. Elasticidad**

Es la propiedad que tiene un material de recuperar su forma original, ya sea al desaparecer gradualmente o completamente la carga con la que se ha producido su deformación.

En el rango lineal la relación uniaxial esfuerzo-deformación unitaria de la figura 2-6, está dada por la ley de Hooke como  $\sigma = E\varepsilon$  donde la constante de proporcionalidad  $E$ , la pendiente de la parte lineal de la curva de esfuerzo-deformación unitaria, se llama *módulo de Young* o *módulo de elasticidad*.  $E$  es una medida de la rigidez de un material, y como la deformación unitaria no tiene dimensión, las unidades de  $E$  son las mismas del esfuerzo. Por ejemplo, el acero tiene módulo de elasticidad de alrededor de 30 MPsi (207 GPa) sin importar el tratamiento térmico, el contenido de carbono o la aleación.

## **g. Fatiga**

La fatiga es la aplicación repetida de ciclos de carga y descarga que debilitan las piezas, incluso cuando los esfuerzos generados sean considerablemente menores que la resistencia de rotura estática e incluso del límite elástico del material. Cada ciclo de fluctuación del esfuerzo deteriora o daña la pieza un poco. Tras un cierto número ( $N$ ) de ciclos determinado, la pieza está tan debilitada que se rompe por fatiga. Además se observa en piezas metálicas que por debajo de un cierto valor del esfuerzo, no se produce la rotura por elevado que sea el número ( $N$ ) de ciclos de trabajo de la pieza. Todo esto hace que la fatiga sea realmente compleja, este fenómeno de fatiga se presenta en la mayoría de elementos de máquinas rotativas, automóviles, aviones, tornillos, plataformas marítimas, puentes, estructuras, etc.

Adicional a esto se menciona que la vida a fatiga es: “El fallo debido a cargas repetitivas, que incluye la iniciación y propagación de una grieta o conjunto de grietas hasta el fallo final por fractura”. El análisis de fatiga estructural es una herramienta para evaluar la validez de un diseño, o su durabilidad, bajo condiciones de carga simples o complejas conocidas como cargas de servicio.



Los resultados de los estudios estructurales (estáticos y dinámicos, lineales y no lineales) se usan como los datos básicos de partida para definir el estudio de fatiga. El número de ciclos requeridos para que el fallo por fatiga ocurra en un punto, depende del material y de la fluctuación de las tensiones.

#### **h. Dureza**

La Resistencia de un material a ser penetrado por un dispositivo es indicativa de su dureza. La dureza se mide con varios aparatos, procedimientos y penetradores, el probador de dureza Brinell y el de Rockwell son los que se utilizan con más frecuencia para elementos de máquina. Para aceros en el medidor de dureza o durómetro se utiliza una bola de acero endurecido con cierto diámetro como penetrador, a la cual se aplica cierta carga de acuerdo al diámetro del penetrador o indentador; la carga causa una indentación permanente en el material de prueba y el diámetro de la indentación se relaciona con el número de dureza Brinell BNH (Brinell hardness number) o HB (hardness Brinell). La cantidad real que se mide es la carga dividida entre el área de contacto de la indentación. Para los aceros el valor de HB va desde 100 para un acero recocido de bajo carbono, hasta más de 700 para aceros de alta resistencia y de alta aleación.

La ventaja principal de los métodos Brinell y Rockwell reside en que la mayoría de los casos son no destructivos. Los dos son empíricos y están relacionados de manera directa con la resistencia última del material. Las pruebas de dureza proporcionan un medio conveniente y no destructivo para estimar las propiedades de resistencia de los materiales.

#### **2.1.1.4 DISEÑO MECÁNICO Y ESTRUCTURAL**

Cabe citar lo que es el diseño, que en la actualidad, este concepto tiene una amplitud considerable, así tenemos: diseño industrial, diseño artesanal, diseño gráfico, diseño textil, diseño mecánico, diseño estructural, diseño de asentamientos humanos, diseño arquitectónico, diseño de plantas industriales, diseño de procesos, entre otros. El proceso de diseño inicia con la identificación de la necesidad, para luego plantear el problema concreto, también se realiza de

manera interactiva el análisis y síntesis hasta concluir con el diseño final. De esta manera el presente estudio se va a centrar en el diseño mecánico, definiendo así algunos criterios de varios autores, los mismos que ayudarán a desarrollar el presente estudio de manera clara y concisa, citando así a continuación: “El arte de imaginar y crear cosas útiles capaces de satisfacer necesidades, manifiestas o latentes, del individuo o de la comunidad”<sup>9</sup>.

En ingeniería el diseño mecánico es resultado de investigaciones acerca del límite de fluencia de los materiales, valor de esfuerzo aplicado en el que el material comienza a deformarse permanentemente, adquiriendo propiedades diferentes a las que tenía antes de someterlo a una fuerza.

Para lograr un diseño adecuado, se debe llegar a un cociente; límite de fluencia/fuerza aplicada mayor a la unidad; presentando de la manera más sencilla posible. Además en los textos de estudio existen muchas definiciones del concepto de diseño en ingeniería mecánica, notando la diversidad de opiniones, según algunos autores e instituciones:

El estudio de los procesos de toma de decisiones empleados por los ingenieros mecánicos para formular los planes para la realización material de máquinas, dispositivos y sistemas. Y al diseño mecánico como:

Es el diseño de objetos y sistema de naturaleza mecánica, piezas, mecanismos, máquinas, instrumentos y dispositivos diversos. En sus partes hace uso de las matemáticas, la ciencia de los materiales y las ciencias mecánicas aplicadas a la ingeniería<sup>10</sup>.

Finalmente para aclarar más lo expuesto en cuanto al tema anotamos un autor de trascendental relevancia, quién se refiere al diseño mecánico como al arte de planear o idear máquinas nuevas o mejoradas para finalidades específicas.

---

<sup>9</sup> Altemir José M<sup>a</sup>. 1959.

<sup>10</sup> Shigley J.E. 1979.

En general una máquina, se compone de una combinación de varios elementos mecánicos diferentes, adecuadamente dispuestos para trabajar conjuntamente como un todo. Tomando en cuenta que el diseño es un proceso creativo mediante el cual se le da forma a un sistema estructural, para que cumpla una función determinada con un grado de seguridad razonable y que en condiciones normales de servicio tenga un comportamiento adecuado. Es importante considerar ciertas restricciones que surgen de la interacción con otros aspectos del proyecto global; las limitaciones en cuanto al costo y tiempo de ejecución, así como de satisfacer determinadas exigencias estéticas, etc. Entonces, la solución al problema de diseño no puede obtenerse mediante un proceso matemático rígido, donde se aplique rutinariamente un determinado conjunto de reglas y formulas, sino establecer ciertas etapas o procesos a seguir.

#### **2.1.1.5 ETAPA DE ESTRUCTURACIÓN**

Probablemente es la etapa más importante del diseño estructural pues, la optimización del resultado final del diseño depende de gran medida del acierto que se haya obtenido en adoptar la estructura del esqueleto más adecuada para una edificación específica. En esta etapa de estructuración se seleccionan los materiales que van a constituir la estructura, se define el sistema estructural principal y el arreglo y dimensiones preliminares de los elementos estructurales más comunes. El objetivo debe ser el de adoptar la solución óptima dentro de un conjunto de posibles opciones de estructuración.

#### **2.1.1.6 ESTIMACIÓN DE LAS SOLICITACIONES O ACCIONES**

Se podría decir que esta es la segunda etapa y no menos importante que la anterior pues es donde se identifican las acciones que se consideran que van a incidir o que tienen posibilidad de actuar sobre el sistema estructural durante su vida útil. Entre estas acciones se encuentra, por ejemplo, las acciones permanentes: como la carga muerta, la carga viva y acciones variables. Acciones accidentales, en nuestro caso frenados bruscos, estrellamiento choque o colisión con otro vehículo o estructura que pueda incidir sobre la estructura. Cuando se sabe de antemano que en el diseño se tienen que considerar las acciones accidentales es posible seleccionar en

base a la experiencia la estructuración más adecuada para absorber dichas acciones.

#### **2.1.1.7 ANÁLISIS ESTRUCTURAL**

Procedimiento que lleva la determinación de la respuesta del sistema estructural ante la sollicitación de las acciones externas que puedan incidir sobre dicho sistema. La respuesta de una estructura o de un elemento es su comportamiento bajo una acción determinada; está en función de sus propias características y puede expresarse en función de deformaciones, agrietamiento, vibraciones, esfuerzos, reacciones, etc. Para obtener dicha respuesta requerimos considerar los siguientes aspectos:

#### **2.1.1.8 IDEALIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA**

Seleccionar un modelo teórico y analítico factible de ser analizado con los procedimientos de cálculo disponible. La selección del modelo analítico de la estructura puede estar integrada de las siguientes partes:

**a. Modelo geométrico.-** Esquema que representa las principales características geométricas de la estructura.

**b. Modelo de las condiciones de continuidad en las fronteras.-** Debe establecerse como cada elemento está conectado a sus adyacentes y cuáles son las condiciones de apoyo de la estructura.

**c. Modelo del comportamiento de los materiales.-** Debe suponerse una relación acción - respuesta o esfuerzo - deformación del material que compone la estructura.

#### **2.1.1.9 MÉTODOS DEL DISEÑO ESTRUCTURAL**

Los métodos empleados para el diseño estructural son varios, ya que el diseño de elementos estructurales es de forma muy compleja y no fácil de analizar por medio de los modelos matemáticos usuales, anotando de manera muy simple los siguientes:

**a. Método de los esfuerzos de trabajo o de esfuerzos permisibles o teoría**

**Elástica.-** Los elementos mecánicos producidos en los distintos elementos por las sollicitaciones de servicio o de trabajo se calculan por medio de un análisis elástico. Se determinan después los esfuerzos en las distintas secciones debido a los elementos mecánicos, por métodos también basados en hipótesis elásticas. Los esfuerzos de trabajo así calculados, deben mantenerse por debajo de ciertos esfuerzos permisibles que se consideran aceptables, el método es razonable en estructuras de materiales con un comportamiento esencialmente elástico.

**b. Método de la resistencia o método de factores de carga y de reducción de resistencia o teoría plástica.-**

Los elementos mecánicos se determinan por medio de un análisis elástico-lineal. Las secciones se dimensionan de tal manera que su resistencia a las diversas acciones de trabajo a las que puedan estar sujetas sean igual a dichas acciones multiplicadas por factores de carga, de acuerdo con el grado de seguridad deseado o especificado. La resistencia de la sección se determina prácticamente en la falla o en su plastificación completa.

**c. Métodos basados en el análisis al límite.-** Realizando un análisis estructural plástico se determinan los elementos mecánicos correspondientes a la resistencia de colapso de la estructura. (Formación de suficientes articulaciones plásticas para llegar a la falla total de la estructura).

**d. Métodos probabilísticos.-** No dejando de lado este tipo de método, se lo realiza con las sollicitaciones que actúan sobre las estructuras, así como las resistencias de éstas, siendo cantidades en realidad de naturaleza aleatoria, que no pueden calcularse por métodos determinativos como se supone en los criterios de diseño anteriores.

Esto nos conduce a pensar en métodos basados en la teoría de las probabilidades. Las principales limitaciones que se tienen en la actualidad son que no se tiene suficiente información sobre las variaciones tanto de las sollicitaciones que deben de considerarse como la resistencia de los materiales y de las estructuras construidas con ellos.

### **2.1.1.10 ACCIONES Y SUS EFECTOS SOBRE LOS SISTEMAS ESTRUCTURALES**

Citando los conceptos de seguridad estructural y de diseño, la clasificación más racional de las acciones se hace en base a la variación de su intensidad con el tiempo, así:

#### **a. Acciones permanentes**

Son las que actúan en forma continua sobre la estructura y cuya intensidad puede considerarse que no varía con el tiempo.

#### **b. Acciones variables**

Son aquellas que inciden sobre la estructura con una intensidad variable con el tiempo, pero que alcanzan valores importantes durante lapsos grandes.

### **2.1.1.11 CARGAS MÍNIMAS DE DISEÑO**

Las estructuras de acero deben diseñarse para soportar el total de las cargas vivas y muertas, con una combinación adecuada de cargas de grúas, cargas ambientales (viento, hielo, nieve, lluvia, sismos) de ser el caso y además manteniendo márgenes apropiados para impactos, cargas de inercia, vibraciones, etc.

#### **a. Carga Muerta**

Por carga muerta se entiende el peso propio de la estructura y al de los elementos no estructurales de la construcción, (incluyendo paredes, pisos, tuberías, etc.) las deformaciones y desplazamientos debido al esfuerzo de efecto del pre-esfuerzo y a movimientos diferenciales permanentes en los apoyos; el peso vacío de los equipos fijos permanentes soportados por o sujetos a la estructura.

#### **b. Carga Viva**

Aquellas cargas móviles que se deben por el uso, ocupación y funcionamiento propio de la estructura o construcción y que no tienen carácter de actuar continuamente sobre la estructura, teniendo así: cambios de temperaturas,

desechos sólidos que permanentemente se encuentran en contacto con la estructura y que nunca van a ser el mismo tipo. Esto no incluye las cargas ambientales (viento, hielo, nieve, lluvia, sismos).

### **c. Cargas de Vibración**

Son aquellas fuerzas causadas por la vibración de maquinarias como bombas, ventiladores, sopladores, compresores, etc. Pues todos los soportes para los equipos que producen vibraciones, deben diseñarse para un límite de vibraciones de un nivel aceptable. Tomando además en cuenta el impacto vertical, empuje lateral y fuerza de tracción ya sea de grúas, monorraíles, y otros equipos móviles; que en caso del camión compactador son todos los componentes que se encuentran dentro de la caja de compactación que se moviliza ya sea para compactar la basura o para extraerla de su interior, deben incluirse en el diseño de miembros portantes y sus conexiones, como un porcentaje adicional de carga. A menos que se realice un análisis dinámico, las cargas de impacto de los equipos o maquinarias que producen vibración se considerarán iguales al peso del equipo o maquinaria que crea el impacto.

### **d. Cargas Dinámicas**

El diseño para cargas dinámicas debe realizarse de acuerdo con lo indicado en normas, libros de texto y normas industriales.

### **e. Cargas de Montaje**

Las cargas de montaje son fuerzas temporales causadas por el montaje de las estructuras o equipos. Deben considerarse en combinaciones de carga como cargas vivas.

## **2.1.2 EL ESFUERZO**

Se puede definir el esfuerzo como la resistencia interna que ofrece una unidad de área de un material contra una carga externa aplicada, además que un esfuerzo es la tensión interna que sufre un cuerpo sometido a una o varias fuerzas.

Los esfuerzos normales ( $\sigma$ ) son de tensión positivos cuando las fuerzas actúan hacia el exterior del objeto. Ejemplo: El cable de una grúa sufre tracción. O de compresión negativos cuando las fuerzas actúan hacia el interior del objeto. Ejemplo: Las patas de una silla sufren compresión. Para un elemento portátil en que la carga externa esta uniformemente distribuida a través de su área de sección transversal, se calcula la magnitud del esfuerzo con la fórmula de esfuerzo directo, así:

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad \text{Ec. (2-3)}$$

#### a. Esfuerzo cortante $\tau$

El esfuerzo cortante se produce cuando la fuerza aplicada tiende a cortar el elemento como si fuesen una tijeras o navaja, el método para calcular el esfuerzo cortante es parecido al cálculo del esfuerzo de tensión, ya que se supone que la fuerza aplicada esta uniformemente distribuida a través de la sección transversal de la pieza que resiste la fuerza, pero este esfuerzo es esfuerzo cortante, y no esfuerzo normal, la fórmula para del esfuerzo cortante se puede escribir, así:

$$\tau = \frac{F}{A_s} \quad \text{Ec. (2-4)}$$

Existen varios perfiles de sección transversal de uso frecuente, los cuales tienen fórmulas especiales, fáciles de usar para el cálculo del esfuerzo cortante, así:

Rectángulo	$\tau = \frac{V Q}{b I}$	Ec. (2-5)
------------	--------------------------	-----------

Círculo	$\tau = \frac{4 V}{3 A}$	Ec. (2-6)
---------	--------------------------	-----------

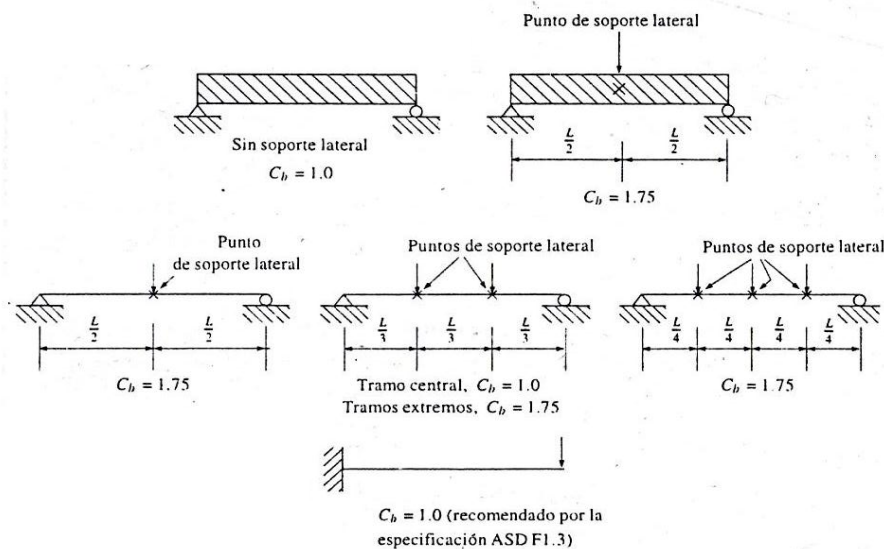
Viga I	$\tau = \frac{V}{th}$	Ec. (2-7)
--------	-----------------------	-----------

Tubo de pared delgada	$\tau = \frac{2V}{A}$	Ec. (2-8)
-----------------------	-----------------------	-----------



### 2.1.2.1 DISEÑO DE VIGAS SIN SOPORTE LATERAL

El pandeo lateral puede ser afectado considerablemente por las restricciones de extremo y las condiciones de carga del miembro, es por ello que se incluye el factor  $C_b$  que es un coeficiente de momento, para tomar en cuenta el efecto de los diferentes gradientes de momento en el pandeo lateral-torsional. Para vigas en voladizo sin soporte lateral y también para vigas que tienen un momento  $C_b = 1$ , a lo largo de una porción considerable de su longitud sin soporte, igual o mayor que el mayor de los momentos en los extremos de esta longitud. En la figura 2-7 se muestran algunos valores típicos de  $C_b$  para diferentes vigas y condiciones de carga.<sup>11</sup>



**Figura 2-7:** Ejemplo de valores  $C_b$

**Fuente:** McCormac Jack 1999

Las condiciones que se muestran en la Figura 2-7 consideran además que si la distancia entre puntos de soporte lateral es mayor que  $L_c$  el manual ASD establece que el esfuerzo permisible por Flexión debe reducirse desde  $0,66F_y$  con la fórmula apropiada pero que en ningún caso debe exceder de  $0,60F_y$ . Sin embargo

<sup>11</sup> (McCORMAC, 1999)

cuando se usan estas fórmulas hay un intervalo en que se obtienen un valor superior a  $0,66F_y$ . Para toda viga existe una longitud no soportada lateralmente para la cual la formula correspondiente da un esfuerzo permisible exactamente igual a  $0,60F_y$ .

Esta longitud se denomina  $L_u$  en el manual. De acuerdo a esta información proporcionada por el manual ASD, en la fuente citada anteriormente presenta el siguiente resumen.

- ▲ Si la longitud no soportada lateralmente es  $\leq L_c$  entonces:

$$F_b = 0,66F_y \quad \text{Ec. (2-9)}$$

Siempre que se cumplan los otros requisitos.

- ▲ Si la longitud no soportada lateralmente es  $> L_c$  pero  $\leq L_u$  entonces

$$F_b = 0,60F_y \quad \text{Ec. (2-10)}$$

- ▲ Si la longitud no soportada lateralmente es  $> L_c$  pero  $> L_u$ ,  $F_b$  será menor que  $0,60F_y$  y se determinará con las fórmulas apropiadas.

### **2.1.2.2 ECUACIONES DEL MÉTODO DE DISEÑO POR ESFUERZOS PERMISIBLES (MÉTODO ASD)**

Las especificaciones ASD muestran tres ecuaciones mostradas a continuación, para determinar los esfuerzos permisibles de flexión en vigas en las que no se tiene soporte lateral continuo, estas expresiones son aplicables a perfiles laminados, trabes armadas y miembros armados con un eje de simetría en el plano del alma. Dependiendo de las proporciones del miembro y de la longitud no soportada lateralmente, se usan las expresiones; el mayor de los valores determinado es el esfuerzo permisible siempre que éste no sea mayor que  $0,60F_y$ . En las expresiones siguientes  $L$  es la distancia entre puntos fijos de apoyo lateral,  $d$  es el peralte de la viga,  $A_f$  es el área del patín,  $r_T$  es el radio de giro del patín de compresión y  $C_b$  es el coeficiente de momento que se incluye en las

fórmulas para tomar en cuenta el efecto de los diferentes gradientes de momento en el pandeo lateral-torsional.

Cuando:

$$\sqrt{\frac{102 \times 10^3 \times C_b}{F_y}} \leq \frac{L}{r_T} \leq \sqrt{\frac{510 \times 10^3 \times C_b}{F_y}} \quad \text{Ec. (2-11)}$$

Usamos:

$$F_b = \left[ \frac{2}{3} - \frac{F_y (L/r_T)^2}{1530 \times 10^3 \times C_b} \right] F_y \quad \text{Ec. (2-12)}$$

Cuando:

$$\frac{L}{r_T} \geq \sqrt{\frac{510 \times 10^3 \times C_b}{F_y}} \quad \text{Ec. (2-13)}$$

Usamos:

$$F_b = \frac{170 \times 10^3 \times C_b}{(L/r_T)^2} \quad \text{Ec. (2-14)}$$

Y cuando el patín de compresión es lleno y aproximadamente rectangular en la sección transversal y su área no es menor que la del patín de tensión, usamos:

$$F_b = \frac{12 \times 10^3 \times C_b}{L_d/A_f} \quad \text{Ec. (2-15)}$$

Las especificaciones ASD H1 incluyen tres ecuaciones para miembros sometidos a carga axial más flexión. Esas ecuaciones incluyen flexión a los ejes  $x$  y  $y$ . Si la flexión tiene lugar respecto a uno solo de estos ejes, el término asociado al otro eje se cancela.

La primera ecuación es aplicable a la mitad de la altura de los miembros. Esta ecuación se usa para verificar la estabilidad de conjunto del miembro.

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx}fb_x}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ex}}\right)F_{bx}} + \frac{C_{my}fb_y}{\left(1 - \frac{f_a}{F'_{ey}}\right)F_{by}} \leq 1.0 \quad \text{Ec. (2-16)}$$

La ecuación que sigue es aplicable solo en los extremos de las vigas columnas y se usa para verificar las condiciones de esfuerzo en esos puntos. Se desarrolló para tomar en cuenta los casos en que los momentos máximos ocurren en los extremos del miembro.

La estabilidad no es problema en un soporte por lo que, como lo muestra el primer término de la ecuación, el esfuerzo permisible de compresión  $F_a$  es  $0,60F_y$ . Además,  $F_{bx}$  es  $0,66F_y$  en los soportes si se proporciona en ellos soporte lateral. Esta ecuación suele regir en miembros soportados contra flexión lateral y en los que se tiene curvatura doble por flexión.

$$\frac{f_a}{0,60F_a} + \frac{fb_x}{F_{bx}} + \frac{fb_y}{F_{by}} \leq 1.0 \quad \text{Ec. (2-17)}$$

Si se presenta flexión respecto a ambos ejes y cuando la carga axial es relativamente pequeña, esta no ocasionará una amplificación apreciable del momento. Por ello, las especificaciones ASD proporcionan la ecuación 2-16, aplicable si  $f_a/F_a$  es igual o menor que 0,15. se usa la siguiente expresión para considerar la condición de esfuerzo combinado:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{fb_x}{F_{bx}} + \frac{fb_y}{F_{by}} \leq 1.0 \quad \text{Ec. (2-18)}$$

### 2.1.3 ACEROS ESTRUCTURALES<sup>12</sup>

Entre los materiales de construcción, como es de conocimiento general, el acero tiene una posición relevante; combina la resistencia mecánica, su capacidad de ser trabajado, disponibilidad y su bajo costo. Siendo así, es fácil comprender la

---

<sup>12</sup> GERDAU AZA S.A. 2000

importancia y el amplio uso de los aceros en todos los campos de la ingeniería, en las estructuras, sean éstas fijas, como los edificios, puentes, etc. o sean móviles, en la industria ferroviaria, automotriz, naval, aeronáutica, etc.

De esta forma, los aceros al Carbono comunes, simplemente laminados y sin ningún tratamiento térmico, son plenamente satisfactorios y constituyen un porcentaje considerable dentro de los aceros estructurales.

Para la mayoría de las aplicaciones consideradas, la importancia de la resistencia mecánica es, en cierto modo, relativamente pequeña, del mismo modo que el factor peso no es primordial, en otras aplicaciones, se exige una relación resistencia/peso más satisfactoria.

Debido a las condiciones propias del servicio, debe caracterizarse por un peso relativamente bajo y una alta resistencia. Esta condición es fundamental ya que estas estructuras están sujetas a esfuerzos e impactos severos, además de una resistencia a la corrosión adecuada. Para todas estas aplicaciones, los aceros indicados son los de baja aleación, más conocidos como los de “alta resistencia y baja aleación”.

#### **2.1.4 CLASIFICACIÓN DEL ACERO**

Se puede encontrar una variedad de clasificación de los aceros, pero podemos enunciar cinco grupos principales de aceros que son: aceros al carbono, aceros aleados, aceros de baja aleación ultra resistente, aceros inoxidable y aceros de herramientas. Por razones de importancia acerca del estudio planteado nos centraremos en tres que los describiremos a continuación:

##### **2.1.4.1 Aceros al carbono**

El 90% de los aceros son aceros al carbono los mismos que deben cumplir ciertos requisitos fundamentales entre los cuales tenemos:

- ▲ Ductilidad y homogeneidad.
- ▲ Valor elevado de la relación resistencia mecánica/límite de fluencia.
- ▲ Buena Soldabilidad.

- ▲ Apto para ser cortado por llama, sin endurecimiento.
- ▲ Resistencia a la corrosión, razonable.

Con excepción de la resistencia a la corrosión, todos los otros requisitos son satisfechos en mayor o menor grado, por los aceros al Carbono de bajo a medio Carbono, que son obtenidos por laminación. De hecho, un contenido relativamente bajo de Carbono y el trabajado en caliente de laminación de los perfiles estructurales, garantizan la ductilidad necesaria, además de la homogeneidad en todo el producto. La ductilidad de estos aceros garantiza un excelente manejo en operaciones como el corte, doblado, perforado, etc., sin que se originen fisuras u otros defectos. En la actualidad el más común y utilizado de los aceros al carbono es el ASTM A36, usado para la construcción de estructuras, maquinarias, puentes, etc.

Es fundamentalmente una aleación de hierro (mínimo 98%), con contenidos de carbono menores del 1% y otras pequeñas cantidades de minerales como manganeso, para mejorar su resistencia, y fósforo, azufre, silicio y vanadio para mejorar su soldabilidad y resistencia a la intemperie.

Además es un material usado para la construcción de estructuras de gran resistencia, maquinas, carrocerías de automóvil, etc., producido a partir de materiales muy abundantes en la naturaleza, laminado en caliente, fabricado con fines estructurales, denominado como acero estructural al carbono, del cual en las siguientes tablas se muestran sus principales características:

**Tabla 2-6:** Composición química del acero A36

COMPOSICIÓN QUÍMICA	% PESO
Carbono (C).	0.26 máx
Fósforo (P)	0.040 máx
Azufre (S).	0.05 máx
Silicio (Si)	0.40 máx

**Fuente:** Norma ASTM.

Disponible en: <http://www.spanish.phione.co.uk/>

**Tabla 2-7:** Propiedades mecánicas del acero A36

Acero ASTM A-36	
Esfuerzo de Fluencia	36000 psi
Resistencia a la Tracción	58000 psi
Elongación en 2 pulgadas	20 %

**Fuente:** McCormac Jack 1999

Sin embargo antes que el acero A-36 sea el más usado en todo el mundo, se utilizaba otros aceros tales como A34, A37 y A42 entre otros los cuales fueron de extensa importancia en países Europeos y varios Latinoamericanos. En el Anexo B1 se resaltan las principales características de los aceros antes mencionados con sus distintas clases.

#### 2.1.4.2 Aceros Aleados

Se considera que un acero es aleado cuando el contenido de un elemento excede uno o más de los siguientes límites:

- ▲ 1,65% de manganeso
- ▲ 0,60% de silicio
- ▲ 0,60% de cobre
- ▲ O cuando hay un % especificado de cromo, níquel, molibdeno, aluminio, cobalto, niobio, titanio, tungsteno, vanadio o zirconio.

Existen *aceros aleados de baja aleación* en que los elementos residuales están presentes arriba de cantidades normales, o donde están presentes nuevos elementos aleantes, cuya cantidad total no sobrepasa un valor determinado (normalmente un 3,0 al 3,5%). En este tipo de acero, la cantidad total de elementos aleantes no es suficiente para alterar la microestructura de los aceros resultantes, así como la naturaleza de los tratamientos térmicos a que deben ser sometidos. *Aceros aleados de alta aleación* aquellos aceros en que la cantidad total de elementos aleantes se encuentra, en el mínimo, de un 10 a 12%.

En estas condiciones, no sólo la microestructura de los aceros correspondientes puede ser profundamente alterada, sino que igualmente los tratamientos térmicos comerciales sufren modificaciones, exigiendo técnicas, cuidados especiales y frecuentemente, múltiples operaciones y los *aceros aleados de media aleación* considerados como un grupo intermedio entre los dos anteriores. Los aceros aleados se usan principalmente para fabricar engranajes, ejes, cuchillos, etc. además cuando se pretende desarrollar el máximo de propiedades mecánicas con un mínimo de distorsión y fisuración, promover en un grado especial: resistencia al revenido, incrementar la tenacidad, disminuir la sensibilidad a la entalla, mejorar la maquinabilidad en condición de temple y revenido, comparándola con un acero de igual % de carbono en la misma condición.

#### **2.1.4.3 Aceros Inoxidables**

El acero inoxidable es una aleación de hierro y carbono que contiene por definición un mínimo de 10,5% de cromo. Algunos tipos de acero inoxidable contienen además otros elementos aleantes, los principales son el níquel y el molibdeno que los mantiene brillantes. Algunos aceros inoxidables son muy duros y resistentes a la corrosión, manteniendo esa propiedad durante mucho tiempo y además a temperaturas extremas. Existen muchos tipos de acero inoxidable y no todos son adecuados para aplicaciones estructurales, particularmente cuando se llevan a cabo operaciones de soldadura.

Hay cinco grupos básicos de acero inoxidable clasificados de acuerdo con su estructura metalúrgica: austeníticos, ferríticos, martensíticos, dúplex y de precipitación-endurecimiento (endurecimiento por precipitación). Los aceros inoxidables austeníticos y dúplex son, en general, los grupos más empleados en aplicaciones estructurales.

Nacidos del acero al carbono, los inoxidables (vitales en el actual desarrollo tecnológico) han dado paso a toda una generación de nuevos materiales conocidos como súper-aleaciones. De entre la gran variedad de súper-aleaciones, las de base níquel suponen el 35% de toda su producción. Estas aleaciones, de uso tanto en la industria aeroespacial como en la de generación de energía, poseen características



mecánicas excepcionales a altas temperaturas. En el camión recolector de desechos de carga lateral modelo CCL 120, un ejemplo de la utilización de aceros inoxidable es el piso de la cámara de compactación, así como las planchas que recubren la prensa y al plato prensa del compactador. El acero inoxidable utilizado en la construcción de estos elementos fue el Hardox 400, cuyas propiedades son específicamente para trabajos donde exista una extrema abrasión, resistente a la corrosión, de muy buena soldabilidad, permite trabajar a temperaturas bajas o elevados sin perder sus propiedades, con una dureza aproximada de 370 - 430 HB (ver Anexo B2).

Además los aceros inoxidable se pueden utilizar en otras aplicaciones como tuberías, depósitos de petróleo y productos químicos por su resistencia a la oxidación y para la fabricación de instrumentos quirúrgicos o sustitución de huesos porque resiste a la acción de los fluidos corporales; además se lo usa para la fabricación de útiles de cocina y finalmente debido a su brillo, los arquitectos lo emplean mucho con fines decorativos. Todos los aceros inoxidable contienen el cromo suficiente para darles características de inoxidable. Muchas aleaciones inoxidable contienen además níquel para reforzar aún más su resistencia a la corrosión y otros elementos como el fósforo, silicio, bismuto, etc. para mejorar aún más sus propiedades mecánicas.

Estas aleaciones son añadidas al acero en estado de fusión para hacerlo “inoxidable en toda su masa”. Por este motivo, los aceros inoxidable no necesitan ser chapeados, ni pintados, ni de ningún otro tratamiento superficial para mejorar su resistencia a la corrosión. Sin embargo el costo de adquisición del acero inoxidable es muy alto en comparación con los aceros convencionales; además de su limitada disponibilidad en el mercado nacional hace que su empleo en los procesos de fabricación, utilización y construcción con este sea también escaso.

### **2.1.5 ESTRUCTURA DEL COMPACTADOR**

Podemos encontrar una gran diversidad de estructuras metálicas que en su gran mayoría son puentes, edificios, naves industriales, carrocerías, etc. En nuestro caso vamos a referirnos específicamente a aquellas estructuras rígidas que

trabajan bajo la acción de diferentes tipos de cargas; de manera puntual sobre la estructura del compactador que compone la cámara de compactación del camión de carga lateral, conjuntamente con los otros elementos antes descritos. Entendemos por estructura a la combinación ordenada de partes, unidas entre sí para proporcionar cierta rigidez, capaces de soportar los esfuerzos que actúan sobre él. Las estructuras se componen de una o más piezas ligadas entre sí y al medio exterior, para formar un conjunto estable, capaz de recibir los esfuerzos o cargas externas, resistirlas y transmitirlos a sus apoyos, donde encontrarán un sistema estático equivalente.

Es así que la estructura del compactador, está dispuesta de tal manera que debe ser capaz de soportar los esfuerzos transmitidos por los elementos instalados y acoplados, que provocan permanentemente el peso de ellos al estar sobre la estructura; si no que además al compactar los residuos gracias a la acción de dos cilindros óleo-hidráulicos dispuestos sobre la prensa, actúan varios esfuerzos tanto en las bases de la prensa como en los otros dos extremos inferiores que se encuentran sujetos a la base de la estructura del compactador. La distribución de los componentes podemos observarla en las siguientes figuras que ayudarán a tener una idea más clara de toda la caja y sistema de compactación.



**Figura 2-8:** Detalle posterior del camión compactador

**Fuente:** El Autor

De acuerdo a la figura 2-8 se tiene la disposición de los elementos que componen el camión compactador siendo La estructura del compactador (1), Plato Prensa (2), Prensa (3) y Cámara de compactación (4).



**Figura 2-9:** Estructura del compactador (1) y Prensa (2)

**Fuente:** El Autor



**Figura 2-10:** Plato Prensa

**Fuente:** El Autor

## 2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

Basándose en el tema formulado se podrá plantear alternativas de solución, siempre enfocándose en un desarrollo de fácil comprobación y proporcionando

una correcta comprensión de la misma, pero antes es necesario enfatizar sobre varios criterios que nos ayudarán a estudiar, analizar y concluir el presente estudio, siendo indispensable recalcar que en la empresa se han reparado muchos tipos de fallas y hasta rotura de varios elementos, que con el tiempo de utilización de la maquinaria se han ido presentando; teniendo que en varios casos sustituir no solo un elemento o pieza sino varias.

En la actualidad es posible realizar un amplio estudio de la estructura y de las propiedades de los materiales gracias a una gran gama de equipos y máquinas como son: microscopios electrónicos, equipos para análisis metalográfico, máquinas universales, medidores de dureza, software, etc. Que permiten un minucioso y correcto análisis de los distintos materiales y por lo tanto un mayor control de éstos, siempre recordando varios temas, conceptos y normas enmarcados en la materia de ingeniería, que ayudarán a ahondar en el desarrollo del tema.

### **2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL**

La fundamentación legal se basa en varios artículos de la constitución actual de la República de Ecuador, de los cuales podemos resaltar los siguientes:

▲ Título VII, capítulo II, sección séptima<sup>13</sup>

**Art. 413.-** El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía...

▲ Título VI, capítulo I, Principios Generales<sup>14</sup>

---

<sup>13</sup> Fuente: Constitución de la república del ecuador.

Disponible en: [http://www.asambleanacional.gov.ec/documentos/constitucion\\_de\\_bolsillo.pdf](http://www.asambleanacional.gov.ec/documentos/constitucion_de_bolsillo.pdf)

<sup>14</sup> Fuente: Constitución de la república del ecuador.

Disponible en: [http://www.asambleanacional.gov.ec/documentos/constitucion\\_de\\_bolsillo.pdf](http://www.asambleanacional.gov.ec/documentos/constitucion_de_bolsillo.pdf)

**Art 276.-** El régimen de desarrollo tendrá los siguientes objetivos:

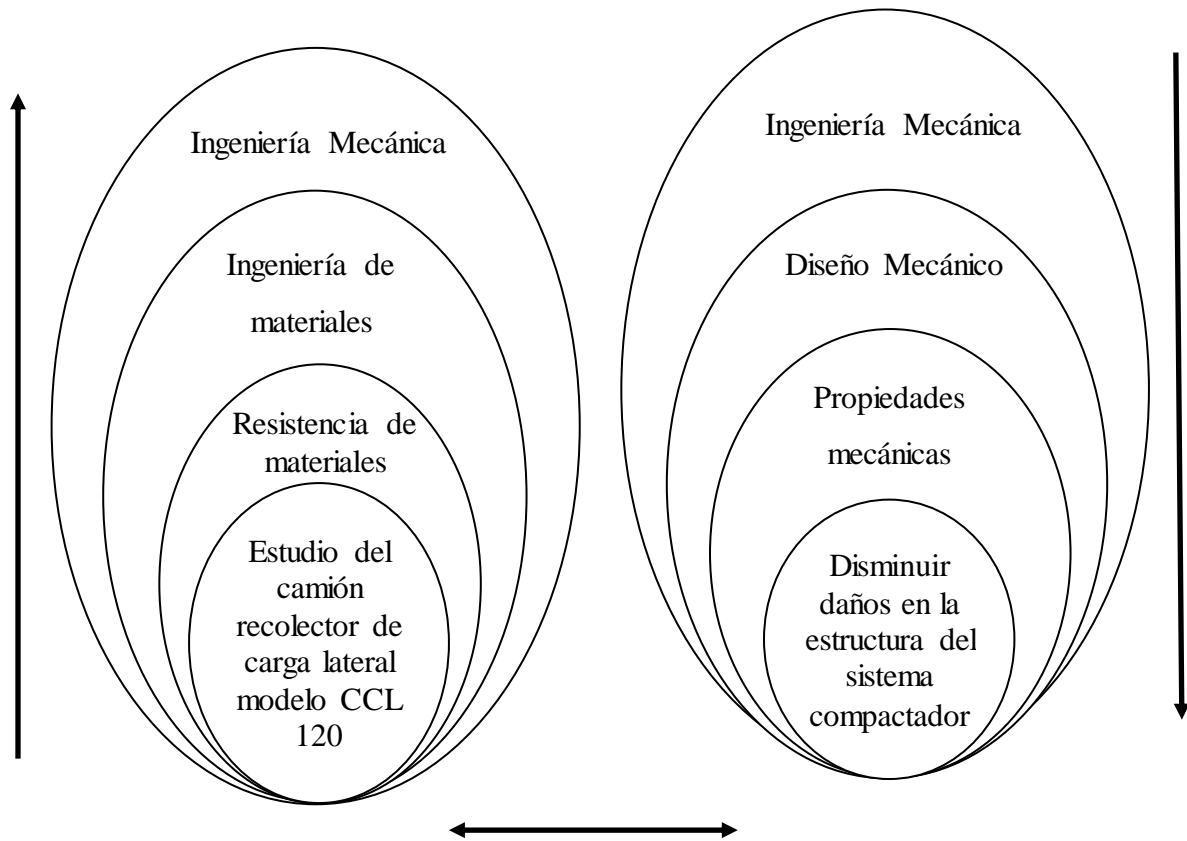
1. Mejorar la calidad y esperanza de vida, y aumentar las capacidades y potencialidades de la población...

2. Construir un sistema económico, justo, democrático, productivo, solidario y sostenible basado en la distribución igualitaria de los beneficios del desarrollo...

3. Fomentar la participación y el control social, con reconocimiento de las diversas identidades y promoción de su representación equitativa...

- ▲ AISI: American Iron and Steel Institute (Instituto Americano del hierro y el acero)
- ▲ ASTM A36/A36M –00, Standard Specification for Carbon Structural Steel (Especificación Estándar para Acero Estructural al Carbono)
- ▲ ASTM B688, Especificación para planchas y láminas de acero cromo-níquel-molibdeno.
- ▲ ASTM A370, Métodos de prueba y definiciones para pruebas mecánicas de productos de acero, que determinan si las propiedades de un material cumplen con las que se describen en las especificaciones del producto.
- ▲ ASTM A01 sobre Acero, acero inoxidable y aleaciones.
- ▲ ASTM E3 - 01 (2007) e1 Guía Estándar para la preparación de muestras metalográficas.
- ▲ ASTM E 10 – 01 Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials.
- ▲ ASD: Allowable Stress Desing (1923); Diseño por Esfuerzos Permisibles.
- ▲ AISC G455, Connections in Steel Structures, Behavior, Strength And Design.
- ▲ AWS D1.1, Structural Welding Code – Steel.

## 2.4 RED DE CATEGORÍAS FUNDAMENTALES



**Figura 2-11:** Red de categorías fundamentales  
**Fuente:** El Autor

## 2.5 HIPÓTESIS

El estudio de los factores técnicos que afectan el correcto funcionamiento del camión recolector de desechos modelo CCL 120 permitirá, disminuir los daños frecuentes en la estructura del sistema compactador.

## 2.6 VARIABLES

### 2.6.1 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES

**Variable independiente:** Estudio de los factores técnicos que afectan el correcto funcionamiento del camión recolector de desechos modelo CCL 120.

**Variable dependiente:** Disminuir los daños frecuentes en la estructura del sistema compactador.

## **CAPÍTULO III**

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1 ENFOQUE**

La presente investigación será predominantemente cuantitativa pues la problemática que la empresa actualmente viene teniendo no solo afecta a sus labores cotidianas, sino que además poco a poco va afectando a usuarios, operarios y toda la colectividad. Teniendo en cuenta que el enfoque cuantitativo utiliza la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis establecidas previamente y que además confía en la medición numérica, el conteo e indiscutiblemente en el uso de la estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento de una población.

De tal manera que permita analizar las partes, piezas y/o conjunto de éstas, recurriendo a obtener la información necesaria proveniente principalmente de fuentes primarias y secundarias. Entendiendo como fuentes primarias a quienes proporcionarán información importante, la misma que será recolectada y encontrada principalmente en datos, documentos, fichas, etc. proporcionadas por la empresa Globalparts S. A. como también en la empresa matriz Themac y en fuentes como libros, tesis, la web, etc.

Las secundarias son datos históricos, resúmenes, informes y hasta diarios a nivel nacional y local que han sido realizados desde la implementación del proyecto de recolección contenerizada en nuestra ciudad, obteniendo valiosa información, para finalmente presentar resultados en forma práctica y objetiva.

#### **3.2 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN**

Dentro del proceso investigativo se utilizará las siguientes modalidades de investigación:

### **3.2.1. DE CAMPO**

“El estudio sistemático de hechos en el lugar mismo en que se producen los acontecimientos.”<sup>15</sup> Se realizará en el lugar de los hechos y por su naturaleza nos sirve para la toma de decisiones y el planteamiento de la propuesta alternativa de solución. Lo que permitirá al investigador tomar contacto en forma directa con la realidad para obtener información de acuerdo a los objetivos del proyecto.

### **3.2.2. BIBLIOGRÁFICA – DOCUMENTAL**

“La investigación bibliográfica - documental es una operación previa a otras operaciones del análisis documental como la catalogación, la indización y la clasificación; describir un documento es identificarlo y dar información sobre su título, soporte, tema, características externas, etc. Y es necesario que exista algún tipo de ley que fije la cantidad de información, el número y orden de elementos que deben describirse, la puntuación y signos que deben emplearse en la descripción etc.”<sup>16</sup>

Éste tipo de investigación se utilizará con el objetivo de ampliar nuestros conocimientos, con un uso apropiado de la información logrando comparar, profundizar, deducir a diferentes autores, para después que ha sido analizada y sintetizada; comunicar la información resultante y todo esto gracias a la utilización de fuentes primarias y secundarias.

## **3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

### **3.3.1 EXPLORATORIA**

“Si no existen investigaciones previas sobre nuestro objeto de estudio, y por lo tanto se requiere explorar e indagar, con el fin de alcanzar el objetivo planteado, se utilizará el tipo investigación exploratoria. Según esto se puede definir este tipo

---

<sup>15</sup> Sonia Guato (2005). Biblioteca UTA-FICM. Pág. 56-57

<sup>16</sup> María Luisa Martínez. 2009. Internet



de exploración de la siguiente manera: Explorar significa incursionar en un territorio desconocido, por lo tanto, se emprenderá una investigación exploratoria cuando no se conoce el tema por investigar, o cuando el conocimiento es tan vago e impreciso que nos impide sacar las más provisionales conclusiones sobre qué aspectos son relevantes y cuáles no.”<sup>17</sup>

### **3.3.2 DESCRIPTIVA**

“La investigación descriptiva estudia los fenómenos tal como aparecen en el presente, en el momento de realizarse el estudio. Se incluyen en esta modalidad gran variedad de estudios cuya finalidad es describir los fenómenos en el momento en que tienen lugar.”<sup>18</sup>

Este método conocido también como memorando es muy fácil de utilizar y es flexible para adaptarlo a cualquier situación de la empresa, en él se describen las diferentes actividades de los departamentos, funcionarios y empleados, que intervienen o comprenden el sistema.

### **3.3.3 EXPLICATIVA**

Esta investigación centra su atención únicamente en la comprobación de las hipótesis causales, por ello busca describir las causas que originan el problema, apoyándose en leyes y teorías para tratar de comprender la realidad del porqué de los hechos, definiéndola a ésta investigación de la siguiente manera:

“La investigación explicativa intenta dar cuenta de un aspecto de la realidad, explicando su significatividad dentro de una teoría de referencia, a la luz de leyes o generalizaciones que dan cuenta de hechos o fenómenos que se producen en determinadas condiciones.”<sup>19</sup>

---

<sup>17</sup> Roberto Hernández Sampieri y otros. 2009. Internet

<sup>18</sup> Osmar Horacio Saldaño. 2009. Internet

<sup>19</sup> Jesús Mendoza. 2009. Internet

### **3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.4.1 POBLACIÓN**

La población o universo en la presente investigación está catalogada dentro de todos los camiones compactadores de carga lateral que existen; pero para el objeto de estudio en este caso específico, serán los 5 camiones que trabajan diariamente en nuestra provincia, tomando en cuenta para ello los parámetros que afectan al correcto funcionamiento del sistema compactador, los cuales van a ser modificados para mejorar la eficiencia del camión recolector.

#### **3.4.2 MUESTRA**

Para el desarrollo del estudio se va a trabajar en la estructura del sistema compactador del camión recolector de desechos de carga lateral modelo CCL 120, construido por la empresa Chilena Themac y que actualmente 5 camiones de éstos se encuentran trabajando desde hace varios años en nuestra ciudad, de los cuales 3 están a cargo de la empresa Globalparts S.A. de donde nuestro estudio se centrará en 1 camión de éstos.

### 3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

#### 3.5.1 Variable Independiente: Estudio de los factores técnicos que afectan el correcto funcionamiento del camión recolector de desechos modelo CCL 120.

Tabla 3-1: Operacionalización de variable independiente

CONCEPTOS	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<b>Factores técnicos que afectan el correcto funcionamiento del camión CCL 120.-</b> Comprendiendo como factores a los tipos de desechos recolectados, desgaste y fatiga del material, entre otros, considerados siempre para el adecuado funcionamiento del <i>camión recolector</i> ; entendiéndose a éste como el equipo compactador automatizado, mono-operado de toma lateral para el vaciado de contenedores y la recolección de residuos sólidos.	Técnicos Esfuerzo Geometría Material	Carga aplicada <i>Sy</i> <i>Sut</i> Dimensiones de los elementos Acero estructura utilizado	¿Qué fuerza es capaz de entregar el sistema hidráulico? ¿Qué dimensiones debe tener ciertos elementos de la estructura? ¿Cuáles son los materiales de la estructura del compactador?	Registros empresariales Observación de campo Ensayos de laboratorio

Fuente: El Autor

**3.5.2 Variable Dependiente:** Disminuir los daños frecuentes en la estructura del sistema compactador.

**Tabla 3-2:** Operacionalización de variable dependiente

CONCEPTOS	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p><b>Daños frecuentes en la estructura del sistema compactador.-</b> Los daños o fallas se producen por <i>fatiga</i> del material, la misma que es la aplicación repetida de ciclos de carga y descarga que debilitan las piezas, pudiendo llegar a la rotura del material o <i>estructura</i>.- que es la combinación ordenada de partes, unidas para proporcionar cierta rigidez al sistema compactador, constituyéndose éste por la <i>Prensa</i>, estructura en forma de paralelepípedo, movida mediante 2 cilindros de prensa; compactando los residuos en la <i>caja de compactación</i>, lugar donde se almacena los desechos compactados y es donde tienen lugar las principales operaciones.</p>	<p>Discontinuidades</p> <p>Geometría</p> <p>Resistencia</p>	<p>Frecuencia de daños y trabajo</p> <p>Fisuras y deformaciones</p> <p>Límite de fatiga</p>	<p>¿Qué elementos de la estructura presentan daños o fisuras considerables?</p> <p>¿Qué elementos de la estructura muestran fatiga?</p>	<p>Observación</p> <p>Revisión del registro del camión</p> <p>Pruebas y ensayos de laboratorio</p> <p>Análisis y comprobación del registro de mantenimiento.</p>

Fuente: El Autor

### 3.6 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Teniendo el fundamento de la operacionalización de variables la información será recolectada como se indica a continuación:

▲ Partiendo del apoyo bibliográfico en cuanto a todo lo relacionado con diseño y resistencia de materiales realizamos una revisión crítica de toda la información recolectada.

▲ Entrevistar a los funcionarios, personal administrativo, operarios, equipo de mantenimiento, equipo técnico, entre otros de la empresa; para indagar sobre el tema planteado e interrogantes que necesiten ser aclaradas con ellos.

▲ Consultar al equipo técnico y de mantenimiento sobre temas específicos que requieran de su ayuda para su comprensión.

▲ Además de ser indispensable graficar la estructura del sistema compactador, para realizar ensayos de laboratorio.

▲ Establecer múltiples diseños, criterios, tipos y/o ejemplos de estructuras del sistema de compactación, para considerar nuevas ideas sobre éste. Ensayando con varios materiales para ahondar en el estudio.

▲ Además de ser ineludible hay que tomar una o varias muestras del material del sistema compactador, para analizar su composición química y determinar con exactitud, ¿Qué tipo de material es?

▲ Realizado esto empezamos por seleccionar, analizar, calcular y probar (con diferentes materiales que se logran encontrar fácilmente en el mercado) la estructura de acuerdo a las necesidades.

▲ Luego de tomar datos correspondientes de los cálculos realizados, con los instrumentos de laboratorio, materiales y equipos en la empresa, entre otros.

▲ Cotejamos los datos analíticos vs. los prácticos, y de ser factible realizamos la tabulación de cuadros según variables de la hipótesis, para posterior a ello:

▲ Graficar y de ser posible representar los resultados mediante gráficos estadísticos.

▲ Analizar e interpretar los resultados relacionándolos con las diferentes partes de la investigación, especialmente con los objetivos y la hipótesis.

### **3.7 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

Para el plan de procesamiento de la información es imprescindible tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

▲ Tabular los datos de forma crítica.

▲ Clasificar y depurar la información obtenida.

▲ Tabulación de resultados.

▲ Comprobar o rechazar la hipótesis para la solución del problema.

▲ Establecer conclusiones y recomendaciones

#### **3.7.1 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

Siendo la interpretación de resultados una de las partes más relevantes, es menester referirse de manera clara y concisa sobre los resultados que se van a obtener luego de realizado el presente estudio.

▲ Es indispensable que junto a cada gráfica se describa un análisis e interpretación del mismo en función de los objetivos y de la hipótesis.

▲ Además el análisis de resultados estadísticos, destacando la tendencia o relaciones fundamentales de acuerdo a la propuesta que se va a incluir.

▲ Analizar y relacionar los resultados obtenidos con las diferentes partes de nuestra investigación y con los requerimientos planteados.

▲ Establecer conclusiones y recomendaciones del estudio realizado.

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Se realizó la toma de varias muestras de material para elaborar un análisis y estudio metalográfico de los mismos y se determinó ciertas propiedades de los materiales, las muestras fueron tomadas de varias partes que fueron reemplazadas y que permanecen en talleres y mecánicas donde se ha realizado el mantenimiento y reparación de elementos de la estructura, las mismas que están documentadas en el anexo D2. Posteriormente se hizo un análisis de funcionamiento, cinético, de cargas aplicadas y de esfuerzos que actúan en la estructura del sistema compactador del camión recolector de desechos.

##### 4.1.1 ESTUDIO METALOGRAFICO

Debido a que los resultados de las probetas ensayadas arrojan distintos valores, lo más apropiado es filtrarlos e identificar las características y propiedades de cada ensayo, acorde a nuestro estudio y necesidades, estableciendo formatos que permitan al diseñador interpretarlos de una manera clara.

**Tabla 4-1:** Evaluación Microestructural

EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA		
NUMERO DE ENSAYO	COMPONENTES	
	% Ferrita	%Perlita
P1	74,6	26,4
P2	77,4	22,6
P3	75,6	24,4
P4	75,4	24,6
P5	75,7	24,3
P6	76,6	23,4

**Fuente:** El Autor

En la tabla anterior se muestran los porcentajes de las microestructuras estudiadas, las mismas que se encuentran detalladas en el Anexo A7.

Además en la Tabla 4-2 se muestra el detalle de cálculo de la Resistencia a la Tracción  $S_{ut}$ , de las probetas evaluadas su microestructura, las cuales se encuentran detalladas desde el Anexo A7 hasta el Anexo A12.

**Tabla 4-2:** Resistencia a la Tracción aproximada

<b>RESISTENCIA A LA TRACCION</b>	
<b>NUMERO DE ENSAYO</b>	<b><math>S_{ut}</math> (Kg/mm<sup>2</sup>)</b>
P1	43,064
P2	40,656
P3	41,664
P4	41,776
P5	41,608
P6	41,104

**Fuente:** El Autor

Finalmente los rangos de Dureza Brinell obtenidos mediante la medición del diámetro de la huella producida bajo la carga del Indentador se muestran en la Tabla 4-3, ver el Anexo A13.

**Tabla 4-3:** Ensayo de Dureza Brinell

<b>ENSAYO BRINELL</b>		
<b>NUMERO DE PROBETA</b>	<b>Ø(mm) del Indentador</b>	<b>Dureza (HB)</b>
P-1G	2,5	106,09
P-2G	2,5	107,125
P-1P	2,5	108,00
P-2P	2,5	110,80
P-3P	2,5	106,00

**Fuente:** El Autor



#### 4.1.2 ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO

Los pasos descritos a continuación fueron detallados por el ingeniero a cargo del mantenimiento de los camiones de la empresa Globalparts S.A.

- ✓ Diariamente los camiones se dirigen a las rutas asignadas para la recolección de desechos en toda la urbe de la ciudad de Ambato, con la revisión previa de combustible, sistema de elevación, sistema óleo hidráulico, cámara de prensa, apertura y descarga de desechos y mandos para la operación y arranque del camión.
- ✓ Una vez iniciada la ruta, los operadores se parquean posicionando el camión respecto al contenedor (ecotacho) a una distancia entre 0.8 a 1.5 metros, con la ayuda de cámaras que tienen instaladas para optimizar su trabajo.
- ✓ Activar el bloqueo o freno de estacionamiento del camión.
- ✓ Conectar la toma de fuerza para la iniciación del sistema óleo-hidráulico.
- ✓ Mover el joystick (Mando de operación del sistema de elevación) hacia atrás de 2 a 3 s; esto para resetear el sistema.
- ✓ Mover el joystick hacia delante de 2 a 3 s; para que los brazos del sistema de elevación empiecen su ciclo de ejecución automático, esto es:
- ✓ Sube el sistema de elevación hasta cierta altura para lograr cerrar los brazos justo al ancho necesario para sujetar el contenedor y elevarlo de 15 a 20cm del suelo.
- ✓ Acercan el contenedor hacia el camión y lo elevan de 1 a 1.5m de altura donde se cierran los seguros de los ganchos de toma para evitar que el contenedor se voltee.
- ✓ Inmediatamente sale una palanca de cada brazo para ayudar a abrir completamente la tapa del contenedor y evitar que se cierre mientras caen los desechos ya que el grupo de elevación voltea al contenedor para que todos los

residuos caigan en la tolva y plato prensa; este último movimiento lo realiza tres veces.

✓ Seguidamente el operario acciona los cilindros óleo-hidráulicos par que la prensa compacte los residuos, mientras el plato prensa que se encuentra sobre la prensa, evita que otros residuos que aún pueden estar cayendo del contenedor, caigan en la parte posterior de la prensa, esto se lo puede realizar varias veces dependiendo la cantidad de desechos.

✓ Finalmente el sistema de elevación empieza su ciclo de retorno, volteando y bajando el contenedor, regresando las palancas que sujetan la tapa del contenedor, abriendo los seguros de los ganchos de toma, (todo esto lo realiza automáticamente con sólo mover el joystick hacia adelante) y finalmente empuja al contenedor hasta la altura de la acera y lo deposita sobre ella.

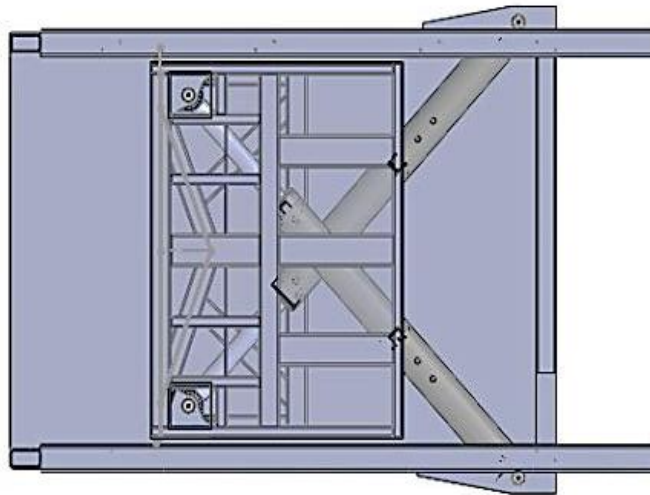
✓ Los brazos del sistema de elevación bajan un poco, se abren para retornar a su posición original y finalmente se cierran los seguros para evitar que caigan o salgan del camión evitando daños.

#### **4.1.2.1 Análisis de Funcionamiento del Sistema Compactador**

✓ Una vez que el ecotacho se ha depositado sobre la acera, el operario activa el retorno del sistema de elevación y activa los seguros para evitar que se ejecute nuevamente

✓ Seguidamente el operario procede a activar el sistema óleo-hidráulico, para empezar a compactar los residuos que se encuentran dentro de la cámara de compactación.

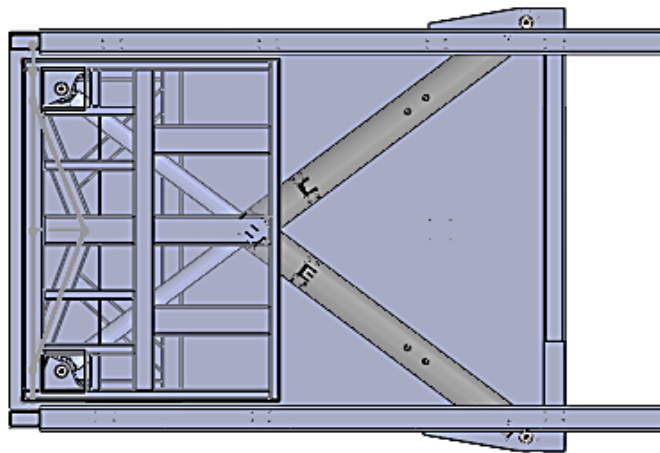
✓ Los dos cilindros óleo hidráulicos están dispuestos diagonalmente desde las bases de la estructura del compactador, hasta la prensa como se muestra en la figura 4-1.



**Figura 4-1:** Disposición de los cilindros oleo-hidráulicos

**Fuente:** El Autor

✓ Posteriormente el operario tecléa un pulsador para que los dos cilindros, sujetos con pines en la estructura de la prensa, actúen compactando los residuos contra la parte posterior del camión, (ver figura 4-2). La compactación de residuos se realiza varias veces durante la recolección.



**Figura 4-2:** Acción de los cilindros oleo-hidráulicos

**Fuente:** El Autor

✓ Una vez que el camión está totalmente lleno de residuos y que el bloqueo no permite elevar ningún ecotacho más, se dirigen hacia el basurero municipal de la ciudad vía a Píllaro, para realizar el control de peso y descarga de residuos.

- ✓ La descarga de residuos se la hace mediante un cilindro telescópico, una vez abierta la compuerta posterior del camión, el mismo que está sujeto a la base de la estructura del compactador.

#### **4.1.3 POSIBLES DAÑOS OCURRIDOS EN LA ESTRUCTURA DEL COMPACTADOR**

La cámara de compactación se encuentra frecuentemente en contacto con los residuos urbanos que son recolectados diariamente, tales como: madera, residuos de alimentos, papel, cartón, plásticos, textiles, caucho, vidrio, metales entre otros; de los cuales gran parte son fácilmente compactables, sin embargo varias veces en el interior de los ecotachos son arrojados escombros de construcciones, piedras, llantas, etc. los cuales pueden producir un mayor desgaste entre los elementos como el piso, guías, prensa del compactador, y que a su vez requieren de un mayor esfuerzo para compactarse,

Además cuando la cámara de compactación está totalmente llena se aplica la fuerza máxima para compactar los residuos, lo que produce una mayor concentración de esfuerzos en las bases inferiores de la estructura del compactador y éstos esfuerzos deben ser fácilmente distribuidos a toda la estructura sin que se vea afectada la geometría, sin embargo al no estar bien diseñada podría ocasionar debilitamiento de los elementos, torceduras y hasta rotura del material.

De igual manera los líquidos que desprenden ciertos alimentos, envases, recipientes, etc. pueden ocasionar corrosión y posteriormente el debilitamiento de los elementos que se encuentran en contacto. En el anexo D3 se muestran varias fotografías tomadas, tanto de los elementos que constituyen la cámara de compactación, así como de la estructura del compactador. Además de lo expuesto en el anexo D3, la observación de campo, la toma de muestras, conversaciones ejecutadas con todo el personal de la empresa Globalparts, así como también con el personal de las mecánicas y talleres donde se han realizado varias reparaciones, se han constituido como una parte vital en la determinación de los posibles daños

ocurridos en la estructura y de la o las zonas afectadas por la compactación de residuos, para de esta manera resumir en la siguiente tabla:

**Tabla 4-4:** Posibles daños ocurridos en la estructura del compactador

POSIBLES DAÑOS	CAUSA
Corrosión	Desechos urbanos y líquidos Envases
Debilitamiento de la estructura	Concentración de esfuerzos
Torceduras	Compactación excesiva
Rotura o fisuras de juntas soldadas	Mala utilización de soldadura Soldador no calificado
Esfuerzo mayor	Compactación de llantas, piedras, desechos de construcciones, etc.
Rotura y fractura del material	Mal diseño de la estructura

Fuente: El Autor

#### 4.1.4 ANÁLISIS DE CARGAS APLICADAS EN LA PRENSA

Es necesario analizar el sistema de compactación y el tipo de esfuerzos que ejercen sobre varios de los elementos que se encuentran en él, planteando diagramas de cuerpo libre en las posiciones más críticas, tomando en cuenta:

- ✓ Tipo de material
- ✓ Fuerza que ejercen los cilindros óleo-hidráulicos
- ✓ Peso de la basura
- ✓ Área neta del pistón

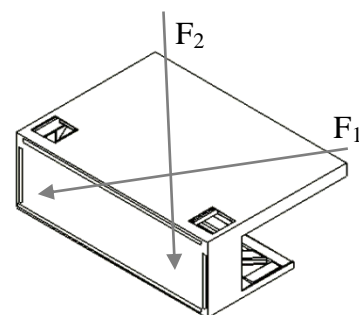
De la Ec. 2-2

$$A = 0,01094[m^2]$$

De la Ec. 2-1

$$F = 218,8 [KN] \text{ en cada cilindro}$$

$$F_1 = F_2 = 218,8 [KN]$$



**Figura 4-3:** Detalle Prensa

Fuente: El Autor

Los cilindros óleo-hidráulicos tienen dos ángulos respecto a los pines de sujeción, los cuales se encuentran en la parte posterior de la estructura del compactador.

Los ángulos de la prensa varían mientras ésta se encuentra, en reposo (sin compactar) o en acción (compactando) los residuos como se muestra a continuación:

$$\alpha_{\text{min}} = 30,17^\circ \approx 30^\circ$$

$$\alpha_{\text{máx}} = 51,32^\circ \approx 51^\circ$$

**Cálculo Cuando  $\alpha = 30^\circ$**

Con la Ecuación

$$w = q \cdot l \quad \text{Ec. (4-1)}$$

$q = \text{Carga distribuida [KN]}$

$l = \text{longitud de la viga [m]}$

En donde:

De la Ec. 4-1

$$l = 1,375 \text{ [m]}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$F_1y = \text{Sen } 30^\circ \cdot F_1 \text{ [KN]}$$

$$F_1y = 109,4 \text{ KN}$$

$$F_1y = F_2y$$

$$\uparrow + \sum FV = 0$$

$$q \cdot l - F_1y - F_2y = 0$$

$$q = \frac{\text{Sen } 30^\circ \cdot F_1 + \text{Sen } 30^\circ \cdot F_2}{l}$$

$$q = 159,13 \text{ [KN/m]}$$

**Cálculo de momento máximo**

Con la Ecuación

$$M \text{ máx} = \frac{q \cdot l^2}{8} \quad \text{Ec. (4-2)}$$

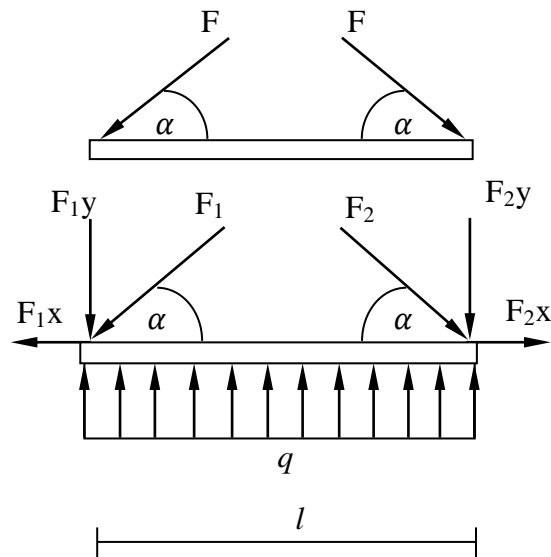


Figura 4-4: Diagrama de cuerpo libre

Fuente: El Autor

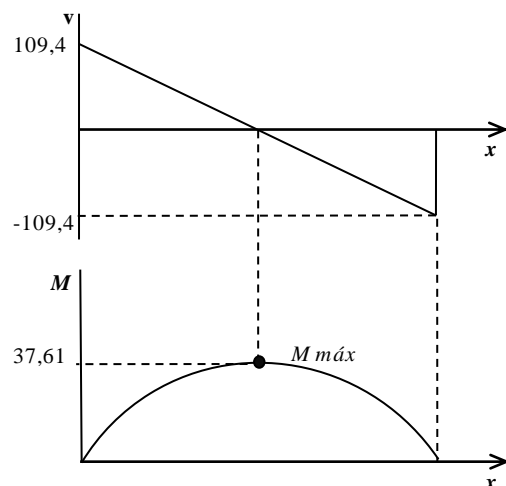
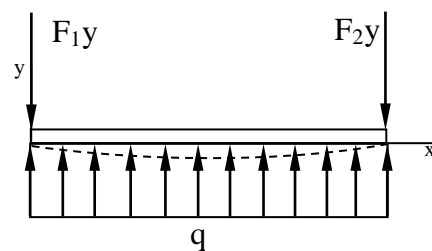


Figura 4-5: Diagrama de cargas, cortante y momento máximo con  $\alpha=30^\circ$

Fuente: El Autor

$$M \text{ máx} = 37,61 \text{ [KN.m]}$$

Cálculo del módulo de Inercia

$$I = \text{Módulo de Inercia [m}^4\text{]}$$

$$A = \text{Área de la sección [m}^2\text{]}$$

$$Y_i = \text{Distancia media [m]}$$

En donde:

$$I_{xx} = \sum I_{cgxx} + \sum A \cdot d^2 - \frac{(\sum M)^2}{\sum A} \text{ Ec. (4-3)}$$

**Tabla 4-5:** Tabla de cálculo del módulo de Inercia

Detalle Elemento	A [m <sup>2</sup> ]	Yi [m]	A · Yi [m <sup>3</sup> ]	A · Yi <sup>2</sup> [m <sup>4</sup> ]	∑ Icy [m <sup>4</sup> ]
1	3,075x10 <sup>-3</sup>	2,5x10 <sup>-3</sup>	7,6875x10 <sup>-6</sup>	1,92188x10 <sup>-7</sup>	6,40625x10 <sup>-9</sup>
2	2,25x10 <sup>-3</sup>	0,230	5,175x10 <sup>-4</sup>	1,1903x10 <sup>-4</sup>	3,79688x10 <sup>-5</sup>
3	4,98x10 <sup>-3</sup>	0,4575	2,27835x10 <sup>-3</sup>	1,04235x10 <sup>-3</sup>	1,0375x10 <sup>-8</sup>
<b>TOTAL</b>	<b>0,0101305</b>	<b>0,690</b>	<b>2,8035x10<sup>-5</sup></b>	<b>1,1614x10<sup>-3</sup></b>	<b>3,7986x10<sup>-5</sup></b>

Fuente: El Autor

De la Ec. 4-3

$$I_{xx} = 4,36656x10^{-4} \text{ [m}^4\text{]}$$

### Cálculo del esfuerzo

En donde:

$$M \text{ máx} = \text{Momento máximo [N.m]}$$

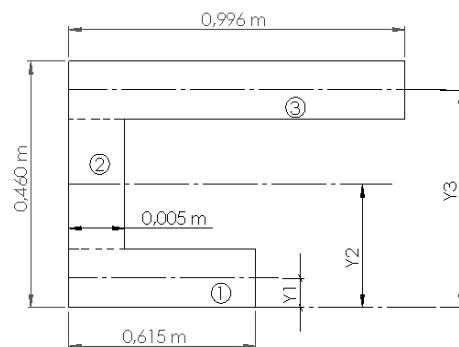
$$\sigma = \text{Esfuerzo normal [Pa]}$$

$$c = \text{Distancia media del elemento [m]}$$

De la Ec. 2-3

$$\sigma = 19810,3577 \text{ [KPa]}$$

Cálculo del Esfuerzo Cortante



**Figura 4-6:** Área de sección transversal de la Prensa

Fuente: El Autor

En donde:

$\tau$  = Esfuerzo cortante [KPa]

$V$  = Fuerza cortante máxima [N.m]

$Q = 2,8035 \times 10^{-5}$  [m<sup>3</sup>]

$b = 5 \times 10^{-3}$  [m]

$V = 109,40$  [N.m]

De la Ec. 2-5

$\tau_{xy} = 10004,298$  [KPa]

Cálculo del Esfuerzo Cortante máximo

$$\tau_{m\acute{a}x} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

Ec. (4-4)

$$\tau_{m\acute{a}x} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$\tau_{m\acute{a}x} = 10874,814$  [KPa]

**Cálculo Cuando  $\alpha = 51^\circ$**

$F_1y = \text{Sen } 51^\circ \cdot F_1$  [KN]

$F_1y = 170,04$  KN

$\uparrow + \sum FV = 0$

$q \cdot l - F_1y - F_2y = 0$

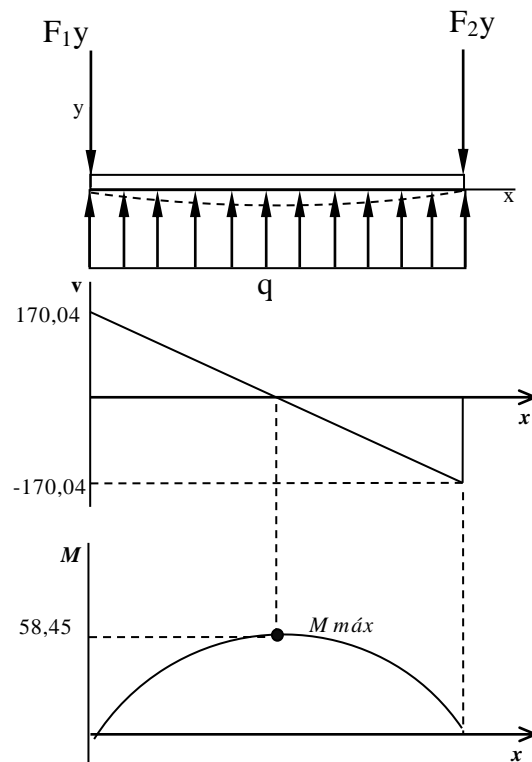
$$q = \frac{\text{Sen } 51^\circ \cdot F_1 + \text{Sen } 51^\circ \cdot F_2}{l}$$

$q = 247,33$  [KN/m]

**Cálculo del momento máximo**

En donde:

$l = 1,375$  [m]



**Figura 4-7:** Diagrama de cargas, cortante y momento máximo con  $\alpha=51^\circ$

**Fuente:** El Autor



De la Ec. 4-2

$$M_{\text{máx}} = 58,45 \text{ [KN.m]}$$

### **Cálculo de esfuerzo**

En donde:

$$I_{xx} = 4,36656 \times 10^{-4} \text{ [m}^4\text{]}$$

De la Ec. 2-3

$$\sigma = 30787,3943 \text{ [KPa]}$$

Cálculo del Esfuerzo Cortante

De la Ec. 2-5

$$\tau_{xy} = 2183,445 \text{ [KPa]}$$

Cálculo del Esfuerzo Cortante máximo

De la Ec. 4-4

$$\tau_{\text{máx}} = 15393,768 \text{ [KPa]}$$

De los cálculos anteriores tenemos que los esfuerzos son mayores cuando el ángulo  $\alpha = 51^\circ$  tanto el esfuerzo normal como el esfuerzo cortante máximo, por lo tanto éste ángulo será el utilizado para cálculos posteriores.

Los esfuerzos encontrados vamos para compararlos con la resistencia del material del elemento, que en este caso es la prensa del sistema de compactación, obteniendo así:

$$\tau_{\text{máx}} \leq S_{st} \quad \text{Ec. (4-5)}$$

$$S_{st} = \frac{1}{2} S_{ut} \quad \text{Ec. (4-6)}$$

Del Anexo B4 tenemos:

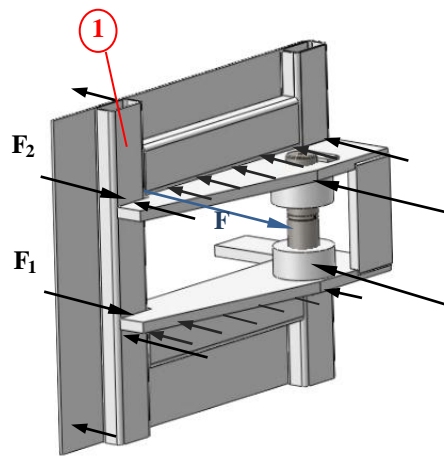
$$S_{st} = \frac{1}{2} (1250 \times 10^3) \text{ [KPa]}$$

$$15393,768 \leq 625 \times 10^3 \text{ [KPa]} \text{ **Satisface**}$$

#### 4.1.5 ANÁLISIS DE CARGAS APLICADAS EN LAS BASES INFERIORES DE LA ESTRUCTURA DEL COMPACTADOR

De la misma forma en que se procedió para el cálculo anterior, analizamos los apoyos inferiores de la estructura del compactador, que es el lugar donde la fuerza se traslada, ya que es donde los cilindros óleo-hidráulicos se encuentran sujetos.

Para este análisis se va a utilizar el ángulo de  $51^\circ$ , puesto que con ese ángulo se produce un esfuerzo mayor que con el ángulo de  $30^\circ$ , como se demostró en el cálculo anterior.



**Figura 4-8:** Fuerzas y Reacciones producidas en el apoyo posterior.

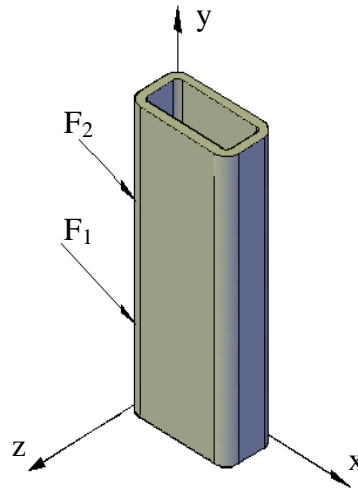
**Fuente:** El Autor

En la Figura 4-8 se muestra la fuerza  $F=218,8$  [KN] que actúa sobre el pin trasero de sujeción, la cual origina dos reacciones de la mitad de su magnitud sobre los extremos del pin, las mismas que a su vez se distribuyen uniformemente sobre toda la placa superior e inferior que sujeta al mismo.

La distribución de esta fuerza, produce 2 reacciones en los extremos de cada placa, en sentido contrario a F, con un valor igual a la mitad de F, si sumamos las dos.

Estas reacciones producen 2 fuerzas en sentido contrario, sobre los puntos de sujeción de las placas con el parante 1, siendo éste el elemento que analizaremos a

continuación y para ello lo diagramaremos de manera individual con las respectivas fuerzas aplicadas sobre los planos  $x$ ,  $z$ .



**Figura 4-9:** Diagrama de cargas aplicadas en el elemento 1

**Fuente:** El Autor

#### **Cálculo de fuerzas aplicadas**

$$F = \text{Fuerza [KN]}$$

$$\sigma = \text{Esfuerzo normal [Pa]}$$

$$\tau = \text{Esfuerzo cortante [Pa]}$$

$$M \text{ máx} = \text{Momento máximo [N.m]}$$

En donde:

$$F = 218,8 \text{ [KN]}$$

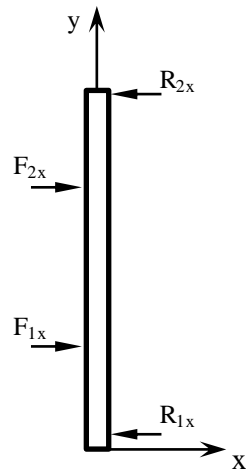
$$\alpha = 51^\circ$$

$$F_1 = 54,7 \text{ [KN]}$$

$$F_2 = 54,7 \text{ [KN]}$$

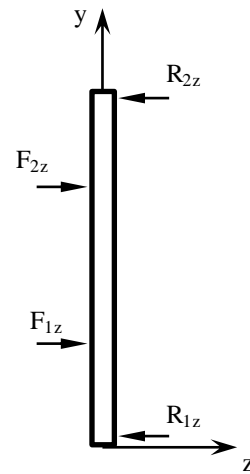
La figura 4-9 muestra el parante 1 con las dos fuerzas aplicadas sobre él, luego del análisis realizado en la figura 4-8, de las cuales se obtienen componentes en los planos  $x$   $z$ ; las misma que se detallan a continuación:

En la Figura 4-10 y 4-11 se muestra al parante 1 en los planos  $xy$  y  $zy$  con las fuerzas aplicadas sobre el elemento, en sus respectivos planos.



**Figura 4-10:** Diagrama de fuerzas en los ejes  $x$ ,  $y$

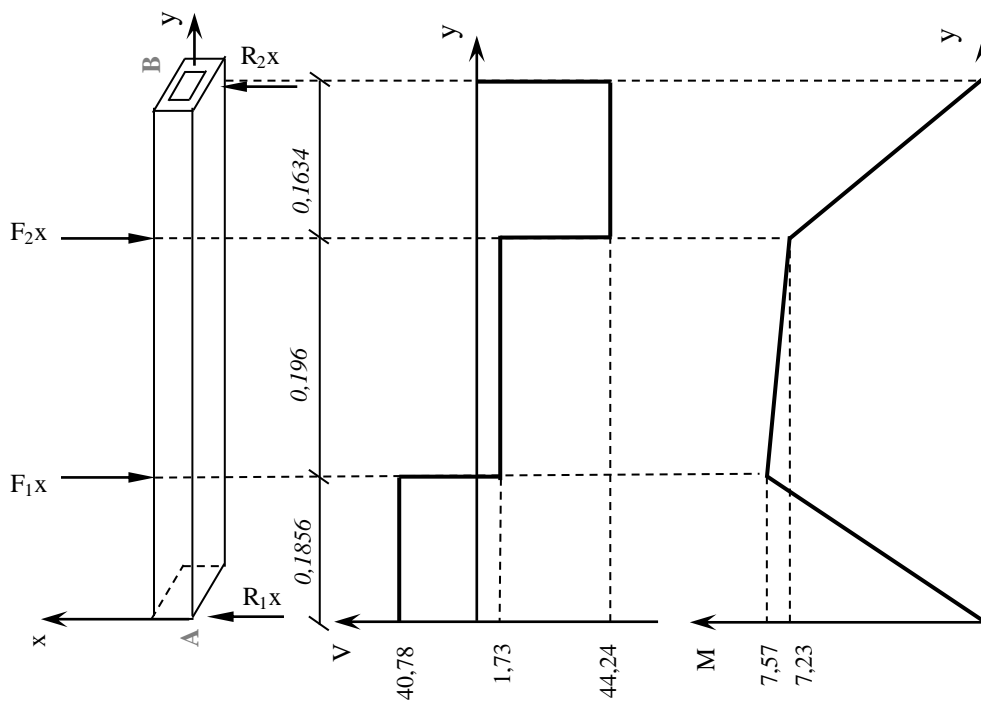
Fuente: El Autor



**Figura 4-11:** Diagrama de fuerzas en los ejes  $z$ ,  $y$

Fuente: El Autor

En la Figura 4-12 se muestra el diagrama de cortante y momentos respecto a los ejes  $x$ ,  $y$  referida a la figura 4-10, teniendo en cuenta que la fuerza que actúa sobre el pin lo hace teniendo un ángulo de  $\alpha=51^\circ$ .



**Figura 4-12:** Diagrama de cargas, cortante y momento máximo respecto al eje  $x$  y.

Fuente: El Autor

$$\text{Sen } \alpha = \frac{F_{1x}}{F_1}$$

$$F_{1x} = \text{Sen } \alpha \cdot F_1$$

$$F_{1x} = 42,51 \text{ [KN]} \approx F_{2x}$$

$$\curvearrowright \Sigma MA = 0$$

$$R_{2x} \cdot 0,545 - F_{2x} \cdot 0,3816 - F_{1x} \cdot 0,1856 = 0$$

$$R_{2x} = 44,24 \text{ [KN]}$$

$$\uparrow \Sigma FV = 0$$

$$R_{1x} + R_{2x} - F_{1x} - F_{2x} = 0$$

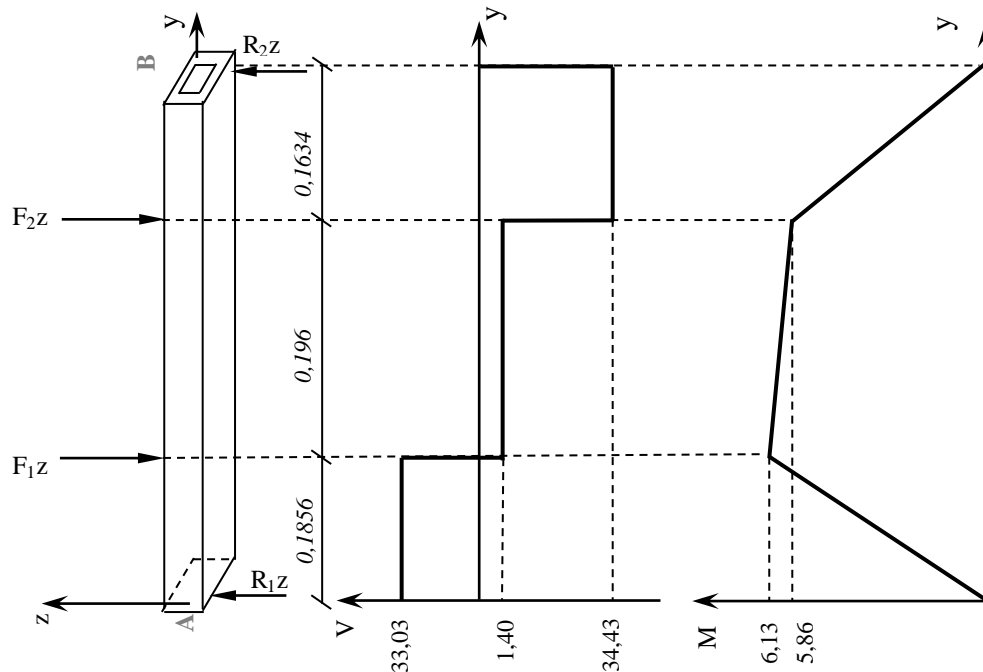
$$R_{1x} = 40,78 \text{ [KN]}$$

**Cálculo del momento máximo referido a la Fig. 4-12**

$$M_z \text{máx} = V \cdot l \quad \text{Ec. (4-7)}$$

$$M_z \text{máx} = 7,57 \text{ [KN.m]}$$

La figura 4-13 muestra el diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores que se producen respecto al eje z, y, referida a la figura 4-11.



**Figura 4-13:** Diagrama de cargas, cortante y momento máximo respecto al eje z y

**Fuente:** El Autor

$$\cos \alpha = \frac{F_{1z}}{F_1}$$

$$F_{1z} = \cos \alpha \cdot F_1$$

$$F_{1z} = 34,42 \text{ [KN]} \approx F_{2z}$$

$$\curvearrowright \sum MA = 0$$

$$R_{2z} \cdot 0,545 - F_{2z} \cdot 0,3816 - F_{1z} \cdot 0,1856 = 0$$

$$R_{2z} = 35,83 \text{ [KN]}$$

$$\uparrow \sum FV = 0$$

$$R_{1z} + R_{2z} - F_{1z} - F_{2z} = 0$$

$$R_{1z} = 33,03 \text{ [KN]}$$

**Cálculo del momento máximo referido a la Fig. 4-13**

$$M_x \text{ máx} = V \cdot l \quad \text{Ec. (4-7)}$$

$$M_x \text{ máx} = 6,13 \text{ [KN.m]}$$

**4.1.6 Cálculo del esfuerzo normal, cortante y de diseño por esfuerzos permisible (método ASD) referida a las figuras 4-10, 4-12 y 4-14.**

En donde:

$b =$  Base [m]

$h =$  Altura [m]

$I =$  Módulo de Inercia [m<sup>4</sup>]

$\sigma =$  Esfuerzo normal [Pa]

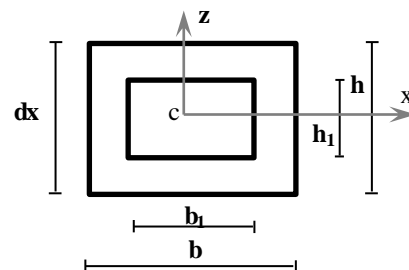
$\tau =$  Esfuerzo cortante [Pa]

$h = 0,040 \text{ [m]} \quad h_1 = 0,034 \text{ [m]}$

$b = 0,08 \text{ [m]} \quad b_1 = 0,074 \text{ [m]}$

$e = 0,003 \text{ [m]}$

$V = 44,24 \text{ [KN]}$



**Figura 4-14:** Área de sección para  $I_z$

Fuente: El Autor

$$I_z = I_y \text{ (del material)}$$

$$I_x = I_x \text{ (del material)}$$

Acero ASTM A37b

Del Anexo C2

$$I_z = 1,749 \times 10^{-7} \text{ [m}^4\text{]}$$

De la Ec. 2-3

$$\sigma_z = 865,638 \text{ [MPa]}$$

Del Anexo C2

$$A = 6,61 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}$$

De la Ec. 2-5

$$\tau_{xyz} = 557,321 \text{ [MPa]}$$

En donde:

$$h = 0,080 \text{ [m]} \quad h_1 = 0,074 \text{ [m]}$$

$$b = 0,040 \text{ [m]} \quad b_1 = 0,034 \text{ [m]}$$

$$e = 0,003 \text{ [m]}$$

Del Anexo C2

$$I_x = 5,216 \times 10^{-7} \text{ [m}^4\text{]}$$

De la Ec. 2-3

$$\sigma_x = 470,092 \text{ [MPa]}$$

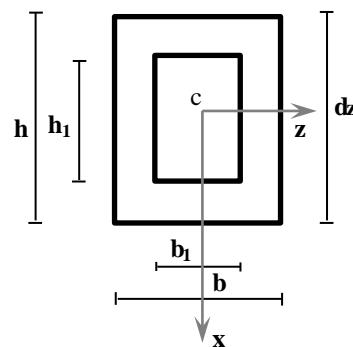
De la Ec. 2-5

$$\tau_{xyx} = 290,877 \text{ [MPa]}$$

En donde:

$$P = \text{Fuerza aplicada [KN]}$$

$$M = \text{Momento de inercia [KN.m]}$$



**Figura 4-15:** Área de sección para  $I_x$

**Fuente:** El Autor

$W = \text{Módulo de sección } [m^3]$

$F_y = \text{Límite de fluencia del material } [MPa]$

$f_{bx} = \text{Esfuerzo de flexión } [MPa]$

$F_{bx} = \text{Esfuerzo Permisible (flexión) } [MPa]$

$f_{by} = \text{Esfuerzo de flexión } [MPa]$

$F_{by} = \text{Esfuerzo Permisible (flexión) } [MPa]$

$r_T = \text{Radio de giro } [m]$

$C_b = \text{Coeficiente de momento}$

$L = \text{Longitud real no soportada } [m]$

$W_z = W_y(\text{del material})$

$W_x = W_x(\text{del material})$

Cálculo respecto de la figura 4-14

En donde:

$$C_b = 1$$

$$L = 0,545 [m]$$

$$d_z = 0,04 [m]$$

Del Anexo C2 y B1 tenemos:

$$W_z = 8,75 \times 10^{-6} [m^3]$$

$$F_y = 235,36 [MPa]$$

$$r_{T_z} = \sqrt{I_z/A} \quad \text{Ec. (4-8)}$$

$$r_{T_z} = 0,0163 [m]$$

De la Ec. 2-11

$$20,818 < 33,504 < 46,5499$$



Por lo tanto aplicamos las ecuaciones 2-12 y 2-15

*De la Ec. 2-12*

$$F_{bz} = 116,264 \text{ [MPa]}$$

*De la Ec. 2-15*

$$A_f = 0,08 \times 0,003$$

$$A_f = 0,240 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$F_{bz} = 132,110 \text{ [MPa]}$$

*De la Ec. 2-10*

$$F_{bz} = 141,216 \text{ [MPa]}$$

$$f_{bz} = \frac{M_z}{W_z} \quad \text{Ec. (4-9)}$$

$$f_{bz} = 865,143 \text{ [MPa]}$$

De los tres valores calculados de  $F_{bz}$ , tomamos el mayor de ellos siempre y cuando éste no exceda de  $0,60F_y$  (detallado en el capítulo 2); por lo tanto tenemos:

*De la Ec. 2-13*

$$\frac{f_{bz}}{F_{bz}} = 6,549$$

Cálculo respecto de la figura 4-15

$$C_b = 1$$

$$L = 0,545 \text{ [m]}$$

$$d_x = 0,08 \text{ [m]}$$

Del Anexo C2 y B1 tenemos:

$$W_x = 1,304 \times 10^{-5} \text{ [m}^3\text{]}$$

*De la Ec. 4-8*

$$r_{T_x} = 0,0281 \text{ [m]}$$

*De la Ec. 2-11*

$$20,818 > 19,40 < 46,5499$$

Por lo tanto aplicamos las ecuaciones 2-12 y 2-15:

De la Ec. 2-12

$$F_{bx} = 143,287 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 2-15

$$A_f = 0,04 \times 0,003$$

$$A_f = 1,20 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$F_{bx} = 33,027 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 2-10

$$F_{bx} = 141,216 \text{ [MPa]}$$

$$f_{bx} = \frac{M_x}{W_x} \quad \text{Ec. (4-10)}$$

$$f_{bx} = 470,092 \text{ [MPa]}$$

De los tres valores calculados de  $F_{bx}$ , tomamos el mayor de ellos siempre y cuando éste no exceda de  $0,60F_y$  (detallado en el capítulo 2); por lo tanto tenemos:

De la Ec. 2-13

$$\frac{f_{bx}}{F_{bx}} = 3,329$$

De la Ec. 2-13

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{fb_z}{Fb_z} + \frac{fb_x}{Fb_x} \leq 0,95$$

$9,878 > 1.0$  **Sobresfuerzo en el elemento**

Dado que los esfuerzos normales, cortantes, y de diseño por esfuerzos permisibles de acuerdo al método ASD, tanto en el eje  $z$  como en el eje  $x$ , son mayores respecto a la resistencia que presenta el material y sobrepasan el valor de las ecuaciones proporcionadas por el método ASD.

A continuación se va a plantear varias opciones, manteniendo el material original y cambiando el tipo de perfil y diseño del elemento estructural analizado. Teniendo en cuenta que los valores calculados anteriormente referidos a las figuras 4-12, 4-13, 4-14 y 4-15 se van a mantener entre los cuales tenemos:

$$M_{m\acute{a}x} = 7,57 \text{ [KN.m]}$$

$$C_b = 1$$

$$L = 0,545 \text{ [m]}$$

$$F_y = 235,36 \text{ [MPa]}$$

### **Opción 1**

Sustituyendo el elemento 1 de la Fig. 4-8 por un tubo rectangular 100X50X3.

Cálculo respecto de la figura 4-14

Del Anexo C2 y B1 tenemos:

$$d_z = 0,05 \text{ [m]}$$

$$A = 8,41 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$I_z = 3,597 \times 10^{-7} \text{ [m}^4\text{]}$$

$$W_z = 1,439 \times 10^{-5} \text{ [m}^3\text{]}$$

De la Ec. 2-3

$$\sigma_z = 526,133 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 2-5

$$\tau_{xyz} = 430,982 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 4-8

$$r_{\tau_z} = 0,0207 \text{ [m]}$$

De la Ec. 2-11

$$20,818 < 26,353 < 46,5499$$

Por lo tanto aplicamos las ecuaciones 2-12 y 2-15:

De la Ec. 2-12

$$F_{bz} = 131,763 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 2-15

$$A_f = 3 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$F_{bz} = 132,110 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 2-10

$$F_{bz} = 141,216 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 4-9

$$f_{bz} = 526,060 \text{ [MPa]}$$

De los tres valores calculados de  $F_{bz}$ , tomamos el mayor de ellos siempre y cuando éste no exceda de  $0,60F_y$  (detallado en el capítulo 2); por lo tanto tenemos:

De la Ec. 2-13

$$\frac{f_{bz}}{F_{bz}} = 3,982$$

Cálculo respecto de la figura 4-15

Del Anexo C2 y B1 tenemos:

$$d_x = 0,100 \text{ [m]}$$

$$I_x = 1,063 \times 10^{-6} \text{ [m}^4\text{]}$$

$$W_x = 2,127 \times 10^{-5} \text{ [m}^3\text{]}$$

De la Ec. 2-3

$$\sigma_x = 288,226 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 2-5

$$\tau_{xy_x} = 226,911 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 4-8

$$r_{T_x} = 0,0356 [m]$$

De la Ec. 2-11

$$20,818 > 15,327 < 46,5499$$

Por lo tanto aplicamos las ecuaciones 2-12 y 2-15:

De la Ec. 2-12

$$F_{bx} = 148,402 [MPa]$$

De la Ec. 2-15

$$A_f = 1,50 \times 10^{-4} [m^2]$$

$$F_{bx} = 33,028 [MPa]$$

De la Ec. 2-10

$$F_{bx} = 141,216 [MPa]$$

De la Ec. 4-10

$$f_{bx} = 288,199 [MPa]$$

De los tres valores calculados de  $F_{bx}$ , tomamos el mayor de ellos siempre y cuando éste no exceda de  $0,60F_y$  (detallado en el capítulo 2); por lo tanto tenemos:

De la Ec. 2-13

$$\frac{f_{bx}}{F_{bx}} = 2,041$$

De la Ec. 2-13

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{fb_z}{Fb_z} + \frac{fb_x}{Fb_x} \leq 0,95$$

$6,023 > 0,95$  **Sobresfuerzo en el elemento**

## **Opción 2**

Sustituyendo el elemento 1 de la Fig. 4-8 por un UPN 80X45X6.

Cálculo respecto de la figura 4-14

Del Anexo C3 tenemos:

$$d_z = 0,045[m]$$

$$I_z = 1,94 \times 10^{-7} [m^4]$$

$$A = 1,10 \times 10^{-4} [m^2]$$

$$W_z = 6,36 \times 10^{-6} [m^3]$$

*De la Ec. 2-3*

$$\sigma_z = 877,964 [MPa]$$

*De la Ec. 2-5*

$$\tau_{xyz} = 47,034 [MPa]$$

Del Anexo C3 tenemos:

*De la Ec. 4-8*

$$r_{T_z} = 0,0420 [m]$$

*De la Ec. 2-11*

$$20,818 > 12,978 < 46,5499$$

Por lo tanto aplicamos las ecuaciones 2-12 y 2-15:

*De la Ec. 2-12*

$$F_{bz} = 150,809 [MPa]$$

*De la Ec. 2-15*

$$A_f = 4,80 \times 10^{-4} [m^2]$$

$$F_{bz} = 234,862 [MPa]$$

*De la Ec. 2-10*

$$F_{bz} = 141,216 [MPa]$$

*De la Ec. 4-9*

$$f_{bz} = 1190,252 [MPa]$$

De los tres valores calculados de  $F_{bz}$ , tomamos el mayor de ellos siempre y cuando éste no exceda de  $0,60F_y$  (detallado en el capítulo 2); por lo tanto tenemos:

*De la Ec. 2-13*

$$\frac{f_{bz}}{F_{bz}} = 8,429$$

Cálculo respecto de la figura 4-15

Del Anexo C2 tenemos:

$$d_x = 0,080[m]$$

$$I_x = 1,06 \times 10^{-6} [m^4]$$

$$W_x = 2,65 \times 10^{-5} [m^3]$$

*De la Ec. 2-3*

$$\sigma_x = 231,321 [MPa]$$

*De la Ec. 2-5*

$$\tau_{xy_x} = 11,910 [MPa]$$

*De la Ec. 4-8*

$$r_{T_x} = 0,0982 [m]$$

*De la Ec. 2-11*

$$20,818 > 5,552 < 46,5499$$

Por lo tanto aplicamos las ecuaciones 2-12 y 2-15:

*De la Ec. 2-12*

$$F_{bx} = 155,791 [MPa]$$

*De la Ec. 2-15*

$$A_f = 2,70 \times 10^{-4} [m^2]$$

$$F_{bx} = 74,312 [MPa]$$

De la Ec. 2-10

$$F_{bx} = 141,216 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 4-10

$$f_{bx} = 231,321 \text{ [MPa]}$$

De los tres valores calculados de  $F_{bx}$ , tomamos el mayor de ellos siempre y cuando éste no exceda de  $0,60F_y$  (detallado en el capítulo 2); por lo tanto tenemos:

De la Ec. 2-13

$$\frac{f_{bx}}{F_{bx}} = 1,638$$

De la Ec. 2-13

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{fb_z}{Fb_z} + \frac{fb_x}{Fb_x} \leq 0,95$$

$10,067 > 0,95$  **Sobresfuerzo en el elemento**

### **Opción 3**

Sustituyendo el elemento 1 de la Fig. 4-8 por dos tubos rectangulares 80X40X3.

Cálculo respecto de la figura 4-14

Del Anexo C2 tenemos:

$$I_z = 1,749 \times 10^{-7} \text{ [m}^4\text{]}$$

$$d_z = 0,080 \text{ [m]}$$

$$A = 1,322 \times 10^{-3} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$W_z = 1,75 \times 10^{-5} \text{ [m}^3\text{]}$$

De la Ec. 2-3

$$\sigma_z = 865,638 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 2-5

$$\tau_{xyz} = 1114,642 \text{ [MPa]}$$



De la Ec. 4-8

$$r_{T_z} = 0,0115 [m]$$

De la Ec. 2-11

$$20,818 < 47,382 > 46,5499$$

Por lo tanto aplicamos las ecuaciones 2-12 y 2-14:

De la Ec. 2-12

$$F_{bz} = 75,622 [MPa]$$

De la Ec. 2-14

$$F_{bz} = 75,721 [MPa]$$

De la Ec. 2-10

$$F_{bz} = 141,216 [MPa]$$

De la Ec. 4-9

$$f_{bz} = 432,571 [MPa]$$

De los tres valores calculados de  $F_{bz}$ , tomamos el mayor de ellos siempre y cuando éste no exceda de  $0,60F_y$  (descrito en el capítulo 2); por lo tanto tenemos:

De la Ec. 2-13

$$\frac{f_{bz}}{F_{bz}} = 5,713$$

Cálculo respecto de la figura 4-15

Del Anexo C2

$$I_x = 1,043 \times 10^{-6} [m^4]$$

$$d_x = 0,160 [m]$$

$$W_x = 2,608 \times 10^{-5} [m^3]$$

De la Ec. 2-3

$$\sigma_x = 470,092 [MPa]$$

De la Ec. 2-5

$$\tau_{xy_x} = 581,754 [MPa]$$

De la Ec. 4-8

$$r_{T_x} = 0,0281 [m]$$

De la Ec. 2-11

$$20,818 > 19,401 < 46,5499$$

Por lo tanto aplicamos las ecuaciones 2-12 y 2-15:

De la Ec. 2-12

$$F_{bx} = 143,279 [MPa]$$

De la Ec. 2-15

$$A_f = 4,80 \times 10^{-4} [m^2]$$

$$F_{bx} = 33,028 [MPa]$$

De la Ec. 2-10

$$F_{bx} = 141,216 [MPa]$$

De la Ec. 4-10

$$f_{bx} = 235,046 [MPa]$$

De los tres valores calculados de  $F_{bx}$ , tomamos el mayor de ellos siempre y cuando éste no exceda de  $0,60F_y$  (detallado en el capítulo 2); por lo tanto tenemos:

De la Ec. 2-13

$$\frac{f_{bx}}{F_{bx}} = 1,664$$

De la Ec. 2-13

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{b_z}}{F_{b_z}} + \frac{f_{b_x}}{F_{b_x}} \leq 0,95$$

$7,337 > 0,95$  **Sobresfuerzo en el elemento**

#### **Opción 4**

Sustituyendo el elemento 1 de la Fig. 4-8 por dos tubos rectangulares 100X50X3.

Cálculo respecto de la figura 4-14

Del Anexo C2 tenemos:

$$I_z = 3,597 \times 10^{-7} \text{ [m}^4\text{]}$$

$$d_z = 0,050 \text{ [m]}$$

$$A = 1,682 \times 10^{-3} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$W_z = 2,878 \times 10^{-5} \text{ [m}^3\text{]}$$

De la Ec. 2-3

$$\sigma_z = 526,133 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 2-5

$$\tau_{xyz} = 861,965 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 4-8

$$r_{\tau_z} = 0,0146 \text{ [m]}$$

De la Ec. 2-11

$$20,818 < 37,268 < 46,5499$$

Por lo tanto aplicamos las ecuaciones 2-12 y 2-15:

De la Ec. 2-12

$$F_{bz} = 106,620 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 2-15

$$A_f = 1,20 \times 10^{-3} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$F_{bz} = 5528,440 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 2-10

$$F_{bz} = 141,216 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 4-9

$$f_{bz} = 263,030 \text{ [MPa]}$$

De los tres valores calculados de  $F_{bz}$ , tomamos el mayor de ellos siempre y cuando éste no exceda de  $0,60F_y$  (detallado en el capítulo 2); por lo tanto tenemos:

De la Ec. 2-13

$$\frac{f_{bz}}{F_{bz}} = 1,863$$

Cálculo respecto de la figura 4-15

Del Anexo C2

$$I_x = 2,127 \times 10^{-6} \text{ [m}^4\text{]}$$

$$W_x = 4,254 \times 10^{-5} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$d_x = 0,200 \text{ [m]}$$

De la Ec. 2-3

$$\sigma_x = 288,226 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 2-5

$$\tau_{xy_x} = 453,822 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 4-8

$$r_{T_x} = 0,0356 \text{ [m]}$$

De la Ec. 2-11

$$20,818 > 15,327 < 46,5499$$

Por lo tanto aplicamos las ecuaciones 2-12 y 2-15:

De la Ec. 2-12

$$F_{bx} = 148,402 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 2-15

$$A_f = 3,0 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$F_{bx} = 33,028 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 2-10

$$F_{bx} = 141,216 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 4-10

$$f_{bx} = 144,100 \text{ [MPa]}$$

De los tres valores calculados de  $F_{bx}$ , tomamos el mayor de ellos siempre y cuando éste no exceda de  $0,60F_y$  (detallado en el capítulo 2); por lo tanto tenemos:

De la Ec. 2-13

$$\frac{f_{bx}}{F_{bx}} = 1,020$$

De la Ec. 2-13

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{b_z}}{F_{b_z}} + \frac{f_{b_x}}{F_{b_x}} \leq 0,95$$

$2,883 > 0,95$  *Sobresfuerzo en el elemento*

### **Opción 5**

Sustituyendo el elemento 1 de la Fig. 4-8 por dos tubos rectangulares 150X50X3.

Cálculo respecto de la figura 4-14

Del Anexo C2 tenemos:

$$I_z = 5,254 \times 10^{-7} \text{ [m}^4\text{]}$$

$$d_z = 0,050 \text{ [m]}$$

$$A = 2,282 \times 10^{-3} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$W_z = 4,20 \times 10^{-5} \text{ [m}^3\text{]}$$

De la Ec. 2-3

$$\sigma_z = 360,202 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 2-5

$$\tau_{xyz} = 800,626 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 4-8

$$r_{T_z} = 0,0152 \text{ [m]}$$

De la Ec. 2-11

$$20,818 < 35,918 < 46,5499$$

Por lo tanto aplicamos las ecuaciones 2-12 y 2-15:

De la Ec. 2-12

$$F_{bz} = 110,199 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 2-15

$$A_f = 1,80 \times 10^{-3} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$F_{bz} = 792,661 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 2-10

$$F_{bz} = 141,216 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 4-9

$$f_{bz} = 180,067 \text{ [MPa]}$$

De los tres valores calculados de  $F_{bz}$ , tomamos el mayor de ellos siempre y cuando éste no exceda de  $0,60F_y$  (detallado en el capítulo 2); por lo tanto tenemos:

De la Ec. 2-13

$$\frac{f_{bz}}{F_{bz}} = 1,275$$

Cálculo respecto de la figura 4-15

Del Anexo C2

$$I_x = 5,967 \times 10^{-6} \text{ [m}^4\text{]}$$

$$W_x = 7,956 \times 10^{-5} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$d_x = 0,300 [m]$$

*De la Ec. 2-3*

$$\sigma_x = 154,098 [MPa]$$

*De la Ec. 2-5*

$$\tau_{xy_x} = 329,182 [MPa]$$

*De la Ec. 4-8*

$$r_{T_x} = 0,0511 [m]$$

*De la Ec. 2-11*

$$20,818 > 10,658 < 46,5499$$

Por lo tanto aplicamos las ecuaciones 2-12 y 2-15:

*De la Ec. 2-12*

$$F_{bx} = 152,794 [MPa]$$

*De la Ec. 2-15*

$$A_f = 3,0 \times 10^{-4} [m^2]$$

$$F_{bx} = 22,018 [MPa]$$

*De la Ec. 2-10*

$$F_{bx} = 141,216 [MPa]$$

*De la Ec. 4-10*

$$f_{bx} = 77,049 [MPa]$$

De los tres valores calculados de  $F_{bx}$ , tomamos el mayor de ellos siempre y cuando éste no exceda de  $0,60F_y$  (detallado en el capítulo 2); por lo tanto tenemos:

*De la Ec. 2-13*

$$\frac{f_{bx}}{F_{bx}} = 0,546$$

De la Ec. 2-13

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{fb_z}{Fb_z} + \frac{fb_x}{Fb_x} \leq 0,95$$

1,821 > 0,95 *Sobresfuerzo en el elemento*

### **Opción 6**

Sustituyendo el elemento 1 de la Fig. 4-8 por dos tubos UPN 80X45X6.

Cálculo respecto de la figura 4-14

Del Anexo C3 tenemos:

$$I_z = 1,940 \times 10^{-7} \text{ [m}^4\text{]}$$

$$d_z = 0,045 \text{ [m]}$$

$$A = 2,20 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$W_z = 1,272 \times 10^{-5} \text{ [m}^3\text{]}$$

De la Ec. 2-3

$$\sigma_z = 877,964 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 2-5

$$\tau_{xyz} = 94,067 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 4-8

$$r_{\tau_z} = 0,0297 \text{ [m]}$$

De la Ec. 2-11

$$20,818 > 18,353 < 46,5499$$

Por lo tanto aplicamos las ecuaciones 2-12 y 2-15:

De la Ec. 2-12

$$F_{bz} = 144,711 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 2-15

$$A_f = 1,92 \times 10^{-3} \text{ [m}^2\text{]}$$



$$F_{bz} = 939,450 \text{ [MPa]}$$

*De la Ec. 2-10*

$$F_{bz} = 141,216 \text{ [MPa]}$$

*De la Ec. 4-9*

$$f_{bz} = 595,126 \text{ [MPa]}$$

De los tres valores calculados de  $F_{bz}$ , tomamos el mayor de ellos siempre y cuando éste no exceda de  $0,60F_y$  (detallado en el capítulo 2); por lo tanto tenemos:

*De la Ec. 2-13*

$$\frac{f_{bz}}{F_{bz}} = 4,214$$

Cálculo respecto de la figura 4-15

*Del Anexo C2*

$$I_x = 2,120 \times 10^{-6} \text{ [m}^4\text{]}$$

$$W_x = 5,30 \times 10^{-5} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$d_x = 0,160 \text{ [m]}$$

*De la Ec. 2-3*

$$\sigma_x = 231,321 \text{ [MPa]}$$

*De la Ec. 2-5*

$$\tau_{xy_x} = 23,819 \text{ [MPa]}$$

*De la Ec. 4-8*

$$r_{T_x} = 0,0982 \text{ [m]}$$

*De la Ec. 2-11*

$$20,818 > 5,552 < 46,5499$$

Por lo tanto aplicamos las ecuaciones 2-12 y 2-15:

De la Ec. 2-12

$$F_{bx} = 155,791 [MPa]$$

De la Ec. 2-15

$$A_f = 5,40 \times 10^{-4} [m^2]$$

$$F_{bx} = 74,312 [MPa]$$

De la Ec. 2-10

$$F_{bx} = 141,216 [MPa]$$

De la Ec. 4-10

$$f_{bx} = 115,660 [MPa]$$

De los tres valores calculados de  $F_{bx}$ , tomamos el mayor de ellos siempre y cuando éste no exceda de  $0,60F_y$  (detallado en el capítulo 2); por lo tanto tenemos:

De la Ec. 2-13

$$\frac{f_{bx}}{F_{bx}} = 0,819$$

De la Ec. 2-13

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{fb_z}{Fb_z} + \frac{fb_x}{Fb_x} \leq 0,95$$

$5,033 > 0,95$  **Sobresfuerzo en el elemento**

### **Opción 7**

Sustituyendo el elemento 1 de la Fig. 4-8 por dos tubos UPN 100X50X6.

Cálculo respecto de la figura 4-14

Del Anexo C2 tenemos:

$$I_z = 2,930 \times 10^{-7} [m^4]$$

$$d_z = 0,050 [m]$$

$$A = 2,70 \times 10^{-3} [m^2]$$

$$W_z = 1,698 \times 10^{-5} \text{ [m}^3\text{]}$$

De la Ec. 2-3

$$\sigma_z = 645,904 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 2-5

$$\tau_{xyz} = 849,317 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 4-8

$$r_{T_z} = 0,0104 \text{ [m]}$$

De la Ec. 2-11

$$20,818 < 52,317 > 46,5499$$

Por lo tanto aplicamos las ecuaciones 2-12 y 2-14:

De la Ec. 2-12

$$F_{bz} = 57,809 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 2-14

$$F_{bz} = 62,110 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 2-10

$$F_{bz} = 141,216 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 4-9

$$f_{bz} = 445,819 \text{ [MPa]}$$

De los tres valores calculados de  $F_{bz}$ , tomamos el mayor de ellos siempre y cuando éste no exceda de  $0,60F_y$  (detallado en el capítulo 2); por lo tanto tenemos:

De la Ec. 2-13

$$\frac{f_{bz}}{F_{bz}} = 7,178$$

Cálculo respecto de la figura 4-15

*Del Anexo C2*

$$I_x = 4,12010^{-6} \text{ [m}^4\text{]}$$

$$W_x = 8,240x10^{-5} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$d_x = 0,100 \text{ [m]}$$

*De la Ec. 2-3*

$$\sigma_x = 148,786 \text{ [MPa]}$$

*De la Ec. 2-5*

$$\tau_{xy_x} = 188,028 \text{ [MPa]}$$

*De la Ec. 4-8*

$$r_{T_x} = 0,0391 \text{ [m]}$$

*De la Ec. 2-11*

$$20,818 > 13,952 < 46,5499$$

Por lo tanto aplicamos las ecuaciones 2-12 y 2-15:

*De la Ec. 2-12*

$$F_{bx} = 149,859 \text{ [MPa]}$$

*De la Ec. 2-15*

$$A_f = 6,0x10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$F_{bx} = 66,055 \text{ [MPa]}$$

*De la Ec. 2-10*

$$F_{bx} = 141,216 \text{ [MPa]}$$

*De la Ec. 4-10*

$$f_{bx} = 74,393 \text{ [MPa]}$$

De los tres valores calculados de  $F_{bx}$ , tomamos el mayor de ellos siempre y cuando éste no exceda de  $0,60F_y$  (detallado en el capítulo 2); por lo tanto tenemos:

*De la Ec. 2-13*

$$\frac{f_{bx}}{F_{bx}} = 0,527$$

De la Ec. 2-13

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bz}}{F_{bz}} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} \leq 0,95$$

7,705 > 0,95 *Sobresfuerzo en el elemento*

### **Opción 8**

Sustituyendo el elemento 1 de la Fig. 4-8 por dos tubos UPN 120X55X7.

Cálculo respecto de la figura 4-14

Del Anexo C2 tenemos:

$$I_z = 4,320 \times 10^{-7} \text{ [m}^4\text{]}$$

$$d_z = 0,055 \text{ [m]}$$

$$A = 3,40 \times 10^{-3} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$W_z = 2,220 \times 10^{-5} \text{ [m}^3\text{]}$$

De la Ec. 2-3

$$\sigma_z = 481,887 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 2-5

$$\tau_{xyz} = 683,935 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 4-8

$$r_{\tau_z} = 0,0113 \text{ [m]}$$

De la Ec. 2-11

$$20,818 < 48,350 > 46,5499$$

Por lo tanto aplicamos las ecuaciones 2-12 y 2-14:

De la Ec. 2-12

$$F_{bz} = 72,269 \text{ [MPa]}$$

De la Ec. 2-14

$$F_{bz} = 72,721 \text{ [MPa]}$$

*De la Ec. 2-10*

$$F_{bz} = 141,216 \text{ [MPa]}$$

*De la Ec. 4-9*

$$f_{bz} = 340,991 \text{ [MPa]}$$

De los tres valores calculados de  $F_{bz}$ , tomamos el mayor de ellos siempre y cuando éste no exceda de  $0,60F_y$  (detallado en el capítulo 2); por lo tanto tenemos:

*De la Ec. 2-13*

$$\frac{f_{bz}}{F_{bz}} = 4,689$$

Cálculo respecto de la figura 4-15

*Del Anexo C2*

$$I_x = 7,280 \times 10^{-6} \text{ [m}^4\text{]}$$

$$W_x = 1,214 \times 10^{-4} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$d_x = 0,240 \text{ [m]}$$

*De la Ec. 2-3*

$$\sigma_x = 101,044 \text{ [MPa]}$$

*De la Ec. 2-5*

$$\tau_{xy_x} = 137,828 \text{ [MPa]}$$

*De la Ec. 4-8*

$$r_{T_x} = 0,0463 \text{ [m]}$$

*De la Ec. 2-11*

$$20,818 > 11,778 < 46,5499$$

Por lo tanto aplicamos las ecuaciones 2-12 y 2-15:

De la Ec. 2-12

$$F_{bx} = 151,884 [MPa]$$

De la Ec. 2-15

$$A_f = 1,540 \times 10^{-3} [m^2]$$

$$F_{bx} = 70,642 [MPa]$$

De la Ec. 2-10

$$F_{bx} = 141,216 [MPa]$$

De la Ec. 4-10

$$f_{bx} = 50,494 [MPa]$$

De los tres valores calculados de  $F_{bx}$ , tomamos el mayor de ellos siempre y cuando éste no exceda de  $0,60F_y$  (detallado en el capítulo 2); por lo tanto tenemos:

De la Ec. 2-13

$$\frac{f_{bx}}{F_{bx}} = 0,358$$

De la Ec. 2-13

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{b_z}}{F_{b_z}} + \frac{f_{b_x}}{F_{b_x}} \leq 0,95$$

$5,047 > 0,95$  **Sobresfuerzo en el elemento**

## 4.2 INTERPRETACIÓN DE DATOS

Este capítulo tiene como objetivo analizar e interpretar la información obtenida de los análisis, estudios y cálculos realizados con los datos recolectados, materiales y diseños planteados, para así poder realizar un análisis estadístico, incluida una representación gráfica, que permitirá visualizar con mayor facilidad los resultados obtenidos.

A continuación se muestran los resultados de los valores de cálculo de esfuerzos normal y cortante, de diseño por esfuerzos permisibles por método ASD con la

utilización de diferentes materiales y secciones y dureza; los mismos que se encuentran tabulados en las siguientes tablas.

Así pues en las tablas 4-6 y 4-7 se realiza un resumen de los valores calculados tanto para esfuerzo normal y cortante realizado para las diferentes opciones planteadas anteriormente, tanto para el eje z como para el eje x.

**Tabla 4-6:** Valores calculados del esfuerzo normal y cortante respecto al eje z

DETALLE		$\sigma_z$ [Mpa]	$\tau_z$ [Mpa]
ORIGINAL	80x40	865,638	557,321
OPCIÓN 1	100x50	526,133	430,982
OPCIÓN 2	UPN 80x45	877,964	47,034
OPCIÓN 3	2(80x40)	865,638	1114,642
OPCIÓN 4	2(100x50)	526,133	861,965
OPCIÓN 5	2 (150x50)	360,202	800,626
OPCIÓN 6	2 UPN 80x45	877,964	94,067
OPCIÓN 7	2 UPN 100x50	645,904	849,317
OPCIÓN 8	2UPN 120x55	481,887	683,935

Fuente: El Autor

**Tabla 4-7:** Valores calculados del esfuerzo normal y cortante respecto al eje x

DETALLE		$\sigma_x$ [Mpa]	$\tau_x$ [Mpa]
ORIGINAL	80x40	470,092	290,877
OPCIÓN 1	100x50	288,226	226,911
OPCIÓN 2	UPN 80x45	231,321	11,910
OPCIÓN 3	2(80x40)	470,092	581,754
OPCIÓN 4	2(100x50)	288,226	453,822
OPCIÓN 5	2 (150x50)	154,098	329,182
OPCIÓN 6	2 UPN 80x45	231,321	23,819
OPCIÓN 7	2 UPN 100x50	148,786	188,028
OPCIÓN 8	2UPN 120x55	101,044	137,828

Fuente: El Autor

En la tabla 4-8 y 4-9 se muestra los valores tabulados, de las diferentes opciones planteadas del cálculo realizado de diseño por esfuerzos permisibles por método ASD, con la utilización de acero A37b.



**Tabla 4-8:** Valores del cálculo de diseño por esfuerzos permisibles por método ASD, respecto al eje z, utilizando acero A37b

ACERO A37 b (Sy=235,36 MPa)						
DETALLE		Ec. 2-12	Ec. 2-15	Ec. 2-10	Ec. 4-8	Ec. 2-13
		Fbz [Mpa]	Fbz [Mpa]	Fbz [Mpa]	fbz	fbz/Fbz
ORIGINAL	80x40	116,264	132,110	141,216	865,143	6,549
OPCIÓN 1	100x50	131,763	132,110	141,216	526,060	3,982
OPCIÓN 2	UPN 80x45	150,809	234,862	141,216	1190,252	8,429
OPCIÓN 3	2(80x40)	75,622	75,721	141,216	432,571	5,713
OPCIÓN 4	2(100x50)	106,620	528,440	141,216	263,030	1,863
OPCIÓN 5	2 (150x50)	110,199	792,661	141,216	180,067	1,275
OPCIÓN 6	2 UPN 80x45	144,711	939,450	141,216	595,126	4,214
OPCIÓN 7	2 UPN 100x50	57,809	62,110	141,216	445,819	7,178
OPCIÓN 8	2UPN 120x55	72,269	72,721	141,216	340,991	4,689

Fuente: El Autor

**Tabla 4-9:** Valores del cálculo de diseño por esfuerzos permisibles por método ASD, respecto al eje x, y la suma del Esfuerzo de flexión/Esfuerzo permisible, utilizando acero A37b

ACERO A37 b (Sy=235,36 MPa)							
DETALLE		Ec. 2-12	Ec. 2-15	Ec. 2-10	Ec. 4-8	Ec. 2-13	
		Fbx [Mpa]	Fbx [Mpa]	Fbx [Mpa]	fbx	fbx/Fbx	$\sum(f/F)$
ORIGINAL	80x40	143,279	33,028	141,216	470,092	3,329	9,878
OPCIÓN 1	100x50	148,402	33,028	141,216	288,199	2,041	6,023
OPCIÓN 2	UPN 80x45	155,791	74,312	141,216	231,321	1,638	10,067
OPCIÓN 3	2(80x40)	143,279	33,028	141,216	235,046	1,664	7,377
OPCIÓN 4	2(100x50)	148,402	33,028	141,216	144,100	1,020	2,883
OPCIÓN 5	2 (150x50)	152,794	22,018	141,216	77,049	0,546	1,821
OPCIÓN 6	2 UPN 80x45	155,791	74,312	141,216	115,660	0,819	5,033
OPCIÓN 7	2 UPN 100x50	149,859	66,055	141,216	74,393	0,527	7,705
OPCIÓN 8	2UPN 120x55	151,884	70,642	141,216	50,494	0,358	5,047

Fuente: El Autor

En la tabla 4-10 se muestra los valores tabulados, de las diferentes opciones planteadas del cálculo realizado de diseño por esfuerzos permisibles por método ASD, con la utilización de acero A36.

**Tabla 4-10:** Valores del cálculo de diseño por esfuerzos permisibles por método ASD respecto al eje z, utilizando acero A36

ACERO A36 (Sy=250 MPa)						
DETALLE		Ec. 2-12	Ec. 2-15	Ec. 2-10	Ec. 4-8	Ec. 2-13
		Fbz [Mpa]	Fbz [Mpa]	Fbz [Mpa]	fbz	fbz/Fbz
ORIGINAL	80x40	120,811	132,110	150,00	865,143	6,549
OPCIÓN 1	100x50	138,298	132,110	150,00	526,060	3,804
OPCIÓN 2	UPN 80x45	159,787	234,862	150,00	1190,252	7,935
OPCIÓN 3	2(80x40)	74,955	264,220	150,00	432,571	2,884
OPCIÓN 4	2(100x50)	109,930	264,220	150,00	263,030	1,754
OPCIÓN 5	2 (150x50)	113,967	396,330	150,00	254,539	1,697
OPCIÓN 6	2 UPN 80x45	152,907	469,725	150,00	595,126	3,968
OPCIÓN 7	2 UPN 100x50	54,857	528,440	150,00	445,819	2,972
OPCIÓN 8	2UPN 120x55	71,173	672,560	150,00	340,991	2,273

Fuente: El Autor

**Tabla 4-11:** Valores del cálculo de diseño por esfuerzos permisibles por método ASD, respecto al eje x, y la suma del Esfuerzo de flexión/Esfuerzo permisible, utilizando acero A36

ACERO A36 (Sy=250 MPa)							
DETALLE		Ec. 2-12	Ec. 2-15	Ec. 2-10	Ec. 4-8	Ec. 2-13	
		Fbx [Mpa]	Fbx [Mpa]	Fbx [Mpa]	fbx	fbx/Fbx	$\Sigma(f/F)$
ORIGINAL	80x40	151,291	33,028	150,00	470,092	3,134	9,683
OPCIÓN 1	100x50	157,071	33,028	150,00	288,199	1,921	5,725
OPCIÓN 2	UPN 80x45	165,408	74,312	150,00	231,321	1,542	9,477
OPCIÓN 3	2(80x40)	151,291	66,055	150,00	235,046	1,567	4,451
OPCIÓN 4	2(100x50)	157,071	66,055	150,00	144,100	0,961	2,714
OPCIÓN 5	2 (150x50)	162,026	44,037	150,00	110,810	0,739	2,436
OPCIÓN 6	2 UPN 80x45	165,408	148,624	150,00	115,660	0,771	4,739
OPCIÓN 7	2 UPN 100x50	158,715	132,110	150,00	74,393	0,496	3,468
OPCIÓN 8	2UPN 120x55	161,000	141,284	150,00	50,494	0,337	2,610

Fuente: El Autor

En la tabla 4-11 se muestra los valores tabulados, de las diferentes opciones planteadas del cálculo realizado de diseño por esfuerzos permisibles por método ASD, con la utilización de acero A36.

En la tabla 4-12 se muestra los valores tabulados, de las diferentes opciones planteadas del cálculo realizado de diseño por esfuerzos permisibles por método ASD, con la utilización de acero A500b.

**Tabla 4-12:** Valores del cálculo de diseño por esfuerzos permisibles por método ASD respecto al eje z, utilizando acero A500b

ACERO A500 b (Sy=317 MPa)						
DETALLE		Ec. 2-12	Ec. 2-15	Ec. 2-10	Ec. 4-8	Ec. 2-13
		Fbz [Mpa]	Fbz [Mpa]	Fbz [Mpa]	fbz	fbz/Fbz
ORIGINAL	80x40	137,605	132,110	190,200	865,143	6,287
OPCIÓN 1	100x50	165,722	132,110	190,200	526,060	3,174
OPCIÓN 2	UPN 80x45	200,272	234,862	190,200	1190,252	6,258
OPCIÓN 3	2(80x40)	63,878	264,220	190,200	432,571	2,274
OPCIÓN 4	2(100x50)	120,110	264,220	190,200	263,030	1,383
OPCIÓN 5	2 (150x50)	126,602	396,330	190,200	254,539	1,338
OPCIÓN 6	2 UPN 80x45	189,210	469,725	190,200	595,126	3,129
OPCIÓN 7	2 UPN 100x50	31,564	528,440	190,200	445,819	2,344
OPCIÓN 8	2UPN 120x55	57,796	672,560	190,200	340,991	1,793

Fuente: El Autor

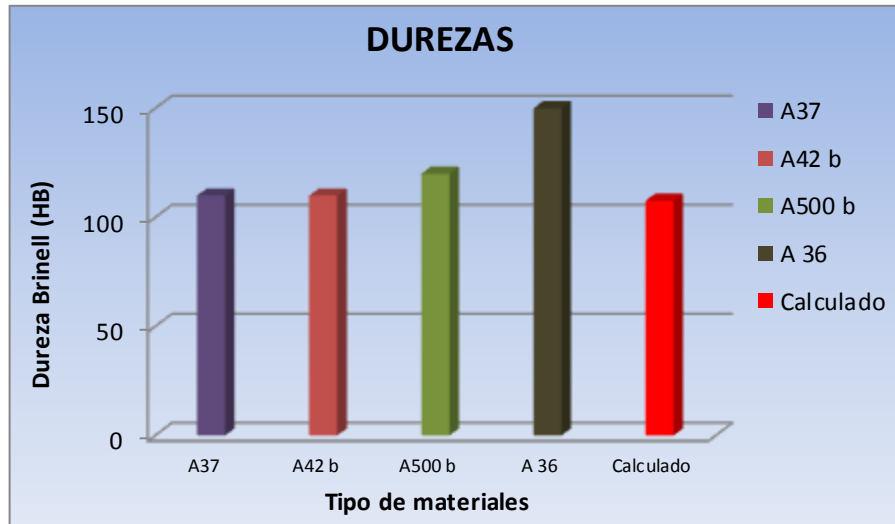
En la tabla 4-13 se muestra los valores tabulados, de las diferentes opciones planteadas del cálculo realizado de diseño por esfuerzos permisible por método ASD, con la utilización de acero A500b.

**Tabla 4-13:** Valores del cálculo de diseño por esfuerzos permisible por método ASD, respecto al eje x, y la suma del Esfuerzo de flexión/Esfuerzo permisible, utilizando acero A500b.

ACERO A500 b (Sy=317 MPa)							
DETALLE		Ec. 2-12	Ec. 2-15	Ec. 2-10	Ec. 4-8	Ec. 2-13	
		Fbx [Mpa]	Fbx [Mpa]	Fbx [Mpa]	fbx	fbx/Fbx	$\sum(f/F)$
ORIGINAL	80x40	186,611	33,028	190,200	470,092	2,519	8,806
OPCIÓN 1	100x50	195,905	33,028	190,200	288,199	1,515	4,690
OPCIÓN 2	UPN 80x45	209,309	74,312	190,200	231,321	1,216	7,474
OPCIÓN 3	2(80x40)	186,611	66,055	190,200	235,046	1,260	3,534
OPCIÓN 4	2(100x50)	195,905	66,055	190,200	144,100	0,758	2,141
OPCIÓN 5	2 (150x50)	203,873	44,037	190,200	110,810	0,583	1,921
OPCIÓN 6	2 UPN 80x45	209,309	148,624	190,200	115,660	0,608	3,737
OPCIÓN 7	2 UPN 100x50	198,549	132,110	190,200	74,393	0,391	2,735
OPCIÓN 8	2UPN 120x55	202,222	141,284	190,200	50,494	0,265	2,058

Fuente: El Autor

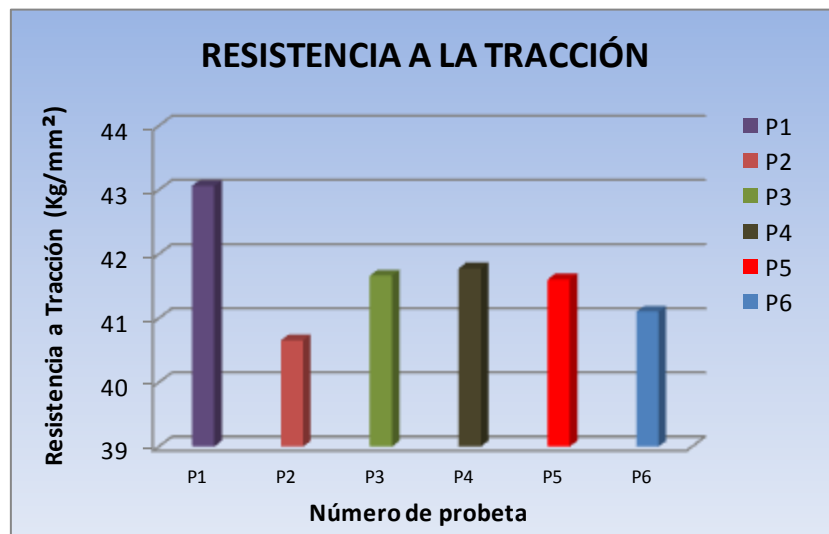
En la Figura 4-16 se muestra la comparación de durezas de las diferentes muestras ensayadas frente a la dureza de diferentes materiales especificadas por los fabricantes, para determinar cuál fue el material utilizado en la construcción original de la estructura del camión compactador.



**Figura 4-16:** Media de durezas de las probetas ensayadas

**Fuente:** El Autor

En la Figura 4-17 se muestra la resistencia a la tracción obtenida de las seis probetas ensayadas en el análisis metalográfico, para verificar el material utilizado en la estructura del compactador del camión de carga lateral.

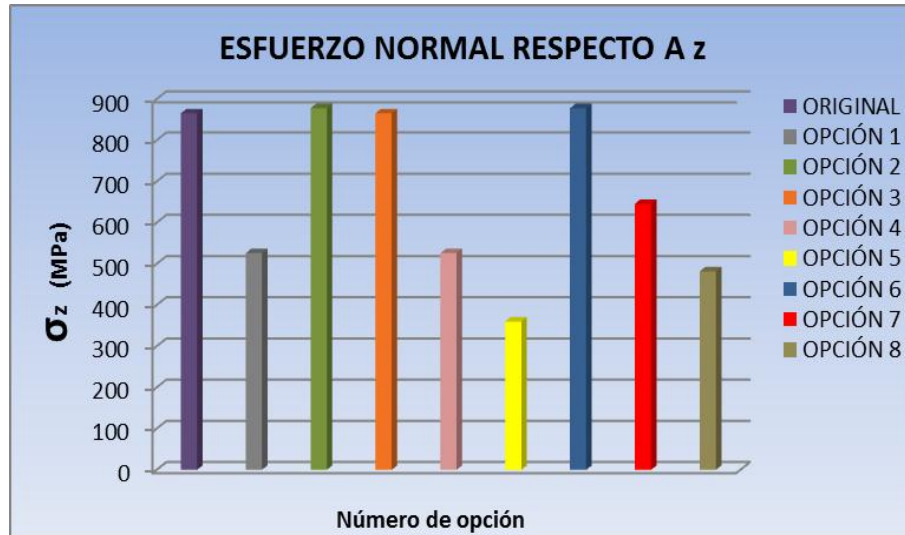


**Figura 4-17:** Resistencia a la tracción de las probetas ensayadas

**Fuente:** El Autor

En las siguientes figuras se muestran los valores de los diferentes cálculos realizados, con las diferentes opciones planteadas anteriormente y con las características del mismo material utilizado en la estructura original, así:

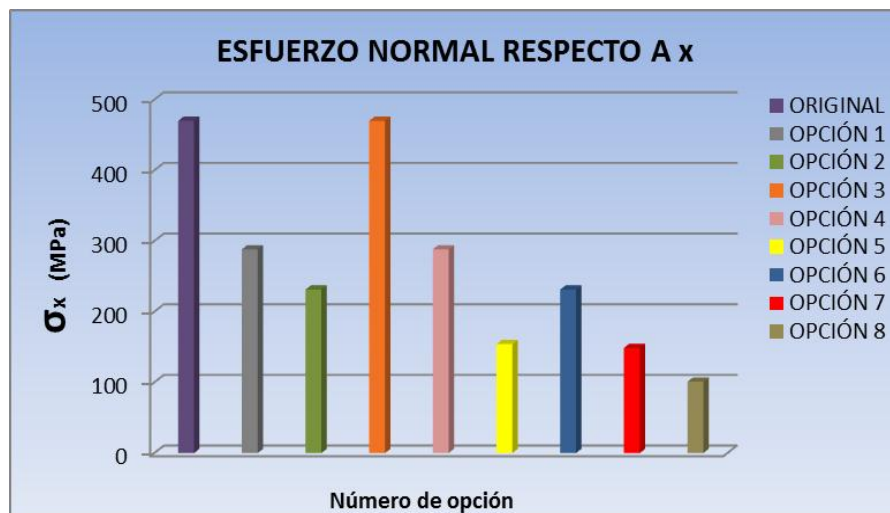
En la Figura 4-18 se muestra el esfuerzo normal calculado respecto al eje  $z$ , donde el diseño original, la opción 2, 4, 6 mantiene un valor  $> 800$  MPa, la opción 4 y 5 un valor  $< 500$  MPa y la opción 5 un valor  $< 380$  MPa.



**Figura 4-18:** Valores del Esfuerzo normal respecto al eje  $z$

**Fuente:** El Autor

En la Figura 4-19 se muestra los valores calculados del esfuerzo normal respecto al eje  $x$ , para las distintas opciones planteadas, donde el diseño original y la opción 3 mantiene un valor  $> 450$  MPa, la opción 1 y 4 un valor  $> 250$  MPa.



**Figura 4-19:** Valores del Esfuerzo normal respecto al eje  $x$ .

**Fuente:** El Autor

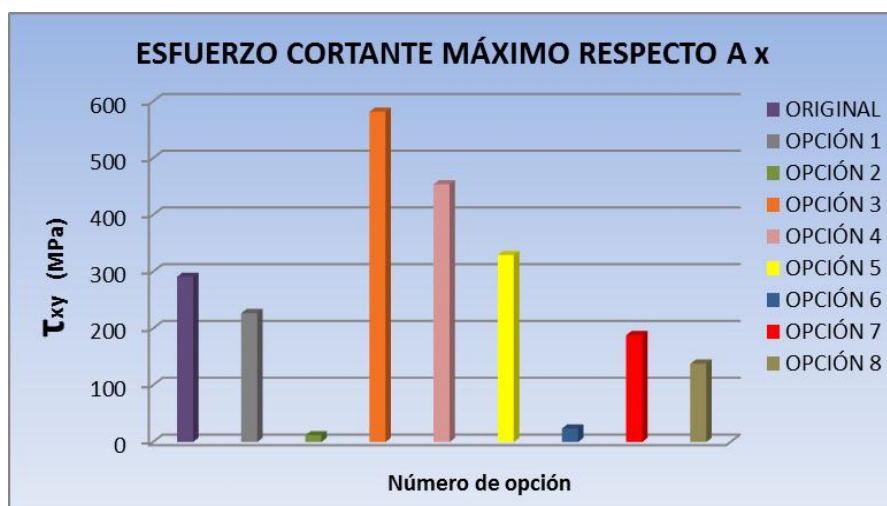
En la Figura 4-20 se muestran los valores calculados de las diferentes opciones planteadas del Esfuerzo Cortante Máximo respecto al eje  $z$ , donde el diseño original tiene un valor  $>450\text{MPa}$ , las opciones 3, 4, y 7 tienen mayor esfuerzo cortante con valor  $>800\text{MPa}$ ; mientras que las opciones 2 y 6  $<100\text{MPa}$ .



**Figura 4-20:** Valores del Esfuerzo cortante respecto al eje  $z$

Fuente: El Autor

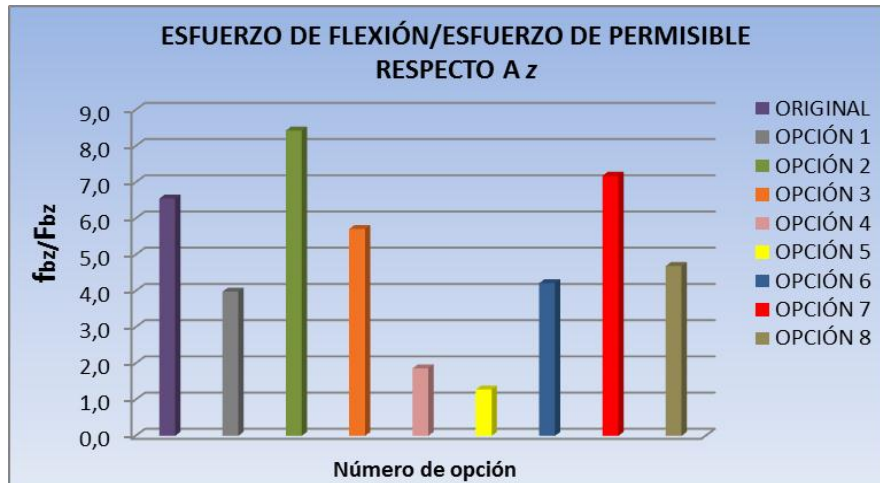
En la Figura 4-21 se muestran los valores calculados de las diferentes opciones planteadas del Esfuerzo Cortante Máximo respecto al eje  $x$ , donde el diseño original tiene un valor  $>450\text{MPa}$ , las opciones 3, 4, y 7 tienen mayor esfuerzo cortante con valor  $>800\text{MPa}$ ; mientras que las opciones 2 y 6  $<100\text{MPa}$ .



**Figura 4-21:** Valores del Esfuerzo cortante respecto al eje  $x$

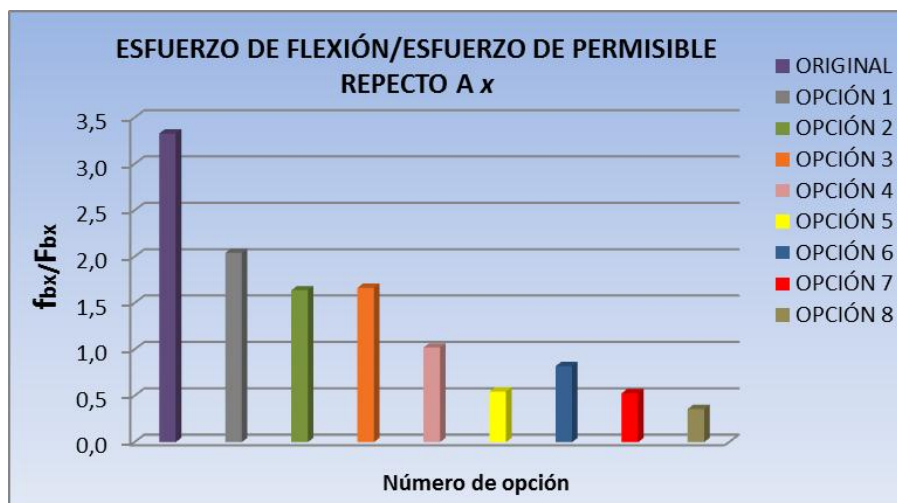
Fuente: El Autor

En la figura 4-22 se muestra los valores del cálculo realizado de diseño por esfuerzos permisibles por método ASD, referente al eje  $z$  para las diferentes opciones, donde los valores obtenidos deben ser  $\leq 1$ , sin embargo el diseño original, opción 2 y 7 exponen un valor  $> 6$ , mientras que las opciones 4 y 5 un valor  $< 2$ .



**Figura 4-22:** Valores del cálculo realizado de diseño por esfuerzos permisibles respecto al eje  $z$

**Fuente:** El Autor

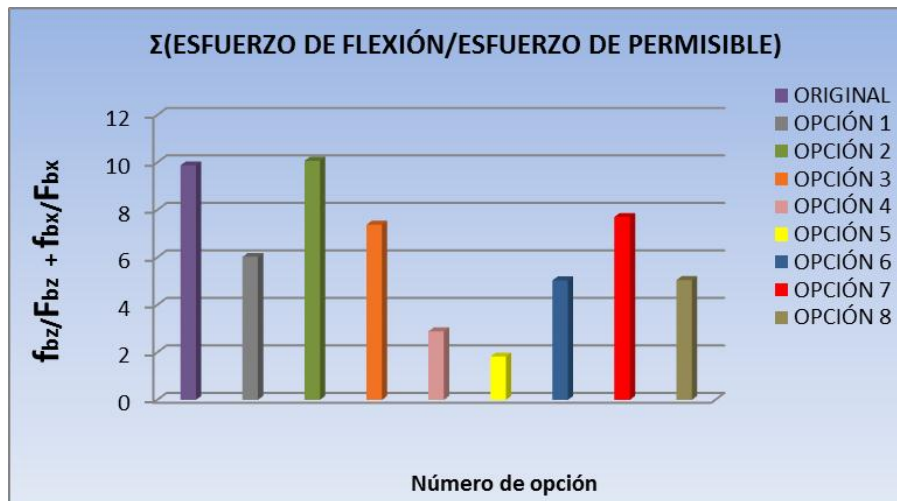


**Figura 4-23:** Valores del cálculo realizado de diseño por esfuerzos permisibles respecto al eje  $x$

**Fuente:** El Autor

En la figura 4-23 se muestra los valores del cálculo realizado de diseño por esfuerzos permisibles por método ASD, referente al eje  $x$  para las diferentes

opciones, donde los valores obtenidos deben ser  $\leq 1$ , sin embargo el diseño original exponen un valor  $> 3$ , las opción 1, 2 y 3 exponen un valor  $> 1,5$ ; mientras que las opciones 5, 6, 7 y 8 un valor  $< 1$ .



**Figura 4-24:** Sumatoria de los Esfuerzos de Flexión vs. Los Esfuerzos Permisibles

**Fuente:** El Autor

Los valores de la sumatoria de los Esfuerzos de Flexión vs. Los Esfuerzos Permisibles, debe tener un valor  $\leq 1$ , sin embargo la figura 4-24 muestra que el diseño original y la opción 2 tienen un valor  $> 8$ , la opción 1, 3, 6, 7 y 8 mantienen un valor  $> 4$  y las opción 5 un valor  $< 2$ .

### 4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La verificación de hipótesis se basa en el apoyo fundamental y conceptual de la metodología de las pruebas de hipótesis que se emplean a menudo en el análisis de datos obtenidos a partir de estudios y experimentos diseñados, que permiten la toma de decisiones sobre varios parámetros poblacionales basado en estadísticas muestrales.

#### 4.3.1 MODELO LÓGICO:

Los parámetros de diseño utilizados en la construcción de la estructura del sistema compactador afectan el correcto funcionamiento del camión recolector de



desechos de carga lateral, que actualmente presenta la empresa THEMAC de la ciudad de Ambato.

**A. HIPÓTESIS NULA ( $H_0$ ):**

Los esfuerzos generados en los extremos inferiores de la estructura del compactador debido a la compactación de residuos NO son la causa de los daños en estos lugares del compactador.

**B. HIPÓTESIS ACEPTABLE ( $H_a$ ):**

Los esfuerzos generados en los extremos inferiores de la estructura del compactador debido a la compactación de residuos SI son la causa de los daños en estos lugares del compactador.

$$H_0: \mu \leq 1 \quad \text{Ec. (4-9)}$$

$$H_a: \mu \geq 1 \quad \text{Ec. (4-10)}$$

**C. NIVEL DE SIGNIFICANCIA ( $\alpha$ ):**

El nivel de significancia seleccionado es del 5% (0.05) para la comprobación de la hipótesis.

**4.3.2 SELECCIÓN DEL ESTADÍSTICO:**

El modelo estadístico a utilizarse es la prueba *t* o *t de Student*, ya que este método se utiliza para probar la diferencia entre dos grupos de datos que tienen estricta correspondencia en parejas de muestras, además el número de observaciones es el mismo para los dos grupos de datos y el tamaño de muestras debe ser  $< 30$ , ya que es nuestro caso para de esta manera comprobar si en realidad se cumple la hipótesis planteada.

$t = t \text{ de Student (Valor a calcularse)}$

$\Sigma = \text{Sumatoria}$

$\bar{X} = \text{Media muestral aleatoria}$

$\alpha =$  nivel de significancia

$\sigma =$  Desviación estándar

$\mu =$  Media poblacional

$n =$  tamaño de la muestra

$S =$  Varianza

Donde:

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}} \quad \text{Ec. (4-11)}$$

La información mostrada en la tabla 4-14 será la utilizada para la verificación de la hipótesis, en esta tabla se encuentran los valores calculados del factor de diseño por esfuerzos permisibles para los extremos inferiores de la estructura del compactador, manteniendo el acero utilizado en la construcción original del mismo que se logró determinar anteriormente.

**Tabla 4-14:** Valores del factor de diseño por esfuerzos permisibles

N°	DETALLE		$\Sigma(f/F)$
1	A37b	80x40	9,878
2	A37b	100x50	6,023
3	A37b	UPN 80x45	10,067
4	A37b	2(80x40)	7,377
5	A37b	2(100x50)	2,883
6	A37b	2 (150x50)	1,821
7	A37b	2 UPN 80x45	5,033
8	A37b	2 UPN 100x50	7,705
9	A37b	2UPN 120x55	5,047

Fuente: El Autor

### 4.3.3 REGIÓN DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

Para determinar la región de aceptación y rechazo, se calculan los grados de libertad ( $gl$ ) con la ecuación que se muestra a continuación:

$$gl = (c - 1)(f - 1) \quad \text{Ec. (4-12)}$$

**Tabla 4-15:** Frecuencia Esperada y Observada del factor de diseño por esfuerzos permisibles

N°	MATRIZ 1	MATRIZ 2
1	9,878	0,950
2	6,023	0,950
3	10,067	0,950
4	7,377	0,950
5	2,883	0,950
6	1,821	0,950
7	5,033	0,950
8	7,705	0,950
9	5,047	0,950

Fuente: El Autor

La tabla 4-15 muestra la frecuencia observada y esperada del factor de diseño por esfuerzos permisibles, para calcular los grados de libertad

*En donde:*

*gl = Grados de libertad*

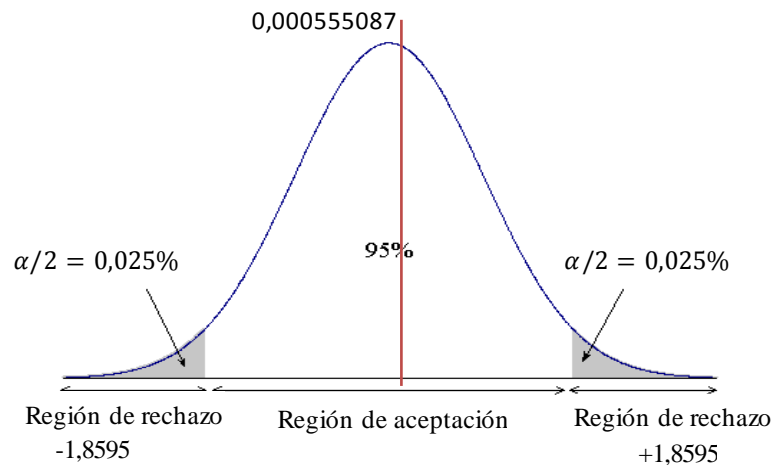
*c = Columnas de la tabla*

*f = Filas de la tabla*

Por lo tanto de la ecuación 4-12 tenemos:

$$gl = (9 - 1)(2 - 1) = 8$$

Para un tamaño de muestra  $n$  dado, el estadístico de *prueba t* sigue una distribución  $t$  con  $n-1$  grados de libertad. Con  $\alpha=5\%$  los valores críticos de la distribución  $t$  con 8 grados de libertad se pueden obtener del Anexo D1, como se ilustra en la Figura 4-25.



**Figura 4-25:** Prueba de hipótesis para  $\sigma$  desconocida,  $\alpha=0,005$ , con 8 grados de libertad

**Fuente:** El Autor

Del anexo D1 se tiene que para 8 grados de libertad y un nivel de confianza  $\alpha = 5\% \rightarrow 0.05$ , los valores críticos son  $\pm 1,8595$ . Entonces la regla de decisión es:

$$H_0 \text{ si } t < -t_7 = -1,8595$$

$$H_0 \text{ si } t > t_7 = +1,8595$$

De otra manera no se rechaza  $H_0$ , entonces:

*De la Ec. 4-11*

$$t = 0,000555087$$

Encontrado el valor de  $t = 0,000555087$  el cual se encuentra dentro del rango de aceptación SE RECHAZA la hipótesis nula y se considera la hipótesis aceptable como APROBADA; es decir, los esfuerzos generados en los extremos inferiores de la estructura del compactador debido a la compactación de residuos SI son la causa de los daños en estos lugares del compactador.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- ▲ Con el ensayo de dureza realizado en varias probetas, se logró determinar el material utilizado en las bases de la estructura del compactador.
- ▲ Mediante el uso del microscopio óptico del Laboratorio de Materiales el cual cumple con las facilidades se logró visualizar y establecer los componentes microestructurales y sus porcentajes, para poder calcular la Resistencia a la Tracción (*Sut*) del material original y compararla con la de (fabricante) tablas; para de esta manera aseverar el material utilizado.
- ▲ La determinación del material ayudó a estipular los esfuerzos producidos en la estructura del compactador producidos por el accionar de los cilindros hidráulicos y la prensa.
- ▲ Los esfuerzos normal y cortante máximos producidos en los extremos inferiores de la estructura del compactador son 865,638MPa y 557,321MPa tanto en la dirección *x* como *y* respectivamente, actuando horizontalmente sobre el piso del compactador (dirección *z*), superando ampliamente la resistencia última de material que es 235,36MPa.
- ▲ De igual manera los valores de la sumatoria de los Esfuerzos de Flexión vs. Los Esfuerzos Permisibles deben mantener un valor  $\leq 0,1$  de acuerdo a la teoría descrita en el capítulo II, sin embargo el valor para este fue de 9,878.
- ▲ La observación de campo permitió identificar los elementos de la estructura del compactador que han sufrido algún tipo de daño, discontinuidad o fisura.

- ▲ Además de la observación de campo y los cálculos realizados comprobaron la falla del material producida por la concentración de esfuerzos en los extremos inferiores de la estructura del compactador.
- ▲ La selección del material y diseño utilizado en la construcción de la estructura del compactador no fue el adecuado, ya que los esfuerzos producidos al compactar la basura debilitan, deforman y varias veces rompen los tubos rectangulares de los extremos inferiores de dicha estructura.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- ▲ Utilizar elementos de seguridad apropiados durante el proceso de obtención de las muestras, proceso de pulido y utilización de equipos, para evitar lesiones, golpes, quemaduras, etc. a fin de precautelar la integridad física y daños en los equipos e instrumentos.
- ▲ Conocer a fondo las partes y características de los instrumentos para evitar inconvenientes futuros durante la realización de los diferentes ensayos.
- ▲ Durante el proceso de lijado en el portaligas mantener frecuentemente lubricada la superficie (usando agua), sometida al contacto, para evitar un sobrecalentamiento y mejorar el proceso de lijado.
- ▲ En el proceso de pulido no se debe presionar en exceso la muestra al paño; ya que produce rayaduras y provocará que el tiempo de pulido sea demasiado extenso y una vez concluido el proceso de pulido se debe tener cuidado en que la superficie no tenga rayaduras, lo cual se consigue con una inspección visual de ésta, usando una lupa pues esto permitirá visualizar correctamente los contornos de grano en el microscopio.
- ▲ Se debe controlar y registrar el tiempo de ataque químico, a fin de no tener un ataque excesivo ya que puede quemar la superficie de replicado y complicar el desarrollo del ensayo.

- ▲ Para el ensayo de dureza es necesario propiciar un buen acabado superficial a las probetas con el objeto de tener una visibilidad óptima del contorno de la huella propiciada por el indentador.
- ▲ El uso de un perfil estructural (ya sea este tubo rectangular o UPN) utilizado en los extremos inferiores del compactador dan como resultado la falla de éste, ya que la resistencia del material no es satisfactoria al compararlos a la de los esfuerzos producidos.
- ▲ De los valores del cálculo de diseño por esfuerzos permisibles por el método ASD respecto al eje  $x$  como al eje  $z$ , con la utilización de acero ASTM A36, ninguna de las opciones se mantienen  $\leq 0,95$ .
- ▲ De los valores del cálculo de diseño por esfuerzos permisibles por el método ASD respecto al eje  $x$  como al eje  $z$ , con la utilización de acero ASTM A500b, ninguna de las opciones se mantienen  $\leq 0,95$ .
- ▲ Ya que ninguna de las opciones satisface las necesidades que la estructura del compactador requiere, es recomendable analizar el diseño de las bases inferiores de la estructura del compactador.

## **CAPÍTULO VI**

### **6. PROPUESTA**

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA METÁLICA DE LOS EXTREMOS INFERIORES DE LA CÁMARA DE COMPACTACIÓN PARA EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL CAMIÓN RECOLECTOR DE DESECHOS MODELO CCL 120 DE LA EMPRESA GLOBAL PARTS S.A. UBICADA EN LA CIUDAD DE AMBATO.

#### **6.1 DATOS INFORMATIVOS**

Los datos para el rediseño de la estructura metálica de la cámara de compactación son los siguientes:

- Largo de los parantes estructurales verticales: 0,545 metros (máximo) en cada lado.
- Largo del parante estructural horizontal 0,595 metros (máximo) en cada lado
- Material a utilizarse ASTM A36.
- Presión máxima entregada por el émbolo de cada cilindro tiende a 20 MPa.
- Fuerza máxima ejercida por cada cilindro 218,8 KN.
- Tipo de unión entre materiales: Soldadura.

#### **6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA**

En pos del desarrollo de la empresa GLOBALPARTS S. A. es indispensable evitar la fatiga, desgaste o rotura del material, descartando paralizaciones, daños e



interrupciones de servicio con frecuencia, para con ello mejorar la calidad de recolección y compactación de residuos a nivel provincial.

En la provincia de Tungurahua, una vez revisados los proyectos en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, se ha determinado que no existen proyectos destinados al mejoramiento de la recolección y compactación de desechos, por lo que fue necesario realizar un análisis de la estructura metálica de los extremos inferiores de la cámara de compactación del camión recolector modelo CCL 120.

### **6.3 JUSTIFICACIÓN**

Es de gran interés este tipo de aplicaciones de gestión medio ambiental ya que el equipo usado para la recolección y compactación de residuos debe ser capaz de compactar los residuos recolectados sin sufrir fatiga o rotura de la estructura, mecanismos y equipos utilizados en la recolección de desechos urbanos.

De tal manera que el enfoque principal sea cumplir eficientemente las rutas de recolección asignadas, evitando paralizaciones y acumulación de desechos y de esta manera proporcionar una mayor productividad de la empresa, mejorando la calidad de uso tanto a usuarios como operarios; beneficiando el saneamiento ambiental y ecosistema de la provincia. Además permitirá a la empresa Globalparts S. A. que siga alcanzando los objetivos y niveles de calidad óptimos, siendo un pleno ejemplo para las empresas locales como nacionales.

Los resultados de los cálculos nos permitirán conocer y evaluar la posibilidad de plantear nuevas opciones para la empresa Globalparts S.A. para que en un futuro no muy lejano cuente con varias alternativas para prestar un mantenimiento adecuado sobre los extremos inferiores de la estructura del compactador.

Adicional a esto al contar una nueva alternativa de reparación y mantenimiento la empresa determinará si al implementar este tipo de diseño, minimizarán los costos al compararlos con la importación de una nueva estructura.

## **6.4 OBJETIVOS**

### **6.4.1 OBJETIVO GENERAL**

Rediseñar los extremos inferiores de la estructura de la cámara de compactación con las dimensiones y materiales apropiados para el correcto funcionamiento del camión recolector de desechos modelo CCL 120.

### **6.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar los extremos inferiores de la estructura de la cámara de compactación de manera que soporten la presión entregada por los cilindros hidráulicos.
- Seleccionar el material adecuado en los extremos inferiores de la estructura de la cámara de compactación.
- Comprobar la resistencia de las bases inferiores de la estructura, por el método de diseño por esfuerzos permisibles (método ASD).
- Rediseñar la estructura de los extremos inferiores de manera que se reutilice la mayor cantidad de miembros existentes en la misma.
- Elaborar planos de la parte inferior de la estructura del compactador.

## **6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD**

El análisis de factibilidad busca determinar las características necesarias para la ejecución de la propuesta y la facilidad para desarrollarla. Dentro de la evaluación de la factibilidad es necesario analizar ciertos aspectos tecnológicos, económicos, legales, entre otros con el fin de asegurar que la propuesta se encuentre debidamente fundamentada y documentada.

### **6.5.1 FACTIBILIDAD TECNOLÓGICA**

Se ha determinado con esta investigación, que la estructura del camión recolector de desechos modelo CCL 120, es uno de los elementos de mayor importancia en

la compactación de desechos urbanos de la ciudad de Ambato, ya que la compactación de los desechos es el paso primordial para poder continuar con la recolección de los mismos, previo a la descarga de los desechos en el basurero municipal de la ciudad.

En vista que la empresa no cuenta con los recursos necesarios para realizar un estudio y análisis de la estructura del compactador del camión recolector, es necesario realizar un estudio y análisis de la estructura del compactador, para continuar con el desarrollo tecnológico regional y nacional

### **6.5.2 FACTIBILIDAD AMBIENTAL**

Adicionalmente éste estudio ayuda a minimizar el tiempo de paralización por daños al compactador que a su vez ayuda a mantener la sanidad en la Provincia de Tungurahua, ya que las rutas de recolección se mantienen de acuerdo al cronograma establecido por la empresa.

Además ya no será necesario pedir ayuda a otras provincias como son Cotopaxi y Pichincha para que envíen un camión recolector para que ayude con la recolección urbana de desechos en ciertos días, donde la cantidad de desechos es mayor, manteniendo así la sanidad en estas provincias.

### **6.5.3 FACTIBILIDAD ECONÓMICA**

Es muy importante que las paralizaciones por daños causados a la estructura del compactador, se las pueda realizar localmente, dejando de lado las exportaciones de un nuevo compactador, que resulta mucho más económico, rápido y versátil realizarlo en el taller de la empresa o en un taller local, que preste con todos los instrumentos e instalaciones necesarias para realizar los mantenimientos o reparaciones de ser el caso.

Además el nuevo diseño se puede implementar en todos los camiones adquiridos por la empresa, estableciendo de esta manera un mantenimiento preventivo, para evitar futuros daños a la estructura y elementos contiguos.

## **6.6 FUNDAMENTACIÓN**

La presente propuesta se basa en la información recolectada en el capítulo II que se relaciona a la vez con el marco teórico, además los resultados obtenidos del estudio de los parámetros de diseño de la estructura en el capítulo IV. La propuesta se ha realizado bajo los siguientes parámetros fundamentales de diseño para la estructura.

### **6.6.1 MATERIAL DE LA ESTRUCTURA**

De acuerdo a lo obtenido en la interpretación de resultados del estudio, el material idóneo para la estructura es el acero ASTM A36, debido a su mayor límite de fluencia en comparación al acero de la estructura original, además de su facilidad de adquisición en nuestro mercado.

$$F_y = 250 \text{ [MPa]}$$

### **6.6.2 ANALISIS DE ELEMENTOS SOMETIDOS A ESTUDIO**

De acuerdo a lo obtenido en el capítulo IV, la prensa no presenta ningún tipo de daño, falla o fractura en su estructura, sin embargo al trasladar las fuerzas mediante la acción de los cilindros óleo-hidráulicos a las bases posteriores de la estructura, éstas se someten a una carga de gran magnitud, provocando de esta manera la fatiga del material de la estructura, específicamente del elemento 1 mostrado en la figura 4-8. Ya que éste elemento es uno de los parantes principales de la parte inferior de las bases de la estructura del compactador, por ello se va a realizar, el cambio de material y/o de sección de acuerdo a las opciones estudiadas en el capítulo IV para posteriormente tabular en tablas los valores de cálculo.

### **6.6.3 FUERZA QUE ACTUA SOBRE LAS BASES DE LA ESTRUCTURA**

La presión máxima entregada por el sistema hidráulico en el émbolo principal es de  $2000 \text{ KPa}$ , obteniendo así  $F = 218,8 \text{ [KN]}$  en cada cilindro, además en el estudio se comprobó que el ángulo a utilizarse para el cálculo es  $\alpha = 51^\circ$  ya que

con este ángulo se produce mayor esfuerzo al compactar los residuos. Así mismo en el capítulo IV sección 4.1.4 se determinó que las dos fuerzas que actúan sobre los soportes posteriores son  $F_1 = F_2 = 54,7 [KN]$ .

## **6.7 METODOLOGÍA**

Para el desarrollo del diseño de la estructura se seguirá los siguientes pasos:

- ▲ Determinación de la fuerza cortante máxima.
- ▲ Determinación del momento flector máximo.
- ▲ Comprobación de la resistencia de la estructura por el método de diseño por esfuerzos permisibles.
- ▲ Diseño de las bases de la estructura.
- ▲ Elaboración de un presupuesto para la reparación de las bases de estructura del compactador.
- ▲ Elaboración de los planos de la parte inferior de la estructura del compactador.

### **6.7.1 Determinación de la fuerza cortante máxima.**

De las opciones planteadas en el capítulo IV, se realizaron posibles cambios de sección en cada opción, sin embargo ninguna satisface el cálculo de diseño por esfuerzos permisible por método ASD, por lo que es necesario realizar el rediseño de las bases inferiores de la estructura del compactador, aumentado así su sección, esto es, uniendo dos tubos rectangulares ASTM A36 de 150x50x3 desde la base de la estructura y contra la plancha del compactador, etiquetado como 1.

Además agregando un tubo rectangular ASTM A36 de 80x40x3 desde la mitad de los dos tubos hacia el extremo opuesto de la estructura, dispuesto horizontalmente como se muestra en la Figura 6-7, etiquetado como 1.

Del Capítulo IV, de la sección 4.1.d. (análisis de cargas aplicadas en la estructura de la cámara de compactación) se tiene los siguientes datos:

En donde:

$$F = 218,8 \text{ [KN]}$$

$$L/2 = 0,2725 \text{ [m]}$$

$$\alpha = 51^\circ$$

$$a = 0,1856 \text{ [m]}$$

$$F_{1x} = F_{2x} = 42,51 \text{ [KN]}$$

$$b = 0,0869 \text{ [m]}$$

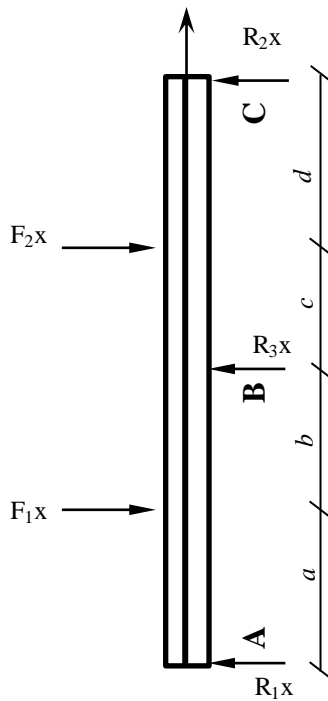
$$F_{1z} = F_{2z} = 34,42 \text{ [KN]}$$

$$c = 0,1091 \text{ [m]}$$

$$L = 0,545 \text{ [m]}$$

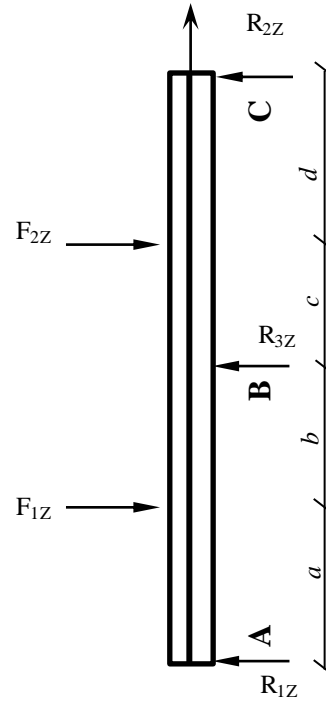
$$d = 0,1634 \text{ [m]}$$

En las figuras 6-1 y 6-2 se muestran dos sistemas hiperestáticos, en sus respectivos ejes, para poder determinar la fuerza cortantes máxima y poder realizar el diagrama, es necesario separar en dos secciones ( $\overline{AB}|\overline{BC}$ ) cada una de las figuras para obtener así dos sistemas isostáticos.



**Figura 6-1:** Diagrama de fuerzas en los ejes x, y

**Fuente:** El Autor



**Figura 6-2:** Diagrama de fuerzas en los ejes z, y

**Fuente:** El Autor

**a. Cálculo de la fuerza cortante máximo referida a la Fig. 6-1**

*SECCION  $\overline{AB}$*

$$\curvearrowright (+) \Sigma MA = 0$$

$$R_{3x} \cdot 0,2725 - F_{1x} \cdot 0,1856 = 0$$

$$R_{3x} = 28,954 \text{ [KN]}$$

$$+\uparrow \Sigma FV = 0$$

$$R_{1x} + R_{3x} - F_{1x} = 0$$

$$R_{1x} = 13,556 \text{ [KN]}$$

SECCION  $\overline{BC}$

$$\curvearrowright (+) \Sigma MC = 0$$

$$R_{3x} \cdot 0,2725 - F_{2x} \cdot 0,1634 = 0$$

$$R_{3x} = 25,4904 \text{ [KN]}$$

$$+\uparrow \Sigma FV = 0$$

$$R_{2x} + R_{3x} - F_{2x} = 0$$

$$R_{2x} = 17,0196 \text{ [KN]}$$

**b. Cálculo de la fuerza cortante máximo referida a la Fig. 6-2**

SECCION  $\overline{AB}$

$$\curvearrowright (+) \Sigma MA = 0$$

$$R_{3z} \cdot 0,2725 - F_{1z} \cdot 0,1856 = 0$$

$$R_{3z} = 23,443 \text{ [KN]}$$

$$+\uparrow \Sigma FV = 0$$

$$R_{1z} + R_{3z} - F_{1z} = 0$$

$$R_{1z} = 10,977 \text{ [KN]}$$

SECCION  $\overline{BC}$

$$\curvearrowright (+) \Sigma MC = 0$$

$$R_{3z} \cdot 0,2725 - F_{2z} \cdot 0,1634 = 0$$

$$R_{3z} = 20,639 \text{ [KN]}$$

$$+\uparrow \sum FV = 0$$

$$R_{2z} + R_{3z} - F_{2z} = 0$$

$$R_{2z} = 13,781 [KN]$$

### 6.7.2 Determinación del momento flector máximo.

De la misma manera que se procedió en el capítulo IV tenemos:

#### a. Cálculo del momento máximo referido a la Fig. 6-1

De la Ec. (4-7)

*SECCION  $\overline{AB}$*

$$M_z máx = 2,516 [KN.m]$$

*SECCION  $\overline{BC}$*

$$M_x máx = 2,781 [KN.m]$$

#### b. Cálculo del momento máximo referido a la Fig. 6-2

De la Ec. (4-7)

*SECCION  $\overline{AB}$*

$$M_z máx = 2,034 [KN.m]$$

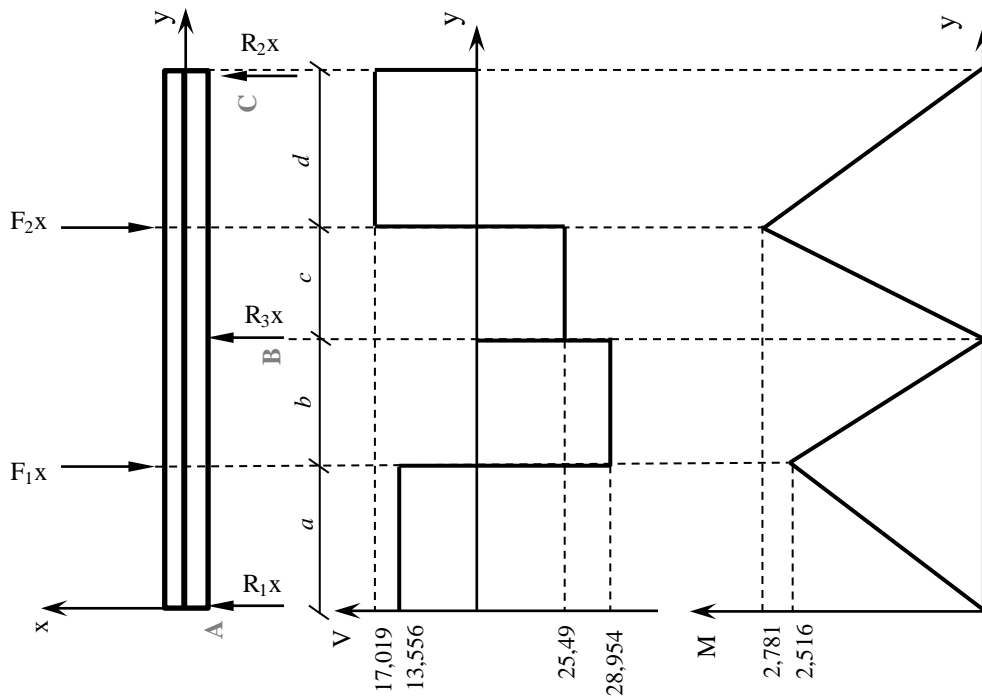
*SECCION  $\overline{BC}$*

$$M_x máx = 2,252 [KN.m]$$

### 6.7.3 Realización los diagramas de cortante y momento máximo

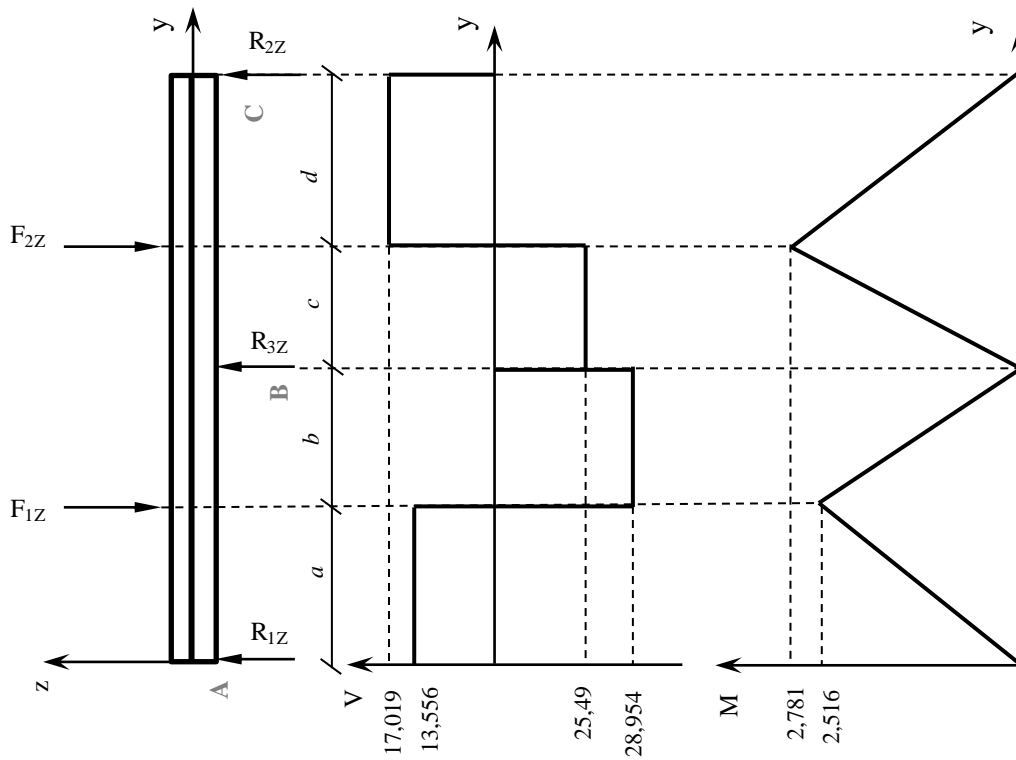
La figura 6-3 muestra el diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores que se producen respecto al eje  $x$  y. Donde claramente muestra que el momento máximo se produce en la sección BC, y la fuerza cortante máxima en el tramo AB.





**Figura 6-3:** Diagrama de cargas, cortante y momento máximo respecto al eje  $x$  y.

**Fuente:** El Autor



**Figura 6-4:** Diagrama de cargas, cortante y momento máximo respecto al eje  $z$  y.

**Fuente:** El Autor

La figura 6-4 muestra el diagrama de fuerzas cortantes y momentos flectores que se producen respecto al eje  $z$  y. Donde se puede apreciar que el momento máximo se produce en la sección BC y la fuerza cortante máxima en el tramo AB.

#### 6.7.4 Comprobación de la resistencia de la estructura por el método de diseño por esfuerzos permisibles (método ASD).

A más del cálculo de diseño por esfuerzos permisibles (método ASD), en las tablas siguientes se muestran en cálculo de esfuerzos normales y cortantes producidos en el sistema, para ello utilizaremos las mismas formulas aplicadas en el Capítulo IV, de acuerdo a la teoría descrita en el Capítulo II y tomando en cuenta las opciones planteadas anteriormente, se realizará el siguiente resumen:

**Tabla 6-1:** Valores calculados del esfuerzo normal y cortante respecto al eje  $zy$  y respecto al eje  $xy$ .

		<b>Mmax(may)</b>	2,781			
<b>Espesor Tubo</b>	3,0E-03	<b>Mmax(men)</b>	2,516			
<b>Espesor UPN80-100</b>	6,0E-03	<b>V1</b>	28,9536	<b>L</b>	0,2725	
<b>Espesor UPN120</b>	7,0E-03	<b>V2</b>	25,4904	<b>Cb</b>	1	
<b>DETALLE</b>			<b><math>\sigma_z</math> [Mpa]</b>	<b><math>\tau_z</math> [Mpa]</b>	<b><math>\sigma_x</math> [Mpa]</b>	<b><math>\tau_x</math> [Mpa]</b>
1T 80x40	A36	<b>ORIGINAL</b>	318,010	364,748	192,945	215,352
1T 100x50	A36	<b>OPCIÓN 1</b>	193,286	282,063	118,300	167,994
1UPN 80x45	A36	<b>OPCIÓN 2</b>	322,539	30,782	94,943	8,817
2T(80x40)	A36	<b>OPCIÓN 3</b>	318,010	729,496	192,945	430,704
2T(100x50)	A36	<b>OPCIÓN 4</b>	193,286	564,127	118,300	335,989
2 T(150x50)	A36	<b>OPCIÓN 5</b>	132,328	523,983	63,248	243,712
2 UPN 80x45	A36	<b>OPCIÓN 6</b>	322,539	61,564	94,943	17,635
2 UPN 100x50	A36	<b>OPCIÓN 7</b>	237,287	555,850	61,068	139,207
2UPN 120x55	A36	<b>OPCIÓN 8</b>	177,031	447,613	41,473	102,042

Fuente: El Autor

**Tabla 6-2:** Valores del cálculo de diseño por esfuerzos permisible por método ASD, respecto al eje  $z$ , utilizando acero A36.

<b>DETALLE</b>			<b>Ec-2-12</b>	<b>Ec-2-15</b>	<b>Ec-2-10</b>	<b>Ec. 4-8</b>	<b>Ec-2-13</b>
			<b>Fbz [Mpa]</b>	<b>Fbz [Mpa]</b>	<b>Fb [Mpa]</b>	<b>fbz [Mpa]</b>	<b>fbz/Fbz</b>
1T 80x40	A36	<b>ORIGINAL</b>	155,203	264,220	150	317,829	2,119
1T 100x50	A36	<b>OPCIÓN 1</b>	159,575	264,220	150	193,259	1,288
1UPN 80x45	A36	<b>OPCIÓN 2</b>	164,947	469,725	150	437,264	2,915
2T(80x40)	A36	<b>OPCIÓN 3</b>	143,739	528,440	150	158,914	1,059
2T(100x50)	A36	<b>OPCIÓN 4</b>	152,482	528,440	150	96,630	0,644
2 T(150x50)	A36	<b>OPCIÓN 5</b>	153,492	792,661	150	93,510	0,623
2 UPN 80x45	A36	<b>OPCIÓN 6</b>	163,227	939,450	150	218,632	1,458
2 UPN 100x50	A36	<b>OPCIÓN 7</b>	138,714	1056,881	150	163,781	1,092
2UPN 120x55	A36	<b>OPCIÓN 8</b>	142,793	1345,121	150	125,270	0,835

Fuente: El Autor

**Tabla 6-3:** Valores del cálculo de diseño por esfuerzos permisible por método ASD, respecto al eje x, y la suma del Esfuerzo de flexión/Esfuerzo permisible utilizando acero A36.

DETALLE			Ec-2-12	Ec-2-15	Ec-2-10	Ec. 4-8	Ec-2-13	$\Sigma(f/F)$
			Fbx [Mpa]	Fbx [Mpa]	Fb [Mpa]	fbx [Mpa]	fbx/Fbx	
1T 80x40	A36	ORIGINAL	162,823	66,055	150	192,945	1,286	3,41
1T 100x50	A36	OPCIÓN 1	164,268	66,055	150	118,289	0,789	2,08
1UPN 80x45	A36	OPCIÓN 2	166,352	148,624	150	94,943	0,633	3,55
2T(80x40)	A36	OPCIÓN 3	162,823	132,110	150	96,472	0,643	1,70
2T(100x50)	A36	OPCIÓN 4	164,268	132,110	150	59,144	0,394	1,04
2 T(150x50)	A36	OPCIÓN 5	165,507	88,073	150	45,481	0,303	0,93
2 UPN 80x45	A36	OPCIÓN 6	166,352	297,248	150	47,472	0,316	1,77
2 UPN 100x50	A36	OPCIÓN 7	164,679	264,220	150	30,534	0,204	1,30
2UPN 120x55	A36	OPCIÓN 8	165,250	282,569	150	20,725	0,138	0,97

Fuente: El Autor

De acuerdo a los resultados obtenidos en las diferentes opciones planteadas, la opción que cumple con el cálculo de diseño por esfuerzos permisible según el método ASD, es la opción 5, ya que la suma del Esfuerzo de flexión/Esfuerzo permisible mantiene un valor inferior a 0,95.

De la ecuación 2-13 tenemos:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{fb_z}{Fb_z} + \frac{fb_x}{Fb_x} \leq 0,95$$

$$\frac{f_d}{F_a} + \frac{93,51}{150} + \frac{45,481}{150} \leq 0,95$$

0,93 < 0,95 *No hay sobreesfuerzo en el elemento*

**Cálculo del factor de seguridad:**

$$n = \frac{S_y}{\sigma_z}$$

**Respecto al eje z**

$$n = \frac{250 \text{ MPa}}{132,328 \text{ MPa}}$$

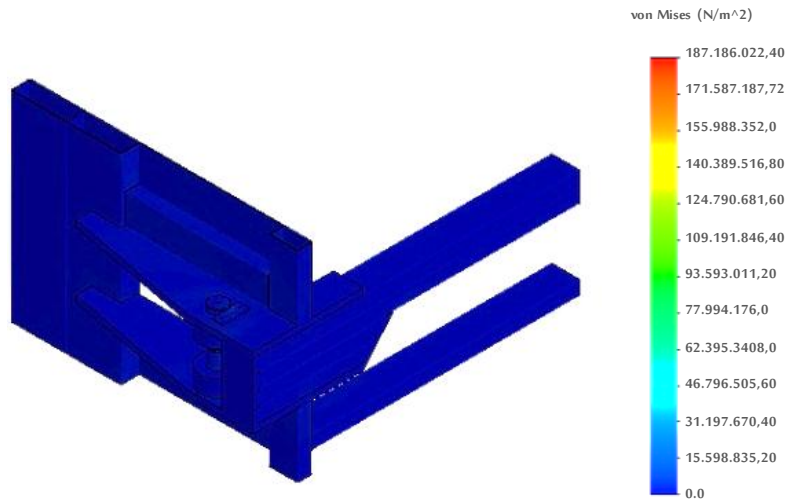
$$n = 1,89$$

**Respecto al eje x**

$$n = \frac{250 \text{ MPa}}{63,248 \text{ MPa}}$$

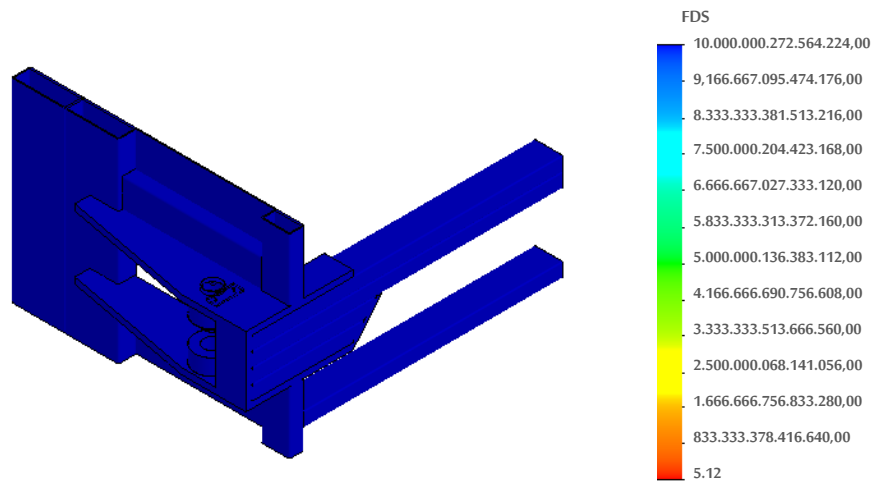
$$n = 3,95$$

De la misma manera que se procedió con el cálculo en forma analítica, se procedió a analizar mediante un software por elementos finitos y determinar los siguientes resultados:



**Figura 6-5:** Valores de Esfuerzos producidos en la estructura del compactador

**Fuente:** El Autor



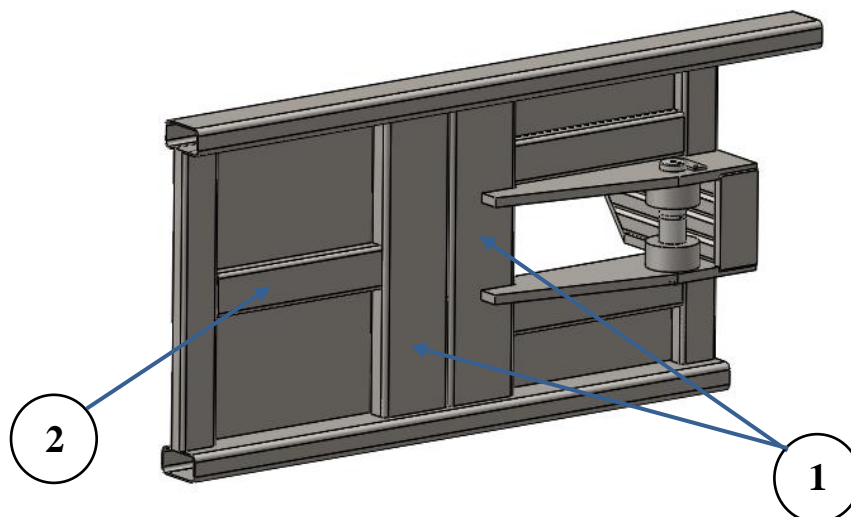
**Figura 6-6:** Factor de seguridad de la estructura del compactador

**Fuente:** El Autor

De acuerdo a estos resultados, obtenidos en forma analítica y por elementos finitos, el rediseño de las bases inferiores de la estructura del compactador cumple su función de forma apropiada.

### 6.7.5 Diseño de las bases inferiores de la estructura.

El diseño que se propone para los extremos inferiores de la estructura del compactador, de acuerdo a los datos obtenidos en el cálculo previo, es el que se muestra a continuación en la Figura 6-7.



**Figura 6-7:** Detalle del apoyo posterior de la estructura del compactador

**Fuente:** El Autor

### 6.7.6 Elaboración de un presupuesto para la reparación de la estructura.

En figura 6-7, el número 1 muestra la ubicación de los dos tubos rectangulares de 150x50x3 detallado a continuación en la tabla 6-4, donde se muestran los costos y detalle en acero ASTM A36 de 6 metros de largo, proporcionado por la empresa DIPAC.

**Tabla 6-4:** Detalle del costo de un tubo rectangular de 150x50x3 en acero A36

<b>RUBRO DE TUBO RECTANGULAR</b>		
<b>CANT.</b>	<b>DETALLE</b>	<b>PRECIO UNIIT. (USD)</b>
1	Tubo rectangular 150x50x3 mm, longitud = 6 m.	35,00

**Fuente:** DIPAC (Productos de acero)

Con base al costo anterior del tubo rectangular, para nuestro estudio vamos a ocupar una longitud de 2.5m ya que son dos lados inferiores en la estructura, por lo tanto:

Costo por cada metro:

$$C_m = \frac{35 \text{ USD}}{6 \text{ m}} = 5,83 \frac{\text{USD}}{\text{m}}$$

Costo de una viga prefabricada de 2.5 m:

$$C_{1,9} = 2.5\text{m} \left( 5.83 \frac{\text{USD}}{\text{m}} \right) = 14,58 \text{ USD}$$

En figura 6-7, el número 2 muestra la ubicación del tubo rectangular 80x40x3 detallado a continuación en la tabla 6-5.

Los costos del tubo rectangular de acero ASTM A36 de 6 metros de largo, proporcionado por la empresa DIPAC, son:

**Tabla 6-5:** Detalle del costo de un tubo rectangular de 80x40x3 en acero A36

<b>RUBRO DE TUBO RECTANGULAR</b>		
<b>CANT.</b>	<b>DETALLE</b>	<b>PRECIO UNIT. (USD)</b>
1	Tubo rectangular 80x40x3 mm, longitud = 6 m.	25,00

**Fuente:** DIPAC (Productos de acero)

Con base al costo anterior del tubo rectangular, para nuestro estudio vamos a ocupar una longitud de 1.30m ya que van colocados en los dos lados de la estructura, por lo tanto:

Costo por cada metro:

$$C_m = \frac{25 \text{ USD}}{6 \text{ m}} = 4,17 \frac{\text{USD}}{\text{m}}$$

Costo de una viga prefabricada de 2.5 m:

$$C_{1,9} = 1.30\text{m} \left( 4.17 \frac{\text{USD}}{\text{m}} \right) = 5,42 \text{ USD}$$

**Tabla 6-6:** Presupuesto para recursos materiales y de proceso

<b>RUBRO DE GASTOS (RECURSOS MATERIALES Y DE PROCESO)</b>				
<b>CANT.</b>	<b>DETALLE</b>	<b>REF.</b>	<b>PRECIO UNIT. (USD)</b>	<b>PRECIO TOTAL (USD)</b>
1	Tubo Rectangular 150x50x3	2,5 m	35,00	14,58
1	Tubo Rectangular 80x40x3	1,30 m	25,00	5,42
4	Electrodos AGA 6011	1/8"	1,48	5,92
1/d	Alquiler de taller con equipos	(5días)	150,00	750,00
2	Disco de corte Abracol	9x1/8"	2,42	4,84
2	Disco de pulir Abracol	9x1/8"	2,75	5,50
1	Pintura, Lijas y otros	-	-	50,00
<b>Total</b>				<b>836,26</b>

Fuente: El Autor

**Tabla 6-7:** Presupuesto para la obtención de las muestras metalográficas

<b>RECURSOS DEL ANÁLISIS DEL MATERIAL ORIGINAL DE LA ESTRUCTURA</b>						
<b>Nº</b>	<b>Etapa</b>	<b>Descripción de materiales</b>	<b>Tiempo de uso (min)</b>	<b>Cantidad (unidad)</b>	<b>Valor unitario (U.S.D)</b>	<b>Valor Total (U.S.D)</b>
1	Preparación	Obtención y preparación de la muestra	320	1	1,00	6,00
2	Desbaste	Lija Nº 240	45	1/3 pliego	0,20	0,60
		Lija Nº 320	45	1/3 pliego	0,20	0,60
		Lija Nº 400	45	1/3 pliego	0,20	0,60
		Lija Nº 600	30	1/3 pliego	0,20	0,60

**Continuación**

**Tabla 6-7:** Presupuesto para la obtención de las muestras metalográficas

3	Pulido	Paño metalográfico	45	1/4 pliego	0,40	1,60
		Alúmina	5	1 gr	0,33	0,33
4	Ataque	Reactivo Nital 4 – 4ml NHO3	2	0,5 ml	0,25	1,50
5	Replicado	Resina Poliéster	-	3gr	0,01	0,01
		catalizador (meck, peróxido)	-	1 ml	0,02	0,02
		acelerante (cobalto)	-	1ml	0,05	0,05
6	Desarrollo	Mano de obra	-	1 persona	2,77	2,77
7	Evaluación	Profesional encargado	-	-	30,00	30,00
<b>Total(U.S.D)</b>						<b>44,68</b>

Fuente: El Autor

**Tabla 6-8:** Presupuesto para recursos humanos

<b>RUBRO DE GASTOS (RECURSOS HUMANOS)</b>				
<b>CANT.</b>	<b>CARGO</b>	<b>HORAS TRABAJO</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>VALOR (USD)</b>
1	Maestro (Soldador)	10	2,80	28,00
1	Montacargas y Operador	(2 días)		400,00
2	Ayudantes	10	1,50	30,00
2	Técnicos THEMAC	20	3,50	-
1	Ingeniero THEMAC	20	4,60	-
<b>Total</b>				<b>458,00</b>

Fuente: El Autor



**Tabla 6-9:** Presupuesto para la reparación de las bases inferiores de la estructura del compactador

<b>REPARACIÓN DE LAS BASES DE LA ESTRUCTURA DEL COMPACTADOR</b>		
<b>ÍTEM</b>	<b>DETALLE</b>	<b>VALOR (USD)</b>
1	Recursos materiales y de proceso	836,26
3	Presupuesto de las muestras metalográficas	44,68
2	Recursos humanos	458,00
<b>Total</b>		<b>1338,94</b>

Fuente: El Autor

### 6.7.7 Elaboración de los planos de la base inferior de la estructura

Los planos de la parte inferior de la estructura del compactador se encuentran en el anexo D4

## 6.8 ADMINISTRACIÓN

El desarrollo de esta propuesta es posible ya que se cuenta con todos los medios necesarios para realizarla como es la información, usos, ventajas, desventajas, y disponibilidad de adquirir con facilidad los materiales empleados en la estructura, además en esta sección se redactan los gastos administrativos que se presentaron durante el estudio.

**Tabla 6-10:** Administración de la tesis

<b>RUBRO DE GASTOS</b>			
<b>CANT.</b>	<b>DETALLE</b>	<b>PRECIO UNIT. (USD)</b>	<b>VALOR (USD)</b>
1000	Impresiones B/N	0,05	50,00
100	Impresiones Color	0,15	15,00
12	Impresión de planos formato A3	0,40	4,80
15	Impresión de planos formato A4	0,20	3,00
100	Copias	0,02	2,00
3	Anillados borrador de revisión	3,00	9,00
3	Anillados finales	3,00	9,00

## Continuación

**Tabla 6-10:** Administración de la tesis

3	Empastados	15,00	45,00
80	Horas de internet	1,00	80,00
N/A	Transporte	200,00	200,00
<b>Total</b>			<b>417,80</b>

Fuente: El Autor

**Tabla 6-11:** Gastos totales de reparación y administrativos del estudio.

<b>PRESUPUESTO FINAL DEL ESTUDIO</b>		
<b>ÍTEM</b>	<b>DETALLE</b>	<b>VALOR (USD)</b>
1	Reparación de las bases de la estructura del compactador	1338,94
2	Rubro de gatos administrativos	417,80
<b>Subtotal</b>		<b>1756,74</b>
Imprevistos (10%)		175,67
<b>Total</b>		<b>1932,42</b>

Fuente: El Autor

## 6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

Una vez concluido el trabajo de investigación, el mismo que fue realizado una parte en los laboratorios de la carrera de Ingeniería Mecánica, otra en la empresa Themac y otra en el taller de construcciones metálicas Gómez, se sugiere tomar en cuenta todas las conclusiones y recomendaciones presentes en éste trabajo, a fin de prevenir accidentes e inconvenientes que pudieren efectuarse al momento de realizarse este tipo de estudio.

Además la propuesta debe estar sujeta a un plan de monitoreo y evaluación regular, con el fin de mejorar los resultados obtenidos, ya que el rediseño de las bases de la estructura del compactador debe permanecer en un constante chequeo, debido a la variabilidad de los desechos de recolección que presenta toda la urbe de la ciudad de Ambato.

## 6.10 CONCLUSIONES

- ▲ La observación de campo permitió identificar dónde se producen cambios en la estructura del compactador, para de esta manera centrarse sobre el estudio.
- ▲ Al ensayar varias opciones de secciones, se logró determinar cuál fue la más adecuada para evitar deformaciones o daños en los extremos inferiores de la estructura.
- ▲ El rediseño propuesto ayudó a soportar la carga máxima entregada por el sistema óleo-hidráulico al compactar los residuos.
- ▲ El material utilizado en la propuesta es de fácil adquisición en nuestro mercado, tanto Nacional como Provincial.
- ▲ Además los valores de la sumatoria de los Esfuerzos de Flexión vs. Los Esfuerzos Permisibles deben mantener un valor  $\leq 0,95$  de acuerdo a la teoría descrita en el capítulo II, y la opción planteada mantiene un valor de 0,93.
- ▲ La propuesta planteada de éste estudio eliminará el tiempo de paralización por daños ocurridos en los extremos inferiores de la estructura del compactador, ayudando a la vez a mantener la sanidad en nuestra Provincia.
- ▲ Finalmente el rediseño mostrado en la Figura 6-3 no afecta a ningún otro miembro de la estructura del compactador.

## MATERIALES DE REFERENCIA

### BIBLIOGRAFÍA

1. ALTEMIR José M<sup>a</sup>. (1959). Grasa del Internacional Council of Societies of Industrial Design. (I.C.S.I.D.).
2. AVNER Sydney. (1980). Introducción a la Metalurgia Física. 2<sup>a</sup> Edición. Editorial Mac Graw-Hill. México.
3. CALLISTER William. (1995). Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Volumen I. Editorial Reverté S. A. España.
4. COLLAZOS PEÑALOZA, Héctor. (2008). Diseño y operación de rellenos sanitarios. 3<sup>a</sup> Edición. Colombia. Escuela Colombiana de Ingeniería
5. CORBITT, Robert A. (2003). Manual de referencia de la ingeniería ambiental. Editorial McGraw-Hill. España.
6. GERDAU AZA S.A. (2000). Compendio de normas para productos de acero. 3<sup>a</sup> Edición. Chile.
7. GUATO C, Sonia I (2005). El Control Interno de Inventarios y su Incidencia en los Resultados Financieros de Estación de Servicio LO JUSTO. Ecuador.
8. HIBBELER L. C. (2006). Mecánica de Materiales. 6<sup>a</sup> edición. Editorial Pearson Education. México.
9. JAMES M. GERE. (2006). Timoshenko Resistencia de Materiales. 5<sup>a</sup> Edición. Editorial Thomson. Madrid España.
10. MCCORMAC Jack. (1999). Diseño de Estructuras Metálicas: Método ASD. 4<sup>a</sup> Edición. Editorial Alfaomega. México.
11. MOTT Robert L. (2006). Diseño de elementos de máquinas. 4<sup>a</sup> Edición. Editorial Pearson Education. México.

12. MORALES C. (1994). Desechos Sólidos. Capacitación en Servicios Municipales. Nicaragua.
13. MUÑOZ RODRÍGUEZ, Marcelo. (2008). Manual de manejo de residuos sólidos urbanos. Programa de apoyo a la gestión descentralizada de los recursos naturales en las tres provincias del norte del Ecuador – PRODERENA. Quito Impremedios S.A.
14. PASCUAL A. Pezzano. (1955). Elementos de la Siderurgia. Buenos Aires
15. SALÁN A. Alberto. (2008). Diseño y construcción de un prototipo de un camión recolector compactador de basura de carga posterior. Ecuador.
16. SHIGLEY Joseph. (2008). Diseño en ingeniería mecánica. 8ª Edición. Editorial McGraw-Hill.
17. SINGER Ferdinand. (1971). Resistencia de materiales. 4ª Edición. Editorial Harper Androwpub. New York. USA.
18. SMITH William F. (2006). Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales. 4ª Edición. Editorial. McGraw-Hill.
19. Spotts, M. (1976). Proyecto de elementos de máquinas. 2da Edición. Editorial Reverte.
20. TCHOBANOGLOUS George. (1994).et. al. Gestión integral de residuos sólidos. Editorial. McGraw-Hill. España.

## LINKCOGRAFÍA

1. Rondón O. El diseño de la ingeniería de máquina y su evolución histórica.  
Disponible en:  
<http://casanchi.com/ref/ingemaquina01.pdf>
2. Iberisa. (2006). Introducción al Análisis de Fatiga o Durabilidad. Bilbao.  
Disponible en:  
<http://facultad.bayamon.inter.edu/arincon/IntroduccionAnalisisFatiga.pdf>
3. ASTM. (2009). Standardization News (Normas sobre metales).  
Disponible en:  
[http://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPJF09/enright\\_spjf09.html](http://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPJF09/enright_spjf09.html)
4. Dávalos D. (2008). Ambiente. Pichincha.  
Disponible en:  
<http://www.bittium-energy.com>
5. Altemir José. El diseño mecánico. Zaragoza  
Disponible en:  
<http://www.cps.unizar.es/~altemir/descargas/Dise%F1o%20Mecanico/Cap%EDtu%201.pdf>
6. Disal Chile Ltda. (2010). Avda. Las Torres 6108 y Peñalolén. Manejo de residuos sólidos. Santiago-Chile.  
Disponible en:  
<http://www.disal.cl>
7. Wilson Pinto. (2011). Nueve barrios de Ambato se incorporan a recolección de basura por ecotachos (Diario el Universo). Guayas.  
Disponible en:  
<http://www.eluniverso.com/2011/11/08/1/1447/nueve-barrios-ambato-incorporan-recoleccion-basura-ecotachos.html>

8. Bertussi Luiz. (2000). Recolección selectiva de residuos sólidos urbanos. REPAMAR. Paraná-Brazil.

Disponible en:

<http://www.estrucplan.com.ar/producciones/entrega.asp?identrega=1506>

9. GIL Ayala. Av. Nueva España # 2108 Colonia Mármol. Compactador de basura. Chihuahua-México.

Disponible en:

<http://www.gilayala.com/basura.html>

10. George Zhao. METONG. Room 1708, LianYin Building (West), No. 887, Jiangcheng Road. Zhejiang-China.

Disponible en:

<http://www.metongspanish.com/4c-refuse-truck.html>

11. Michael F. Ashby. (2005). Materiales para ingeniería 1. REVERTÉ. Barcelona.

Disponible en:

<http://www.reverte.com/img/pdfs/9788429172553.pdf>

12. Redrovan Ionescu. (2010 ). Anteproyecto de Tesis Ecotachos. Pichicncha.

Disponible en:

<http://www.scribd.com/doc/63528065/Anteproyecto-de-Tesis-Ecotachos>

13. ASTM. Acero al carbono estructural de acuerdo al estándar ASME/ASTM A 36/A 36M

Disponible en:

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



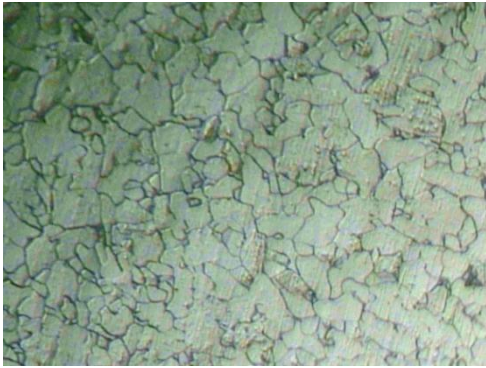
# ANEXOS



# **ANEXO A**



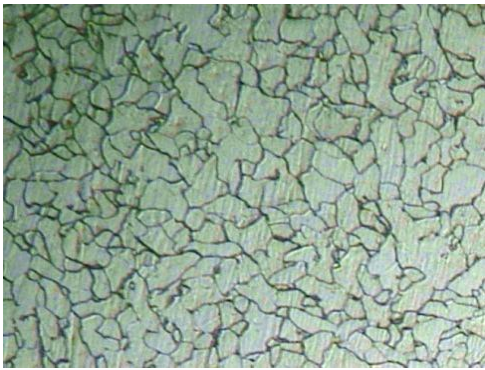
## ANEXO A1

### MICROESTRUCTURA DEL ENSAYO METALOGRÁFICO

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>		
<b>ENSAYO METALOGRÁFICO</b>			
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>	De campo y laboratorio	<b>N° de Ensayo:</b>	01
<b>Identificación del componente de estudio:</b>		<b>N° de Probeta:</b>	P1
<b>Solicitado por:</b>	U.T.A. - FICM	<b>Fecha:</b>	24/10/2012
<b>Centro de estudios y análisis:</b>	Laboratorio de Materiales - FICM		
<b>Realizado por:</b>	Egdo. Vladimir Poveda	<b>Supervisado por:</b>	Ing.M.Sc. Jorge Guamanquispe
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>			
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
<b>Temperatura Ambiente:</b>	20 °C	<b>Radiación:</b>	-
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	-	<b>Otros:</b>	-
<b>PARAMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO</b>			
<b>Realizado bajo la norma:</b>	ASTM	<b>Designación:</b>	E3 - 01
<b>Acondicionamiento de la superficie:</b>	Pulido Mecánico		
<b>Temperatura durante el pulido:</b>	21 – 24 °C	<b>Superficie óptima en:</b>	2.5 h
<b>Tiempo de extracción de la muestra:</b>	2h	<b>Espesor:</b>	3mm
<b>Ataque químico de la superficie con:</b>	Nital 4	<b>Tiempo de ataque:</b>	11 s
<b>Magnificación:</b>	200 X		
<b>RESULTADO DEL ENSAYO</b>			
			
<b>OBSERVACIONES:</b>			
Con el ensayo realizado en la probeta P1 se logra observar con una magnificación de 200X el delineamiento de los bordes de grano, alcanzando a mirar claramente la forma de los mismos.			



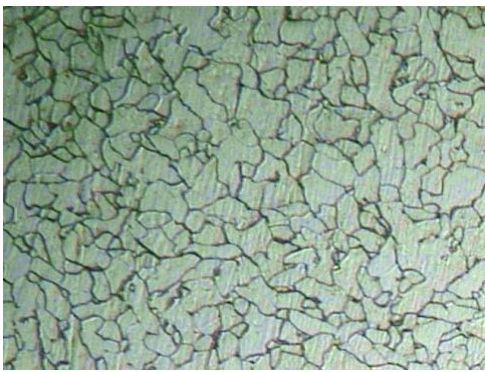
## ANEXO A2

### MICROESTRUCTURA DEL ENSAYO METALOGRAFICO

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>		
<b>ENSAYO METALOGRAFICO</b>			
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>	De campo y laboratorio	<b>N° de Ensayo:</b>	02
<b>Identificación del componente de estudio:</b>		<b>N° de Probeta:</b>	P2
<b>Solicitado por:</b>	U.T.A. - FICM	<b>Fecha:</b>	24/10/2012
<b>Centro de estudios y análisis:</b>	Laboratorio de Materiales - FICM		
<b>Realizado por:</b>	Egdo. Vladimir Poveda	<b>Supervisado por:</b>	Ing.M.Sc. Jorge Guamanquispe
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>			
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
<b>Temperatura Ambiente:</b>	20 °C	<b>Radiación:</b>	-
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	-	<b>Otros:</b>	-
<b>PARAMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO</b>			
<b>Realizado bajo la norma:</b>	ASTM	<b>Designación:</b>	E3 - 01
<b>Acondicionamiento de la superficie:</b>	Pulido Mecánico		
<b>Temperatura durante el pulido:</b>	21 – 24 °C	<b>Superficie óptima en:</b>	2 h
<b>Tiempo de extracción de la muestra:</b>	1.5 h	<b>Espesor:</b>	3mm
<b>Ataque químico de la superficie con:</b>	Nital 4	<b>Tiempo de ataque:</b>	12 s
<b>Magnificación:</b>	200 X		
<b>RESULTADO DEL ENSAYO</b>			
			
<b>OBSERVACIONES:</b>			
<p>Con el ensayo realizado en la probeta P2 se logra observar con una magnificación de 200X el delineamiento de los bordes de grano, alcanzando a mirar claramente la forma de los mismos.</p>			



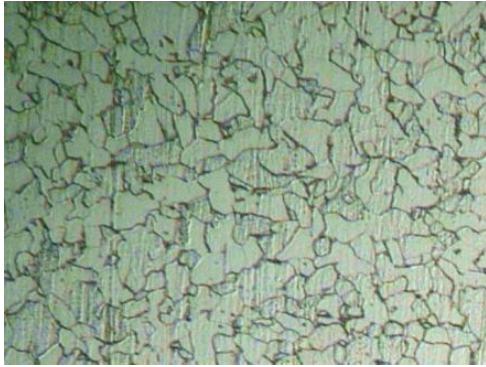
## ANEXO A3

### MICROESTRUCTURA DEL ENSAYO METALOGRÁFICO

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>		
<b>ENSAYO METALOGRÁFICO</b>			
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>	De campo y laboratorio	<b>Nº de Ensayo:</b>	03
<b>Identificación del componente de estudio:</b>		<b>Nº de Probeta:</b>	P3
<b>Solicitado por:</b>	U.T.A. - FICM	<b>Fecha:</b>	25/10/2012
<b>Centro de estudios y análisis:</b>	Laboratorio de Materiales - FICM		
<b>Realizado por:</b>	Egdo. Vladimir Poveda	<b>Supervisado por:</b>	Ing.M.Sc. Jorge Guamanquispe
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>			
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
<b>Temperatura Ambiente:</b>	20 °C	<b>Radiación:</b>	-
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	-	<b>Otros:</b>	-
<b>PARAMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO</b>			
<b>Realizado bajo la norma:</b>	ASTM	<b>Designación:</b>	E3 - 01
<b>Acondicionamiento de la superficie:</b>	Pulido Mecánico		
<b>Temperatura durante el pulido:</b>	21 – 24 °C	<b>Superficie óptima en:</b>	2.5 h
<b>Tiempo de extracción de la muestra:</b>	1.5 h	<b>Espesor:</b>	3mm
<b>Ataque químico de la superficie con:</b>	Nital 4	<b>Tiempo de ataque:</b>	10 s
<b>Magnificación:</b>	200 X		
<b>RESULTADO DEL ENSAYO</b>			
			
<b>OBSERVACIONES:</b>			
<p>Con el ensayo realizado en la probeta P3, con una magnificación de 200X se logra observar el delineamiento de los bordes de grano, alcanzando a mirar claramente la forma de los mismos.</p>			



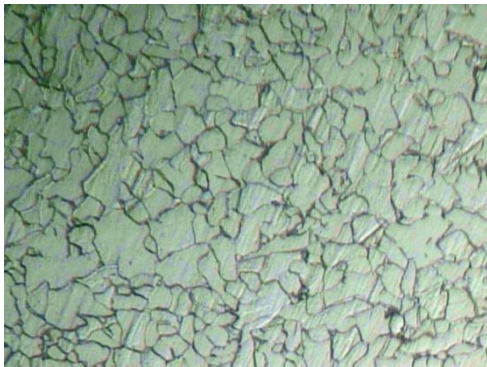
## ANEXO A4

### MICROESTRUCTURA DEL ENSAYO METALOGRÁFICO

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>		
<b>ENSAYO METALOGRÁFICO</b>			
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>	De campo y laboratorio	<b>Nº de Ensayo:</b>	04
<b>Identificación del componente de estudio:</b>		<b>Nº de Probeta:</b>	P4
<b>Solicitado por:</b>	U.T.A. - FICM	<b>Fecha:</b>	25/10/2012
<b>Centro de estudios y análisis:</b>	Laboratorio de Materiales - FICM		
<b>Realizado por:</b>	Egdo. Vladimir Poveda	<b>Supervisado por:</b>	Ing. M.Sc. Jorge Guamanquispe
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>			
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
<b>Temperatura Ambiente:</b>	20 °C	<b>Radiación:</b>	-
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	-	<b>Otros:</b>	-
<b>PARAMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO</b>			
<b>Realizado bajo la norma:</b>	ASTM	<b>Designación:</b>	E3 - 01
<b>Acondicionamiento de la superficie:</b>	Pulido Mecánico		
<b>Temperatura durante el pulido:</b>	21 – 24 °C	<b>Superficie óptima en:</b>	2 h
<b>Tiempo de extracción de la muestra:</b>	1h	<b>Espesor:</b>	3mm
<b>Ataque químico de la superficie con:</b>	Nital 4	<b>Tiempo de ataque:</b>	10 s
<b>Magnificación:</b>	200 X		
<b>RESULTADO DEL ENSAYO</b>			
			
<b>OBSERVACIONES:</b>			
<p>Con el ensayo realizado en la probeta P4 se logra observar claramente los bordes de grano y la forma de los mismos, así como también la forma misma del tipo de la estructura.</p>			

## ANEXO A5



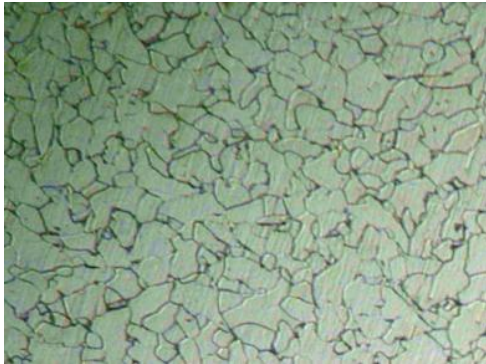
### MICROESTRUCTURA DEL ENSAYO METALOGRÁFICO

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>		
<b>ENSAYO METALOGRÁFICO</b>			
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>	De campo y laboratorio	<b>Nº de Ensayo:</b>	05
<b>Identificación del componente de estudio:</b>		<b>Nº de Probeta:</b>	P5
<b>Solicitado por:</b>	U.T.A. - FICM	<b>Fecha:</b>	26/10/2012
<b>Centro de estudios y análisis:</b>	Laboratorio de Materiales - FICM		
<b>Realizado por:</b>	Egdo. Vladimir Poveda	<b>Supervisado por:</b>	Ing.M.Sc. Jorge Guamanquispe
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>			
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
<b>Temperatura Ambiente:</b>	20 °C	<b>Radiación:</b>	-
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	-	<b>Otros:</b>	-
<b>PARAMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO</b>			
<b>Realizado bajo la norma:</b>	ASTM	<b>Designación:</b>	E3 - 01
<b>Acondicionamiento de la superficie:</b>	Pulido Mecánico		
<b>Temperatura durante el pulido:</b>	21 – 24 °C	<b>Superficie óptima en:</b>	1,5 h
<b>Tiempo de extracción de la muestra:</b>	1h	<b>Espesor:</b>	3mm
<b>Ataque químico de la superficie con:</b>	Nital 4	<b>Tiempo de ataque:</b>	9 s
<b>Magnificación:</b>	200 X		
<b>RESULTADO DEL ENSAYO</b>			
			
<b>OBSERVACIONES:</b>			
<p>Con el ensayo realizado en la probeta P2 se logra observar con una magnificación de 200X el delineamiento de los bordes de grano, alcanzando a mirar claramente la forma de los mismos.</p>			



## ANEXO A6



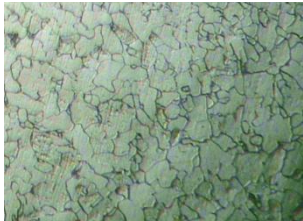
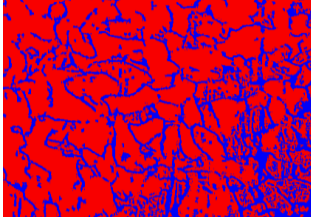
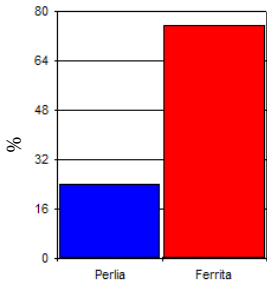
### MICROESTRUCTURA DEL ENSAYO METALOGRÁFICO

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>		
<b>ENSAYO METALOGRÁFICO</b>			
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>	De campo y laboratorio	<b>Nº de Ensayo:</b>	06
<b>Identificación del componente de estudio:</b>		<b>Nº de Probeta:</b>	P6
<b>Solicitado por:</b>	U.T.A. - FICM	<b>Fecha:</b>	26/10/2012
<b>Centro de estudios y análisis:</b>	Laboratorio de Materiales - FICM		
<b>Realizado por:</b>	Egdo. Vladimir Poveda	<b>Supervisado por:</b>	Ing. M.Sc. Jorge Guamanquispe
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>			
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
<b>Temperatura Ambiente:</b>	20 °C	<b>Radiación:</b>	-
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	-	<b>Otros:</b>	-
<b>PARAMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO</b>			
<b>Realizado bajo la norma:</b>	ASTM	<b>Designación:</b>	E3 - 01
<b>Acondicionamiento de la superficie:</b>	Pulido Mecánico		
<b>Temperatura durante el pulido:</b>	21 – 24 °C	<b>Superficie óptima en:</b>	2 h
<b>Tiempo de extracción de la muestra:</b>	1h	<b>Espesor:</b>	3mm
<b>Ataque químico de la superficie con:</b>	Nital 4	<b>Tiempo de ataque:</b>	9 s
<b>Magnificación:</b>	200 X		
<b>RESULTADO DEL ENSAYO</b>			
			
<b>OBSERVACIONES:</b>			
De igual manera podemos observar en la probeta P6 los bordes y la forma de grano de la probeta ensayada.			



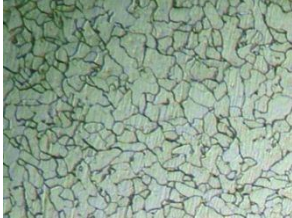
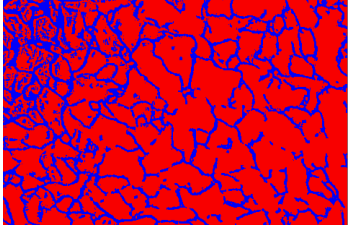
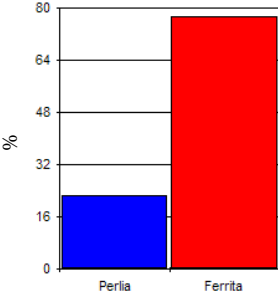
**DEL ANEXO A7 - A12**  
**COMPONENTES Y PORCENTAJES**  
**MICROESTRUCTURALES**





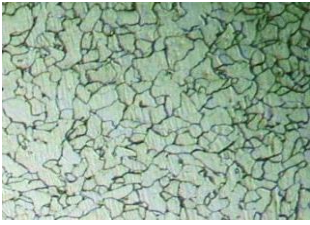
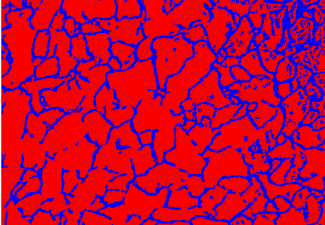
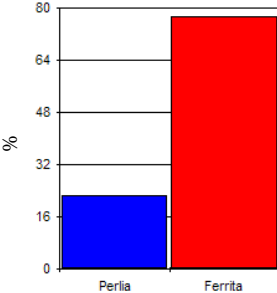
## ANEXO A7

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>		
<b>EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA</b>			
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>	De campo y laboratorio	<b>Nº de Ensayo:</b>	01
<b>Identificación del componente de estudio:</b>		<b>Nº de Probeta:</b>	P1
<b>Solicitado por:</b>	U.T.A. - FICM	<b>Fecha:</b>	24/10/2012
<b>Centro de estudios y análisis:</b>	Laboratorio de Materiales - FICM		
<b>Realizado por:</b>	Egdo. Vladimir Poveda	<b>Supervisado por:</b>	Ing. M.Sc. Jorge Guamanquispe
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>			
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
<b>Temperatura Ambiente:</b>	20 °C	<b>Radiación:</b>	-
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	-	<b>Otros:</b>	-
<b>PARAMETROS DEL ENSAYO</b>			
<b>Realizado bajo la norma:</b>	ASTM	<b>Designación:</b>	E3-01
<b>Magnificación:</b>	200 X	<b>Espesor:</b>	3 mm
<b>Microestructura</b>	<b>Componentes Microestructurales</b>		
			
<b>Componentes y Porcentajes</b>			
 <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>Ferrita: 74,6%</p> <p>Perlita: 26,4%</p> </div> </div>			
<b>Resistencia a la Tracción (<i>S<sub>ut</sub></i>)</b>			
$S_{ut} = \frac{28x(\%Ferrita) + 84(\%Perlita)}{100} \quad S_{ut} = \frac{28x(74,6) + 84(26,4)}{100} = 43,06 \text{ Kg/mm}^2$			
<b>Interpretación de resultados:</b>			
<p>Se ha determinado que la microestructura estudiada está compuesta por un 74,6 % de Ferrita y 26,4 % de Perlita, teniendo que la Resistencia a la Tracción de este material está entre <math>37 \leq S_{ut} \leq 48 \text{Kg/mm}^2</math> (Anexo B1). Determinando una resistencia a la tracción de 43,06Kg/mm<sup>2</sup>, perteneciente al acero estructural A37clase b.</p>			



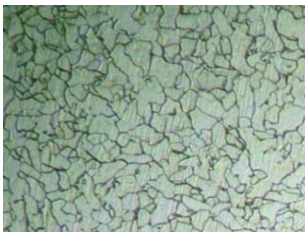
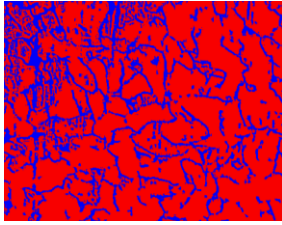
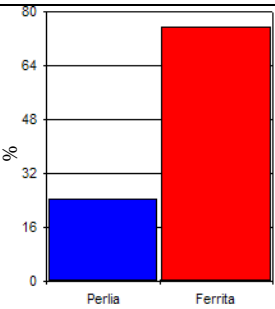
## ANEXO A8

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>		
<b>EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA</b>			
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>	De campo y laboratorio	<b>Nº de Ensayo:</b>	02
<b>Identificación del componente de estudio:</b>		<b>Nº de Probeta:</b>	P2
<b>Solicitado por:</b>	U.T.A. - FICM	<b>Fecha:</b>	24/10/2012
<b>Centro de estudios y análisis:</b>	Laboratorio de Materiales - FICM		
<b>Realizado por:</b>	Egdo. Vladimir Poveda	<b>Supervisado por:</b>	Ing. M.Sc. Jorge Guamanquispe
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>			
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
<b>Temperatura Ambiente:</b>	20 °C	<b>Radiación:</b>	-
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	-	<b>Otros:</b>	-
<b>PARAMETROS DEL ENSAYO</b>			
<b>Realizado bajo la norma:</b>	ASTM	<b>Designación:</b>	E3-01
<b>Magnificación:</b>	200 X	<b>Espesor:</b>	3 mm
<b>Microestructura</b>		<b>Componentes Microestructurales</b>	
			
<b>Componentes y Porcentajes</b>			
 <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>Ferrita: 77,4%</p> <p>Perlita: 22,6%</p> </div> </div>			
<b>Resistencia a la Tracción Aproximada (<i>Sut</i>):</b>			
$Sut = \frac{28x(\%Ferrita) + 84(\%Perlita)}{100} \quad Sut = \frac{28x(77,4) + 84(22,6)}{100} = 40,66 \text{ Kg/mm}^2$			
<b>Interpretación de resultados:</b>			
<p>Se ha podido determinar que la microestructura estudiada está compuesta por un 77,4 % de Ferrita y 22,6 % de Perlita, teniendo que la Resistencia a la Tracción de este material está dentro del rango de <math>37 \leq Sut \leq 48 \text{Kg/mm}^2</math> (Anexo B1). Determinando así una resistencia a la tracción de <math>40,66 \text{Kg/mm}^2</math>, perteneciente a un acero estructural A37 clase b.</p>			



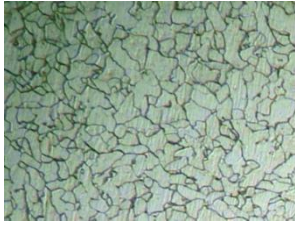
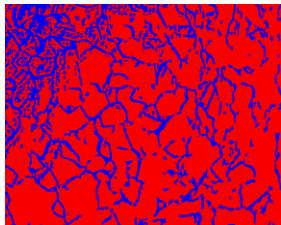
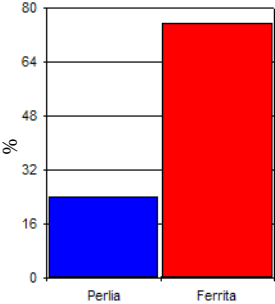
## ANEXO A9

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>		
<b>EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA</b>			
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>	De campo y laboratorio	<b>Nº de Ensayo:</b>	03
<b>Identificación del componente de estudio:</b>		<b>Nº de Probeta:</b>	P3
<b>Solicitado por:</b>	U.T.A. - FICM	<b>Fecha:</b>	24/10/2012
<b>Centro de estudios y análisis:</b>	Laboratorio de Materiales - FICM		
<b>Realizado por:</b>	Egdo. Vladimir Poveda	<b>Supervisado por:</b>	Ing. M.Sc. Jorge Guamanquispe
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>			
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
<b>Temperatura Ambiente:</b>	20 °C	<b>Radiación:</b>	-
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	-	<b>Otros:</b>	-
<b>PARAMETROS DEL ENSAYO</b>			
<b>Realizado bajo la norma:</b>	ASTM	<b>Designación:</b>	E3-01
<b>Magnificación:</b>	200 X	<b>Espesor:</b>	3 mm
<b>Microestructura</b>	<b>Componentes Microestructurales</b>		
			
<b>Componentes y Porcentajes</b>			
		Ferrita: 75,6%  Perlita: 24,4%	
<b>Resistencia a la Tracción Aproximada (<i>Sut</i>):</b>			
$Sut = \frac{28x(\%Ferrita) + 84(\%Perlita)}{100} \quad Sut = \frac{28x(75,6) + 84(24,4)}{100} = 41,66 \text{ Kg/mm}^2$			
<b>Interpretación de resultados:</b>			
Se ha podido determinar que la microestructura estudiada está compuesta por un 75,6 % de Ferrita y 24,4 % de Perlita, teniendo que la Resistencia a la Tracción de este material está dentro del rango de $37 \leq Sut \leq 48 \text{Kg/mm}^2$ (Anexo B1). Determinando así una resistencia a la tracción de $41,66 \text{Kg/mm}^2$ , perteneciente a un acero estructural A37 clase b.			



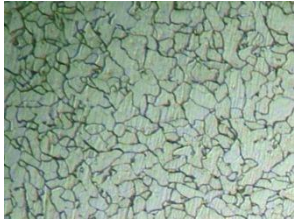
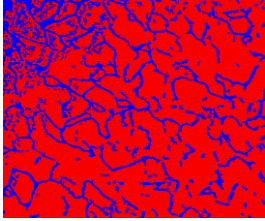
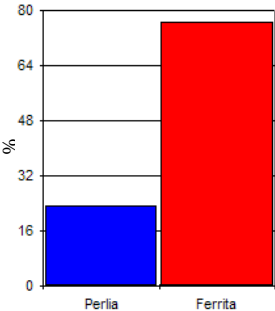
## ANEXO A10

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>		
<b>EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA</b>			
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>	De campo y laboratorio	<b>Nº de Ensayo:</b>	04
<b>Identificación del componente de estudio:</b>		<b>Nº de Probeta:</b>	P4
<b>Solicitado por:</b>	U.T.A. - FICM	<b>Fecha:</b>	24/10/2012
<b>Centro de estudios y análisis:</b>	Laboratorio de Materiales - FICM		
<b>Realizado por:</b>	Egdo. Vladimir Poveda	<b>Supervisado por:</b>	Ing. M.Sc. Jorge Guamanquispe
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>			
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
<b>Temperatura Ambiente:</b>	20 °C	<b>Radiación:</b>	-
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	-	<b>Otros:</b>	-
<b>PARAMETROS DEL ENSAYO</b>			
<b>Realizado bajo la norma:</b>	ASTM	<b>Designación:</b>	E3-01
<b>Magnificación:</b>	200 X	<b>Espesor:</b>	3 mm
<b>Microestructura</b>		<b>Componentes Microestructurales</b>	
			
<b>Componentes y Porcentajes</b>			
 <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>Ferrita: 75,4%</p> <p>Perlita: 24,6%</p> </div> </div>			
<b>Resistencia a la Tracción Aproximada (<i>Sut</i>):</b>			
$Sut = \frac{28x(\%Ferrita) + 84(\%Perlita)}{100} \quad Sut = \frac{28x(75,4) + 84(24,6)}{100} = 41,78 \text{ Kg/mm}^2$			
<b>Interpretación de resultados:</b>			
<p>Se ha podido determinar que la microestructura estudiada está compuesta por un 75,4 % de Ferrita y 24,6 % de Perlita, teniendo que la Resistencia a la Tracción de este material está dentro del rango de <math>37 \leq Sut \leq 48 \text{Kg/mm}^2</math> (Anexo B1). Determinando así una resistencia a la tracción de <math>41,78 \text{Kg/mm}^2</math>, perteneciente a un acero estructural A37 clase b.</p>			

## ANEXO A11

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>		
<b>EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA</b>			
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>	De campo y laboratorio	<b>Nº de Ensayo:</b>	05
<b>Identificación del componente de estudio:</b>		<b>Nº de Probeta:</b>	P5
<b>Solicitado por:</b>	U.T.A. - FICM	<b>Fecha:</b>	25/10/2012
<b>Centro de estudios y análisis:</b>	Laboratorio de Materiales - FICM		
<b>Realizado por:</b>	Egdo. Vladimir Poveda	<b>Supervisado por:</b>	Ing. M.Sc. Jorge Guamanquispe
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>			
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
<b>Temperatura Ambiente:</b>	20 °C	<b>Radiación:</b>	-
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	-	<b>Otros:</b>	-
<b>PARAMETROS DEL ENSAYO</b>			
<b>Realizado bajo la norma:</b>	ASTM	<b>Designación:</b>	E3-01
<b>Magnificación:</b>	200 X	<b>Espesor:</b>	3 mm
<b>Microestructura</b>		<b>Componentes Microestructurales</b>	
			
<b>Componentes y Porcentajes</b>			
 <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>Ferrita: 75,7%</p> <p>Perlita: 24,3%</p> </div> </div>			
<b>Resistencia a la Tracción Aproximada (<i>Sut</i>):</b>			
$Sut = \frac{28x(\%Ferrita) + 84(\%Perlita)}{100} \quad Sut = \frac{28x(75,7) + 84(24,3)}{100} = 41,61 \text{ Kg/mm}^2$			
<b>Interpretación de resultados:</b>			
<p>Se ha podido determinar que la microestructura estudiada está compuesta por un 75,7 % de Ferrita y 24,3 % de Perlita, teniendo que la Resistencia a la Tracción de este material está dentro del rango de <math>37 \leq Sut \leq 48 \text{Kg/mm}^2</math> (Anexo B1). Determinando así una resistencia a la tracción de <math>41,61 \text{Kg/mm}^2</math>, perteneciente a un acero estructural A37 clase b.</p>			



## ANEXO A12

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>		
<b>EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA</b>			
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>	De campo y laboratorio	<b>Nº de Ensayo:</b>	06
<b>Identificación del componente de estudio:</b>		<b>Nº de Probeta:</b>	P6
<b>Solicitado por:</b>	U.T.A. - FICM	<b>Fecha:</b>	25/10/2012
<b>Centro de estudios y análisis:</b>	Laboratorio de Materiales - FICM		
<b>Realizado por:</b>	Egdo. Vladimir Poveda	<b>Supervisado por:</b>	Ing. M.Sc. Jorge Guamanquispe
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>			
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
<b>Temperatura Ambiente:</b>	20 °C	<b>Radiación:</b>	-
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	-	<b>Otros:</b>	-
<b>PARAMETROS DEL ENSAYO</b>			
<b>Realizado bajo la norma:</b>	ASTM	<b>Designación:</b>	E3-01
<b>Magnificación:</b>	200 X	<b>Espesor:</b>	3 mm
<b>Microestructura</b>		<b>Componentes Microestructurales</b>	
			
<b>Componentes y Porcentajes</b>			
		Ferrita: 75,7% Perlita: 23,4%	
<b>Resistencia a la Tracción Aproximada (<i>Sut</i>):</b>			
$Sut = \frac{28x(\%Ferrita) + 84(\%Perlita)}{100} \quad Sut = \frac{28x(75,7) + 84(23,4)}{100} = 41,10 \text{ Kg/mm}^2$			
<b>Interpretación de resultados:</b>			
Se ha podido determinar que la microestructura estudiada está compuesta por un 75,7 % de Ferrita y 23,4 % de Perlita, teniendo que la Resistencia a la Tracción de este material está dentro del rango de $37 \leq Sut \leq 48 \text{Kg/mm}^2$ (Anexo B1). Determinando así una resistencia a la tracción de $41,10 \text{Kg/mm}^2$ , perteneciente a un acero estructural A37 clase b.			

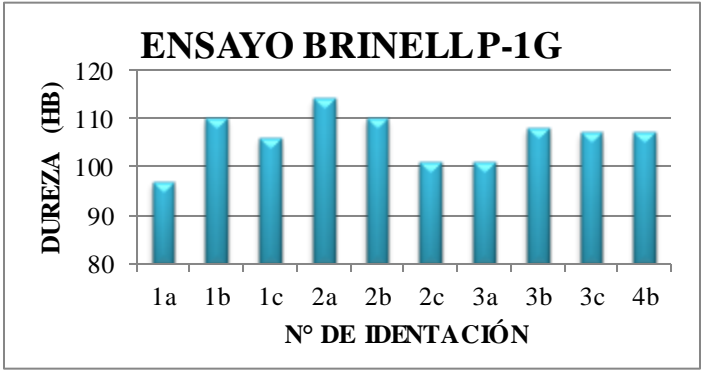
**DEL ANEXO A13 - A17**  
**ENSAYO DE DUREZA BRINELL**



## ANEXO A13

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>		
<b>ENSAYO DE DUREZA</b>			
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>	De campo y laboratorio	<b>Nº de Ensayo:</b>	01
<b>Identificación del componente de estudio:</b>		<b>Nº de Probeta:</b>	1G
<b>Solicitado por:</b>	U.T.A. - FICM	<b>Fecha:</b>	09/10/2012
<b>Centro de estudios y análisis:</b>	Laboratorio de Materiales - FICM		
<b>Realizado por:</b>	Egdo. Vladimir Poveda	<b>Supervisado por:</b>	Ing. M.Sc. Jorge Guamanquispe
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>			
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
<b>Temperatura Ambiente:</b>	20 °C	<b>Radiación:</b>	-
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	-	<b>Otros:</b>	-
<b>PARAMETROS DEL ENSAYO</b>			
<b>Realizado bajo la norma:</b>	ASTM	<b>Designación:</b>	E 10-01
<b>Dureza:</b>	Brinell	<b>Ø del Indentador:</b>	2,5 mm
<b>Carga:</b>	1839 N	<b>Tiempo de indentación:</b>	12 - 15 s
<b>Espesor de la probeta:</b>	3mm		
<b>RESULTADO DEL ENSAYO</b>			
<b>Nº de Identación</b>	<b>Ø de la indentación:</b>	<b>Dureza (HB)</b>	
1a	1.49	96.9	
1b	1.41	110	
1c	1.43	106	
2a	1.385	114	
2b	1.41	110	
2c	1.465	101	
3a	1.46	101	
3b	1.42	108	
3c	1.425	107	
4b	1.425	107	





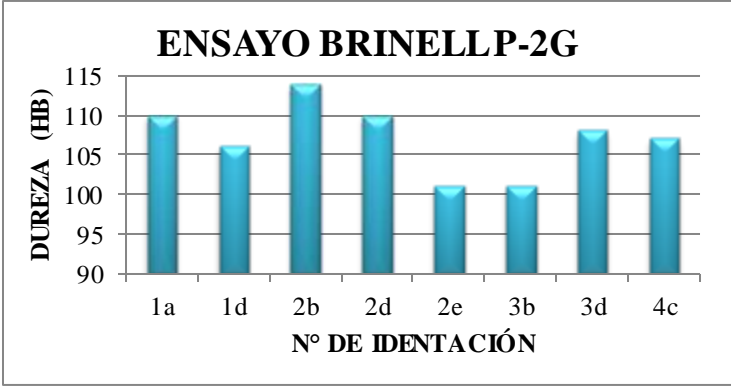
**ENSAYO BRINELL P-1G**

Nº de Identación	Dureza (HB)
1a	96.9
1b	110
1c	106
2a	114
2b	110
2c	101
3a	101
3b	108
3c	107
4b	107



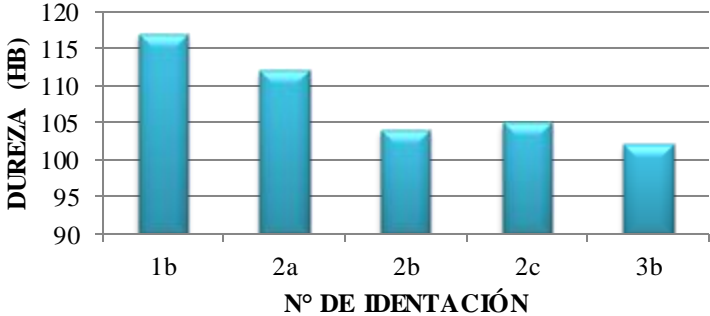
**OBSERVACIONES:**  
 En este ensayo no es notoria una gran diferencia entre las diferentes lecturas, así para la probeta P-1G se obtiene una dureza media de 106,9 HB. Comprobando de esta manera que es un acero Extra dulce, ya que se encuentra entre los 100 y 120 HB (Anexo B2). Definiéndolo como un acero A37 clase b.





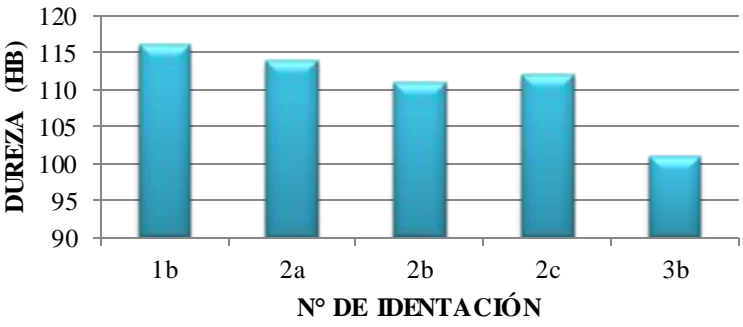
## ANEXO A14

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>		
<b>ENSAYO DE DUREZA</b>			
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>	De campo y laboratorio	<b>Nº de Ensayo:</b>	02
<b>Identificación del componente de estudio:</b>		<b>Nº de Probeta:</b>	2G
<b>Solicitado por:</b>	U.T.A. - FICM	<b>Fecha:</b>	09/10/2012
<b>Centro de estudios y análisis:</b>	Laboratorio de Materiales - FICM		
<b>Realizado por:</b>	Egdo. Vladimir Poveda	<b>Supervisado por:</b>	Ing. M.Sc. Jorge Guamanquispe
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>			
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA		
<b>Temperatura Ambiente:</b>	20 °C	<b>Radiación:</b>	-
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	-	<b>Otros:</b>	-
<b>PARAMETROS DEL ENSAYO</b>			
<b>Realizado bajo la norma:</b>	ASTM	<b>Designación:</b>	E 10-01
<b>Dureza:</b>	Brinell	<b>Ø del Indentador:</b>	2,5 mm
<b>Carga:</b>	1839 N	<b>Tiempo de indentación:</b>	12 - 15 s
<b>Espesor de la probeta:</b>	3mm		
<b>RESULTADO DEL ENSAYO</b>			
<b>Nº de Identación</b>	<b>Ø de la indentación:</b>	<b>Dureza (HB)</b>	
1a	1,410	110	
1d	1,430	106	
2b	1,385	114	
2d	1,410	110	
2e	1,465	101	
3b	1,460	101	
3d	1,420	108	
4c	1,425	107	
			
<b>OBSERVACIONES:</b>			
<p>En este ensayo no es notoria una gran diferencia entre las diferentes lecturas, así para la probeta P-2G se obtiene una dureza media de 107,125 HB. Comprobando de esta manera que es acero Extra dulce, ya que se encuentra entre los 100 y 120 HB (Anexo B2). Definiéndolo como un acero A37 clase b.</p>			



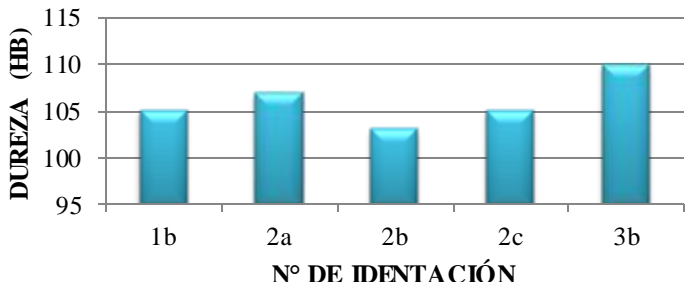
## ANEXO A15

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>														
<b>ENSAYO DE DUREZA</b>															
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>															
<b>Tipo de estudio:</b>	De campo y laboratorio	<b>Nº de Ensayo:</b>	03												
<b>Identificación del componente de estudio:</b>		<b>Nº de Probeta:</b>	1P												
<b>Solicitado por:</b>	U.T.A. - FICM	<b>Fecha:</b>	09/10/2012												
<b>Centro de estudios y análisis:</b>	Laboratorio de Materiales - FICM														
<b>Realizado por:</b>	Egdo. Vladimir Poveda	<b>Supervisado por:</b>	Ing. M.Sc. Jorge Guamanquispe												
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>															
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA														
<b>Temperatura Ambiente:</b>	20 °C	<b>Radiación:</b>	-												
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	-	<b>Otros:</b>	-												
<b>PARAMETROS DEL ENSAYO</b>															
<b>Realizado bajo la norma:</b>	ASTM	<b>Designación:</b>	E 10-01												
<b>Dureza:</b>	Brinell	<b>Ø del Indentador:</b>	2,5 mm												
<b>Carga:</b>	1839 N	<b>Tiempo de indentación:</b>	12 - 15 s												
<b>Espesor de la probeta:</b>	3mm														
<b>RESULTADO DEL ENSAYO</b>															
<b>Nº de Identación</b>	<b>Ø de la indentación:</b>	<b>Dureza (HB)</b>													
1b	1,370	111													
2a	1,395	112													
2b	1,445	104													
2c	1,435	105													
3b	1,455	102													
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: 80%;"> <p style="text-align: center;"><b>ENSAYO BRINELL P-1P</b></p>  <table border="1" style="margin: 0 auto; border-collapse: collapse;"> <caption>Data for Brinell Hardness Chart</caption> <thead> <tr> <th>Nº de Identación</th> <th>Dureza (HB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1b</td><td>111</td></tr> <tr><td>2a</td><td>112</td></tr> <tr><td>2b</td><td>104</td></tr> <tr><td>2c</td><td>105</td></tr> <tr><td>3b</td><td>102</td></tr> </tbody> </table> </div>				Nº de Identación	Dureza (HB)	1b	111	2a	112	2b	104	2c	105	3b	102
Nº de Identación	Dureza (HB)														
1b	111														
2a	112														
2b	104														
2c	105														
3b	102														
<b>OBSERVACIONES:</b>															
<p>En este ensayo no es notoria una gran diferencia entre las diferentes lecturas, así para la probeta P-1P se obtiene una dureza media de 108 HB. Comprobando de esta manera que es acero Extra dulce, ya que se encuentra entre los 100 y 120 HB (Anexo B2). Definiéndolo como un acero A37 clase b.</p>															

## ANEXO A16

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>														
<b>ENSAYO DE DUREZA</b>															
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>															
<b>Tipo de estudio:</b>	De campo y laboratorio	<b>Nº de Ensayo:</b>	04												
<b>Identificación del componente de estudio:</b>		<b>Nº de Probeta:</b>	2P												
<b>Solicitado por:</b>	U.T.A. - FICM	<b>Fecha:</b>	09/10/2012												
<b>Centro de estudios y análisis:</b>	Laboratorio de Materiales - FICM														
<b>Realizado por:</b>	Egdo. Vladimir Poveda	<b>Supervisado por:</b>	Ing. M.Sc. Jorge Guamanquispe												
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>															
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA														
<b>Temperatura Ambiente:</b>	20 °C	<b>Radiación:</b>	-												
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	-	<b>Otros:</b>	-												
<b>PARAMETROS DEL ENSAYO</b>															
<b>Realizado bajo la norma:</b>	ASTM	<b>Designación:</b>	E10-01 E 10												
<b>Dureza:</b>	Brinell	<b>Ø del Indentador:</b>	2,5 mm												
<b>Carga:</b>	1839 N	<b>Tiempo de indentación:</b>	12 - 15 s												
<b>Espesor de la probeta:</b>	3mm														
<b>RESULTADO DEL ENSAYO</b>															
<b>Nº de Identación</b>	<b>Ø de la indentación:</b>	<b>Dureza (HB)</b>													
1b	1,375	116													
2a	1,385	114													
2b	1,400	111													
2c	1,395	112													
3b	1,465	101													
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: 80%;"> <p style="text-align: center; margin: 0;"><b>ENSAYO BRINELL P-2P</b></p>  <table border="1" style="margin: 10px auto; width: 80%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Nº de Identación</th> <th>Dureza (HB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1b</td> <td>116</td> </tr> <tr> <td>2a</td> <td>114</td> </tr> <tr> <td>2b</td> <td>111</td> </tr> <tr> <td>2c</td> <td>112</td> </tr> <tr> <td>3b</td> <td>101</td> </tr> </tbody> </table> </div>				Nº de Identación	Dureza (HB)	1b	116	2a	114	2b	111	2c	112	3b	101
Nº de Identación	Dureza (HB)														
1b	116														
2a	114														
2b	111														
2c	112														
3b	101														
<b>OBSERVACIONES:</b>															
<p>En este ensayo no es notoria una gran diferencia entre las diferentes lecturas, así para la probeta P-2P se obtiene una dureza media de 110,80 HB. Comprobando de esta manera que es acero Extra dulce, ya que se encuentra entre los 100 y 120 HB (Anexo B2). Definiéndolo como un acero A37 clase b.</p>															

## ANEXO A17

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>														
<b>ENSAYO DE DUREZA</b>															
<b>DATOS INFORMATIVOS:</b>															
<b>Tipo de estudio:</b>	De campo y laboratorio	<b>Nº de Ensayo:</b>	05												
<b>Identificación del componente de estudio:</b>		<b>Nº de Probeta:</b>	3P												
<b>Solicitado por:</b>	U.T.A. - FICM	<b>Fecha:</b>	09/10/2012												
<b>Centro de estudios y análisis:</b>	Laboratorio de Materiales - FICM														
<b>Realizado por:</b>	Egdo. Vladimir Poveda	<b>Supervisado por:</b>	Ing. M.Sc. Jorge Guamanquispe												
<b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO</b>															
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus Universitario - UTA														
<b>Temperatura Ambiente:</b>	20 °C	<b>Radiación:</b>	-												
<b>Velocidad del aire circundante:</b>	-	<b>Otros:</b>	-												
<b>PARAMETROS DEL ENSAYO</b>															
<b>Realizado bajo la norma:</b>	ASTM	<b>Designación:</b>	E10-01												
<b>Dureza:</b>	Brinell	<b>Ø del Indentador:</b>	2,5 mm												
<b>Carga:</b>	1839 N	<b>Tiempo de indentación:</b>	12 - 15 s												
<b>Espesor de la probeta:</b>	3mm														
<b>RESULTADO DEL ENSAYO</b>															
<b>Nº de Identación</b>	<b>Ø de la indentación:</b>	<b>Dureza (HB)</b>													
1b	1,435	105													
2a	1,425	107													
2b	1,450	103													
2c	1,435	105													
3b	1,410	110													
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: 80%;"> <p style="text-align: center;"><b>ENSAYO BRINELL P-3P</b></p>  <table border="1" style="margin: 0 auto; width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Nº de Identación</th> <th>Dureza (HB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1b</td><td>105</td></tr> <tr><td>2a</td><td>107</td></tr> <tr><td>2b</td><td>103</td></tr> <tr><td>2c</td><td>105</td></tr> <tr><td>3b</td><td>110</td></tr> </tbody> </table> </div>				Nº de Identación	Dureza (HB)	1b	105	2a	107	2b	103	2c	105	3b	110
Nº de Identación	Dureza (HB)														
1b	105														
2a	107														
2b	103														
2c	105														
3b	110														
<b>OBSERVACIONES:</b>															
<p>En este ensayo no es notoria una gran diferencia entre las diferentes lecturas, así para la probeta P-3P se obtiene una dureza media de 106 HB. Comprobando de esta manera que es acero Extra dulce, ya que se encuentra entre los 100 y 120 HB (Anexo B2). Definiéndolo como un acero A37 clase b.</p>															

# **ANEXO B**

## ANEXO B1

### COMPARACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE ACEROS ASTM A37, A42 Y A52 DE SUS DIFERENTES GRADOS

Características mecánicas de los aceros											
Características mecánicas	Espesor	Probeta	Clases de acero								
			A37b	A37c	A37d	A42b	A42c	A42d	A52b	A52c	A52d
Límite elástico $\sigma_s$ $\text{kp/mm}^2$ mínimo	< 16 mm		24	24	24	26	26	26	36	36	36
	> 16 mm										
	< 40 mm		23	23	23	25	25	25	35(1)	35	35
	> 40 mm										
Alargamiento de rotura $\delta$ $\text{kp/mm}^2$ mínimo	< 40 mm	longitudinal	26	26	26	24	24	24	22(1)	22	22
	< 40 mm	transversal	24	24	24	22	22	22	20	20	20
	> 40 mm	longitudinal	25	25	25	23	23	23	21(1)	21	21
	> 40 mm	transversal	23	23	23	21	21	21	19	19	19
Resistencia a tracción $\sigma_t$ $\text{kp/mm}^2$ mínimo-máximo (2)			37-48	37-45	37-45	42-53	42-50	42-50	52-62	52-62	52-62
Doblado satisfactorio en espesor a sobre mandril de diámetro		longitudinal	1a	1a	1a	2a	2a	2a	2.5a	2.5a	2.5a
		transversal	2a	1.5a	1.5a	2.5a	2.5a	2.5a	3a	3a	3a
Resiliencia	Energía absorbida $\mu$ $\text{kp/m}^2$ min		2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
	Temperatura de ensayo $^{\circ}\text{C}$		+20	0	-20	+20	0	-20	+20	0	-20

(1) En los aceros de tipo A52 el espesor límite de 40 mm se sustituye por 36 mm.  
(2) Salvo acuerdo en contrario, no será objeto de rechazo si en la resistencia a tracción se obtienen 2  $\text{kp/mm}^2$  de menos. Tampoco si en los aceros de grados c y d se obtienen 2  $\text{kp/mm}^2$  de más.

Fuente: Materiales II, Escuela de Ingeniería Técnica Civil. Arquitectura Técnica.

## ANEXO B2

**TABLA DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y DUREZA DE ACEROS**

<i>Aceros</i>	<i>Límite Aparente Elasticidad</i>	<i>Resistencia <math>K_z</math></i>	<i>Alarg. <math>\delta</math> %</i>	<i>Dureza Brinell</i>	$\rho$	$\% C$
<b>Extra-dulce</b>	$\sigma_e = 20 \text{ kg/mm}^2$	35-40 kg/mm <sup>2</sup>	30	100-120	22	< 0,15
Dulce . . . . .	25	40-45	25	120-140	20	0,15-0,30
Semi-dulce .	30	45-55	20	140-160	18	0,30-0,40
Semi-duro .	35	55-65	18	160-180	14	0,40-0,60
Duro . . . . .	40	65-75	14	180-200	12	0,60-0,70
Muy duro .	45	75-85	10	200-220	10	0,70-0,80
<b>Extra-duro .</b>	> 50	> 85	8	> 220	8	> 0,80

**Fuente:** Pascual A. Pezzano. (1955). Elementos de la Siderurgia. Buenos Aires

## ANEXO B3

### PROPIEDADES DE ACERO A37

Para los perfiles y placas conformados de acero a partir de chapa de clase A 37b se garantizarán las características mecánicas indicadas en la tabla 4.

<b>Tabla 4.</b> Características mecánicas de los perfiles conformados.	
Límite elástico	$\sigma_e \geq 24 \text{ kp/mm}^2$
Resistencia a tracción	$\sigma_R \geq 37 \text{ kp/mm}^2$
Alargamiento de rotura	$\delta \geq 26\%$
Doblado	Satisfactorio realizando el ensayo según UNE 7 472
Salvo acuerdo en contrario, los perfiles huecos no serán objeto de rechazo si en la resistencia a tracción se obtienen $3 \text{ kp/mm}^2$ de menos.	

**Fuente:** Cátedra de Ingeniería Rural, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola.  
Ciudad Real-Chile



## ANEXO B4

### PROPIEDADES MECÁNICAS Y COMPOSICIÓN QUÍMICA ACERO HARDOX 400

# HARDOX® 400

## Data sheet

### ABRASION RESISTANT PLATE

HARDOX 400 is an abrasion resistant plate with a hardness of 400 HBW, intended for applications where demands are imposed on abrasion resistance in combination with good cold bending properties. HARDOX 400 offers very good weldability.

#### Applications

Crushers, sieves, feeders, measuring pockets, skips, cutting edges, conveyors, buckets, knives, gears, sprockets, dumptrucks, loaders, industrial trucks, lorries, bulldozers, excavators, slurry pipe systems, screw conveyors, presses etc.

#### Chemical Composition (ladle analysis)

Plate thickness mm	C max %	Si max %	Mn max %	P max %	S max %	Cr max %	Ni max %	Mo max %	B max %	CEV typ.	CET typ.
3 <sup>+</sup> -10	0,14	0,70	1,60	0,025	0,010	0,30	0,25	0,25	0,004	0,33	0,23
(10)-20	0,14	0,70	1,60	0,025	0,010	0,50	0,25	0,25	0,004	0,37	0,27
(20)-32	0,18	0,70	1,60	0,025	0,010	1,00	0,25	0,25	0,004	0,48	0,29
(32)-45	0,22	0,70	1,60	0,025	0,010	1,40	0,50	0,60	0,004	0,57	0,31
(45)-51	0,22	0,70	1,60	0,025	0,010	1,40	0,50	0,60	0,004	0,57	0,38
(51)-80	0,27	0,70	1,60	0,025	0,010	1,40	1,00	0,60	0,004	0,65	0,41
(80)-130	0,32	0,70	1,60	0,025	0,010	1,40	1,50	0,60	0,004	0,73	0,48

\*<sup>1</sup> Plate thickness below 4 mm only after special agreement.

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15}$$

$$CET = C + \frac{Mn + Mo}{10} + \frac{Cr + Cu}{20} + \frac{Ni}{40}$$

The steel is grain refined.

#### Hardness

HBW  
370-430

#### Mechanical Properties

Typical values for 20 mm plate thickness	Yield strength $R_{eL}$ MPa	Tensile strength $R_{m}$ MPa	Elongation $A_{50}$ %
	1000	1250	10

#### Impact Properties

Typical value for 20 mm plate thickness	Test temperature °C	Impact energy Charpy-V, longitudinal J
	-40 (-40 F)	45

#### Testing

Brinell hardness, HBW according to EN ISO 6506-1, on a milled surface 0,5-2 mm below plate surface per heat and 40 tons. Tests are made for every variation of 15 mm in the thickness of plates from the same heat.

#### Delivery Conditions

Q.

#### Dimensions

HARDOX 400 is supplied in plate thicknesses of 3<sup>+</sup>-130 mm. More detailed information on dimensions is provided in our brochure 042-UK General Product Information WELDOX, HARDOX and ARMOX.

\*<sup>1</sup> Plate thickness below 4 mm only after special agreement.

15-1-UK HARDOX is a registered trademark for SSAB Oxelösund AB. The UK English version of this document shall prevail in case of discrepancy. Download the latest version of this document on internet: [www.sswab.com/publications](http://www.sswab.com/publications)



SSAB Oxelösund AB  
S-613 80 Oxelösund  
[www.hardox.com](http://www.hardox.com)

Phone:  
+46 155-25 40 00  
[www.sswab.com](http://www.sswab.com)

Fax:  
+46 155-25 40 73  
[www.weldox.com](http://www.weldox.com)

**HARDOX®**  
WEAR PLATE

# HARDOX 400

## Data sheet

151-LUK HARDOX is a registered trade mark for SSAB Oxelösund AB. The UK English version of the document shall prevail in case of discrepancy. Download the latest version of this document on internet: [www.ssb.com/publications](http://www.ssb.com/publications)

<b>Tolerances</b>	<p>Thickness tolerances according to SSAB Oxelösund thickness precision guarantee AccuRollTech™.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- AccuRollTech™ meets the requirements of EN 10 029 Class A, but offers more narrow tolerances. More detailed information is given in our brochure 042-UK General Product Information WELDOX, HARDOX and ARMOX.</li> </ul> <p>According to EN 10 029.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tolerances on shape, length and width.</li> <li>- Tolerances on flatness according to Class N (Normal tolerances).</li> </ul>
<b>Surface Properties</b>	<p>According to EN 10 163-2</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Requirements according to Class A.</li> <li>- Repair conditions according to Subclass 1. (Repair welding is allowed)</li> </ul>
<b>General Technical Delivery Requirement</b>	<p>According to our brochure 042-UK General Product Information WELDOX, HARDOX and ARMOX.</p>
<b>Heat Treatment and Fabrication</b>	<p>HARDOX 400 has obtained its mechanical properties by quenching and when necessary by means of subsequent tempering. The properties of the delivery condition can not be retained after exposure to service or preheating temperatures in excess of 250° (480°F). HARDOX 400 is not intended for further heat treatment.</p> <p>For information concerning welding and fabrication, see our brochures on <a href="http://www.hardox.com">www.hardox.com</a> or consult our Technical Customer Service.</p> <p>Appropriate health and safety precautions must be taken when welding, cutting, grinding or otherwise working on the product. Grinding, especially of primer coated plates, may produce dust with high particle concentration. Our Technical Customer Service Department will provide further information on request.</p>



SSAB Oxelösund AB  
S-613 80 Oxelösund  
[www.hardox.com](http://www.hardox.com)

Phone:  
+46 155-25 40 00  
[www.ssb.com](http://www.ssb.com)

Fax:  
+46 155-25 40 73  
[www.weldox.com](http://www.weldox.com)

**HARDOX®**  
WEAR PLATE

## ANEXO B5

### PROPIEDADES Y DUREZA DE ACEROS HARDOX 400 Y 450

Propiedades mecánicas:	HARDOX 450	HARDOX 400
Dureza:	425 – 475 HB	370 – 430 HB
Límite de elasticidad*:	1200 MPa	1000 MPa
Resistencia a la tracción*:	1400 MPa	1250 MPa
Alargamiento A <sub>5</sub> *:	10%	10%
Tenacidad a los impactos a -40 °C*:	40 J	45 J

\* Valor típico para chapa de 20 mm de espesor.

Dimensiones:	HARDOX 450	HARDOX 400
Gama de espesores:	3,2 – 80 mm	4,0 mm – 130 mm
Anchura máx.:	3,3 m	3,3 m

**Fuente:** Productos Hardox

**Disponible en:** <http://www.hardox.com/>

## ANEXO B6

### PROPIEDADES MECÁNICAS Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACERO A36

<b>Resistencia a la tracción:</b>	<b>58,000 - 80,000 psi [400-550 MPa]</b>
<b>Min. Punto de fluencia:</b>	36,000 psi [250 MPa]
<b>Elongación en 8":</b>	20% min
<b>Elongación en 2":</b>	23% min

	Hasta 3/4 in.	Sobre 3/4 in. hasta 1-1/2 in.	Sobre 1-1/2 in. hasta 2-1/2 in.	Sobre 2-1/2 hasta 4 in.	Sobre 4 in.
<b>Carbono</b>	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29
<b>Manganeso</b>	--	.80/1.20	.85/1.20	.85/1.20	.85/1.20
<b>Fósforo</b>	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
<b>Azufre</b>	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
<b>Silicio</b>	.40 <u>max</u>	.40 <u>max</u>	.15/.40	.15/.40	.15/.40
<b>Cobre min % cuando se especifica de acero de cobre</b>	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

\* Nota: Por cada reducción de 0,01% por debajo del máximo especificado de carbono, un aumento del 0,06% de manganeso por encima de la cantidad máxima prevista será permitido, hasta el máximo de 1,35%.

**Fuente:** Normas ASTM

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

## ANEXO B7

### PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO A500 DE DIFERENTES PERFILES ESTRUCTURALES

Norma ASTM A 500 Grado del Acero		Propiedades Mecánicas (mínimas)				
		Límite de Fluencia Mpa (Kg/cm <sup>2</sup> )	Límite de Fluencia psi	Resistencia a la Tracción Mpa (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la Tracción psi	% Elong.
Circular	A	228 (2.320)	33,000	310 (3.170)	45,000	25
	B	290 (2.955)	42,000	400 (4.080)	58,000	23
	C	317 (3.230)	46,000	427 (4.360)	62,000	21
Cuadrado y rectangular	A	269 (2.740)	39,000	310 (3.170)	45,000	25
	B	317 (3.230)	46,000	400 (4.080)	58,000	23
	C	345 (3.515)	50,000	427 (4.360)	62,000	21

**Fuente:** Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. Norma Básica de la Edificación “NBE-EA-95” Estructuras de Acero en Edificación.

**Disponible en:** <http://saralx.es/normativa/01%20EDIFICACION/zEA-95.pdf>

# **ANEXO C**

# ANEXO C1

## NORMA ASTM E3- 01



Designation: E 3 – 01

### Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation E 3; 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 ( $\epsilon$ ) 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 The primary objective of metallographic examinations is to reveal the constituents and structure of metals and their alloys by means of a light optical or scanning electron microscope. In special cases, the objective of the examination may require the development of less detail than in other cases but, under nearly all conditions, the proper selection and preparation of the specimen is of major importance. Because of the diversity in available equipment and the wide variety of problems encountered, the following text presents for the guidance of the metallographer only those practices which experience has shown are generally satisfactory; it cannot and does not describe the variations in technique required to solve individual specimen preparation problems.

NOTE 1—For a more extensive description of various metallographic techniques, refer to Samuels, L. E., *Metallographic Polishing by Mechanical Methods*, American Society for Metals (ASM) Metals Park, OH, 3rd Ed., 1982; Petzow, G., *Metallographic Etching*, ASM, 1978; and VanderVoort, G., *Metallography: Principles and Practice*, McGraw Hill, NY, 2nd Ed., 1999.

1.2 *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:

- A 90/A 90M Standard Test Method for Weight (Mass) of Coating on Iron and Steel with Zinc or Zinc-Alloy Coatings
- E 7 Terminology Relating to Metallography<sup>2</sup>
- E 45 Practice for Determining the Inclusion Content of Steel<sup>2</sup>
- E 340 Test Method for Macroetching Metals and Alloys<sup>2</sup>
- E 407 Test Methods for Microetching Metals and Alloys<sup>2</sup>
- E 768 Practice for Preparing and Evaluating Specimens for Automatic Inclusion Assessment of Steel<sup>2</sup>

- E 1077 Test Method for Estimating the Depth of Decarburization of Steel Specimens<sup>2</sup>
- E 1122 Practice for Obtaining JK Inclusion Ratings Using Automatic Image Analysis<sup>2</sup>
- E 1245 Practice for Determining the Inclusion or Second-Phase Constituent Content of Metals by Automatic Image Analysis<sup>2</sup>
- E 1268 Practice for Assessing the Degree of Banding or Orientation of Microstructures<sup>2</sup>
- E 1558 Guide to Electrolytic Polishing of Metallographic Specimens<sup>2</sup>
- E 1920 Guide for Metallographic Preparation of Thermal Sprayed Coatings<sup>2</sup>

#### 3. Terminology

##### 3.1 Definitions:

3.1.1 For definitions used in this practice, refer to Terminology E 7.

##### 3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 *castable mount*—a metallographic mount generally made from a two component castable plastic. One component is the resin and the other hardener. Both components can be liquid or one liquid and a powder. Castable mounts generally do not require heat and pressure to cure.

3.2.2 *compression mount*—a metallographic mount made using plastic that requires both heat and pressure for curing.

3.2.3 *planar grinding*—is the first grinding step in a preparation procedure used to bring all specimens into the same plane of polish. It is unique to semi or fully automatic preparation equipment that utilize specimen holders.

3.2.4 *rigid grinding disc*—a non-fabric support surface, such as a composite of metal/ceramic or metal/polymer charged with an abrasive (usually 6 to 15 $\mu$ m diamond particles), and used as the fine grinding operation in a metallographic preparation procedure.

#### 4. Significance and Use

4.1 Microstructures have a strong influence on the properties and successful application of metals and alloys. Determination and control of microstructure requires the use of metallographic examination.

4.2 Many specifications contain a requirement regarding microstructure; hence, a major use for metallographic examination is inspection to ensure that the requirement is met. Other

<sup>1</sup> This guide is under the jurisdiction of ASTM Committee E04 on Metallography and is the direct responsibility of Subcommittee E04.01 on Sampling, Specimen Preparation, and Photography.

Current edition approved April 10, 2001. Published July 2001. Originally published as E 3 – 21 T. Last previous edition E 3 – 95.

<sup>2</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.



major uses for metallographic examination are in failure analysis, and in research and development.

4.3 Proper choice of specimen location and orientation will minimize the number of specimens required and simplify their interpretation. It is easy to take too few specimens for study, but it is seldom that too many are studied.

## 5. Selection of Metallographic Specimens

5.1 The selection of test specimens for metallographic examination is extremely important because, if their interpretation is to be of value, the specimens must be representative of the material that is being studied. The intent or purpose of the metallographic examination will usually dictate the location of the specimens to be studied. With respect to purpose of study, metallographic examination may be divided into three classifications:

5.1.1 *General Studies or Routine Work*—Specimens should be chosen from locations most likely to reveal the maximum variations within the material under study. For example, specimens could be taken from a casting in the zones wherein maximum segregation might be expected to occur as well as specimens from sections where segregation could be at a minimum. In the examination of strip or wire, test specimens could be taken from each end of the coils.

5.1.2 *Study of Failures*—Test specimens should be taken as closely as possible to the fracture or to the initiation of the failure. Before taking the metallographic specimens, study of the fracture surface should be complete, or, at the very least, the fracture surface should be documented. In many cases, specimens should be taken from a sound area for a comparison of structures and properties.

5.1.3 *Research Studies*—The nature of the study will dictate specimen location, orientation, etc. Sampling will usually be more extensive than in routine examinations.

5.2 Having established the location of the metallographic samples to be studied, the type of section to be examined must be decided.

5.2.1 For a casting, a section cut perpendicular to the surface will show the variations in structure from the outside to the interior of the casting.

5.2.2 In hot-worked or cold-worked metals, both transverse and longitudinal sections should be studied. Special investigations may require specimens with surfaces prepared parallel to the original surface of the product.

5.2.3 In the case of wire and small rounds, a longitudinal section through the center of the specimen proves advantageous when studied in conjunction with the transverse section.

5.3 Transverse sections or cross sections taken perpendicular to the main axis of the material are often used for revealing the following information:

5.3.1 Variations in structure from center to surface,

5.3.2 Distribution of nonmetallic impurities across the section,

5.3.3 Decarburization at the surface of a ferrous material (see Test Method E 1077),

5.3.4 Depth of surface imperfections,

5.3.5 Depth of corrosion,

5.3.6 Thickness of protective coatings, and

5.3.7 Structure of protective coating.

5.4 Longitudinal sections taken parallel to the main axis of the material are often used for revealing the following information:

5.4.1 Inclusion content of steel (see Practices E 45, E 768, E 1122, and E 1245),

5.4.2 Degree of plastic deformation, as shown by grain distortion,

5.4.3 Presence or absence of banding in the structure (see Practice E 1268), and

5.4.4 The microstructure attained with any heat treatment.

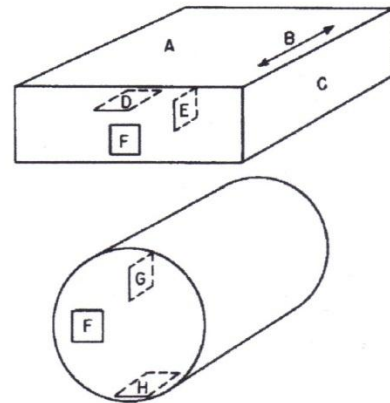
5.5 The locations of surfaces examined should always be given in reporting results and in any illustrative micrographs. A suitable method of indicating surface locations is shown in Fig. 1.

## 6. Size of Metallographic Specimens

6.1 For convenience, specimens to be polished for metallographic examination are generally not more than about 12 to 25 mm (0.5 to 1.0 in.) square, or approximately 12 to 25 mm in diameter if the material is cylindrical. The height of the specimen should be no greater than necessary for convenient handling during polishing.

6.1.1 Larger specimens are generally more difficult to prepare.

6.1.2 Specimens that are, fragile, oddly shaped or too small to be handled readily during polishing should be mounted to ensure a surface satisfactory for microscopical study. There are, based on technique used, three fundamental methods of mounting specimens (see Section 9).



Symbol in Diagram	Suggested Designation
A	Rolled surface
B	Direction of rolling
C	Rolled edge
D	Planar section
E	Longitudinal section perpendicular to rolled surface
F	Transverse section
G	Radial longitudinal section
H	Tangential longitudinal section

FIG. 1 Method of Designating Location of Area Shown in Photomicrograph.



## 7. Cutting of Metallographic Specimens

7.1 In cutting the metallographic specimen from the main body of the material, care must be exercised to minimize altering the structure of the metal. Three common types of sectioning are as follows:

7.1.1 Sawing, whether by hand or machine with lubrication, is easy, fast, and relatively cool. It can be used on all materials with hardnesses below approximately 350 HV. It does produce a rough surface containing extensive plastic flow that must be removed in subsequent preparation.

7.1.2 An abrasive cut-off blade will produce a smooth surface often ready for fine grinding. This method of sectioning is normally faster than sawing. The choice of cut-off blade, lubricant, cooling conditions, and the grade and hardness of metal being cut will influence the quality of the cut. A poor choice of cutting conditions can easily damage the specimen, producing an alteration of the microstructure. Generally, soft materials are cut with a hard bond blade and hard materials with a soft bond blade. Aluminum oxide abrasive blades are preferred for ferrous metals and silicon carbide blades are preferred for nonferrous alloys. Abrasive cut-off blades are essential for sectioning metals with hardness above about 350 HV. Extremely hard metallic materials and ceramics may be more effectively cut using diamond-impregnated cutting blades. Manufacturer's instructions should be followed as to the choice of blade. Table 1 lists the suggested cutoff blades for materials with various Vickers (HV) hardness values.

7.1.3 A shear is a type of cutting tool with which a material in the form of wire, sheet, plate or rod is cut between two opposing blades.

7.2 Other methods of sectioning are permitted provided they do not alter the microstructure at the plane of polishing. All cutting operations produce some depth of damage, which will have to be removed in subsequent preparation steps.

## 8. Cleanliness

8.1 Cleanliness (see Appendix X1) during specimen preparation is essential. All greases, oils, coolants and residue from cutoff blades on the specimen should be removed by some suitable organic solvent. Failure to clean thoroughly can prevent cold mounting resins from adhering to the specimen surface. Ultrasonic cleaning may be effective in removing the last traces of residues on a specimen surface.

8.2 Any coating metal that will interfere with the subsequent etching of the base metal should be removed before

polishing, if possible. If etching is required, when studying the underlying steel in a galvanized specimen, the zinc coating should be removed before mounting to prevent galvanic effects during etching. The coating can be removed by dissolving in cold nitric acid ( $\text{HNO}_3$ , sp gr 1.42), in dilute sulfuric acid ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) or in dilute hydrochloric acid (HCl). The  $\text{HNO}_3$  method requires care to prevent overheating, since large samples will generate considerable heat. By placing the cleaning container in cold water during the stripping of the zinc, attack on the underlying steel will be minimized. More information may be found in Test Method A 90/A 90M.

NOTE 2—Picral etchant produces little or no galvanic etching effects when used on galvanized steel.

NOTE 3—The addition of an inhibitor during the stripping of Zn from galvanized coatings will minimize the attack of the steel substrate. NEP (poethylinepolyamine) or  $\text{SbCl}_3$  are two useful inhibitors.

8.3 Oxidized or corroded surfaces may be cleaned as described in Appendix X1.

## 9. Mounting of Specimens

9.1 There are many instances where it will be advantageous to mount the specimen prior to grinding and polishing. Mounting of the specimen is usually performed on small, fragile, or oddly shaped specimens, fractures, or in instances where the specimen edges are to be examined.

9.2 Specimens may be either mechanically mounted, mounted in plastic, or a combination of the two.

### 9.3 Mechanical Mounting:

9.3.1 Strip and sheet specimens may be mounted by binding or clamping several specimens into a pack held together by two end pieces and two bolts.

9.3.2 The specimens should be tightly bound together to prevent absorption and subsequent exudation of polishing materials or etchants.

9.3.3 The use of filler sheets of a softer material alternated with the specimen may be used in order to minimize the seepage of polishing materials and etchants. Use of filler material is especially advantageous if the specimens have a high degree of surface irregularities.

9.3.4 Filler material *must* be chosen so as not to react electrolytically with the specimen during etching. Thin pieces of plastic, lead, or copper are typical materials that are used. Copper is especially good for steel specimens since the usual etchants for steels will not attack the copper.

9.3.5 Alternatively, the specimens may be coated with a layer of epoxy resin before being placed in the clamp in order to minimize the absorption of polishing materials or etchants.

9.3.6 The clamp material should be similar in composition to the specimen to avoid galvanic effects that would inhibit etching. The specimen will not etch if the clamp material is more readily attacked by the etchant.

9.3.7 The clamp should preferably be of similar hardness as the specimens to minimize the rounding of the edges of the specimens during grinding and polishing.

9.3.8 Exercise care in clamping the specimen. Excessive clamping pressure may damage soft specimen.

### 9.4 Plastic Mounting:

9.4.1 Specimens may be embedded in plastic to protect them from damage and to provide a uniform format for both

TABLE 1 Cutoff Blade Selection

Hardness HV	Materials	Abrasive	Bond	Bond Hardness
up to 300	non-ferrous (Al, Cu)	SiC	P or R	hard
up to 400	non-ferrous (Ti)	SiC	P or R	med. hard
up to 400	soft ferrous	$\text{Al}_2\text{O}_3$	P or R	hard
up to 500	medium soft ferrous	$\text{Al}_2\text{O}_3$	P or R	med. hard
up to 600	medium hard ferrous	$\text{Al}_2\text{O}_3$	P or R	medium
up to 700	hard ferrous	$\text{Al}_2\text{O}_3$	P or R&R	med. soft
up to 800	very hard ferrous	$\text{Al}_2\text{O}_3$	P or R&R	soft
> 800	extremely hard ferrous	CBN	P or M	hard
	more brittle ceramics	diamond	P or M	very hard
	tougher ceramics	diamond	M	ext. hard

P—phenolic  
R—rubber  
R&R—resin and rubber  
M—metal



manual and automatic preparation. This is the most common method for mounting metallographic specimens. Mounting plastics may be divided into two classes—compression and castable.

9.4.2 The choice of a mounting compound will influence the extent of edge rounding observed during the grinding and polishing operations. There are several methods available that minimize rounding. The specimen may be surrounded by hard shot, small rivets, rings, etc., of approximately the same hardness or, when using a castable resin, a slurry of resin and alumina may be poured around the specimen. The specimen may also be plated before mounting (see Section 10). Many mounting procedures result in sharp edges on the mount corners. The corners should be beveled to remove any plastic mounting flash.

9.4.3 *Compression Mounting*—There are four types of compression mounting plastics used predominantly in the metallographic laboratory (see Table 2). These plastics require the use of a mounting press providing heat (140-180°C) and force (27-30 MPa). Thermosetting plastics can be ejected hot but the best results are obtained when the cured mount is cooled under pressure. Thermoplastic compounds do not harden until cooled and therefore should not be ejected while hot. Regardless of the resin used, the best results are obtained when (1) the specimen is clean and dry, and (2) the cured mount is cooled under full pressure to below 40°C before ejection from the press. This will ensure minimal shrinkage gap formation.

9.4.4 *Castable Plastics*—Castable mounts are usually prepared at room temperature. Some may require an external heat source or applied pressure in order to cure. These resins consist of two or more components which must be mixed just prior to use. There are four kinds of castable plastics in common use (see Table 3).

9.4.5 The molds for castable plastics are often simple cups that hold the resin until it cures. They may be reusable or not; the choice is a matter of convenience and cost. Handling castable resins requires care. They all can cause dermatitis. Manufacturers' recommendations for mixing and curing must be followed to obtain best results.

#### 9.5 *Mounting Porous Specimen:*

9.5.1 Porous or intricate specimens may be vacuum impregnated in order to fill voids, prevent contamination and seepage, and prevent loss of friable or loose components. Impregnation is accomplished by placing the specimen in a mold in a vacuum chamber and then introducing the resin into the mold after the chamber has been evacuated. The introduction of the resin into the mold can be accomplished either by having a funnel or stopcock fitted to the vacuum chamber or by having a basin of the resin present inside the chamber. A low-viscosity resin will produce the best results. The pressure in the chamber must remain above the critical vapor pressure of the hardener to

avoid boiling away the hardener. After the pressure has equilibrated, the resin is introduced into the mold and the vacuum is released and air admitted to the chamber. Atmospheric pressure will force the resin into fine pores, cracks, and holes.

9.5.2 If a low-viscosity resin is used, the funnel and stopcock may be eliminated. The specimen and resin are placed in the mold prior to evacuation. The air in the specimen will bubble out through the resin. Exercise care to ensure the hardening agent is not evaporated during evacuation. Dipping the specimen in the resin prior to placing it in the mold may help in filling voids.

9.5.3 Vacuum impregnation is an effective method for ensuring optimal results for porous metallographic mounts. It is imperative that the specimens be completely dry prior to impregnation.

9.5.4 A more rapid technique but less effective method is to lacquer the specimens with one of the formulations used by the canning industry to line food containers. The formulations are highly penetrating and the cure is a short time at low temperatures. After lacquering, the specimens are mounted in the usual fashion.

## 10. *Plating of Specimens*

10.1 Specimens such as fractures or those where it is necessary to examine the edges, are often plated to obtain good edge retention. Plating can be done electrolytically or with electroless solutions. These specimens are invariably mounted prior to the grinding and polishing procedures. Electroless plating solutions can be purchased commercially.

10.2 Thoroughly clean the specimen surface prior to plating to ensure good adhesion of the plating. Avoid industrial cleaning treatments that are too harsh and may cause damage to the specimen surface. Milder cleaning treatments that involve detergents, solvents, mild alkaline, or acidic solutions are recommended.

10.3 Chromium, copper, iron, nickel, gold, silver, and zinc may be electrolytically deposited although copper and nickel are predominantly used in metallographic laboratories.

10.3.1 Ferrous metals are commonly plated electrolytically with nickel or copper. A flash coat in a copper or electroless nickel bath can be first applied for specimens that are difficult to electroplate.

10.3.2 Nonferrous metals may be plated with silver and the precious metals may be plated with nickel, gold, or silver.

10.4 The plating material should not react galvanically with the base metal of the specimen during plating, polishing, or etching.

10.5 Electroless plating is preferred to electrolytic plating

TABLE 2 Characteristics of Hot-Compression Mounting Compounds

Type of Compound	Characteristics
Acrylic	thermoplastic, cure time 10-15 min, optically clear, moderate shrinkage, low abrasion resistance, degraded by hot etchants
Diallyl phthalate <sup>A</sup>	thermosetting, cure time 5-10 min, opaque, minimal shrinkage, good resistance to etchants, moderate abrasion resistance
Epoxy <sup>A</sup>	thermosetting, cure time 5-10 min, opaque, very low shrinkage, good resistance to etchants, high abrasion resistance
Phenolic <sup>A</sup> (Bakelite)	thermosetting, cure time 5-10 min, opaque, moderate shrinkage, degraded by hot etchants, moderate abrasion resistance

<sup>A</sup> These compounds may be filled with wood flour, glass fiber or mineral particulate.



TABLE 3 Characteristics of Castable Mounting Compounds

Type of Compound	Characteristics
Acrylic	Cure time 8-15 min, moderate shrinkage, peak curing temperature can reach 90-120°C during polymerization, low abrasion resistance, opaque to transparent
Polyester-acrylic (quartz-filled)	Cure time 8-15 min, very low shrinkage, peak curing temperature can reach 90-120°C during polymerization, high abrasion resistance, opaque
Polyester	Cure time 30-60 min, high shrinkage, peak curing temperature can reach 90-120 C during polymerization, moderate abrasion resistance, transparent
Epoxy	Cure time ½-20 h, very low shrinkage, good adhesion, low heat generation during polymerization, moderate abrasion resistance, low viscosity (good for vacuum impregnation), transparent

for specimens with rough, porous, or irregular surfaces, because the electroless solution provides better surface coverage and penetration.

10.6 Active metals such as zinc and aluminum are difficult to plate. Sometimes a flash cyanide copper plate can be deposited, which then can be followed by normal plating from a sulfate bath. Evaporated coatings of copper, gold, or chromium may also be used as starter coatings.

10.7 It is recommended that the plating thickness be at least 5µm.

## 11. Grinding and Polishing

### General Information

11.1 Many metals and alloys can be prepared using a similar sequence of grinding and polishing. Hard alloys may require greater pressure than soft alloys. The major differences will be in the final polishing. Some metals and alloys will require specific combinations of abrasive and support material, but a surprising number can be handled by the same procedure. Supplies and instructions for grinding, lapping, and polishing are readily obtainable from laboratory supply houses.

11.2 *Grinding*—Grinding can be done in a number of ways, ranging from rubbing the specimen on a stationary piece of abrasive paper to the use of automatic devices. The choice of method depends on the number and type of specimens to be done, financial considerations and requirements such as flatness and uniformity.

11.2.1 Abrasive grit size designations in this practice are expressed in the ANSI (American National Standards Institute) or CAMI (Coated Abrasives Manufacturers Institute) system units with the corresponding FEPA (European Federation of Abrasive Producers) numbers in parentheses. Table 4 provides a correlation between these two systems and the approximate median particle diameter for a given size in micrometres.

11.2.2 Grinding should start with the finest paper, platen or stone capable of flattening the specimen and removing the effects of prior operations, such as sectioning. The subsequent steps should remove the effects of previous ones in a short time. Grinding consists of two stages— planar (rough) and fine.

11.2.3 Planar or rough grinding [240 grit (P220) and coarser] may be performed on belts, rotating wheels or stones. In some methods, diamond abrasives are used on rigid platens. Planar grinding may be used to accomplish the following:

11.2.3.1 Flatten an irregular or damaged cut surface,

11.2.3.2 Remove sectioning damage, scale and other surface conditions prior to mounting,

11.2.3.3 Remove substantial amounts of specimen material to reach a desired plane for polishing,

TABLE 4 European/USA Grit Grade Comparison Guide

Grit Number	FEPA		ANSI/CAMI	
		Size (µm)	Grit Number	Size (µm)
P120		125.0	120	116.0
P150		100.0	180	78.0
P220		68.0	220	66.0
P240		58.5	...	...
P280		52.2	240	51.8
P320		46.2	...	...
P360		40.5	280	42.3
P400		35.0	320	34.3
P500		30.2	...	...
P600		25.8	360	27.3
P800		21.8	400	22.1
P1000		18.3	500	18.2
P1200		15.3	600	14.5
P1500		12.6	800	11.5
P2000		10.3	1000	9.5
P2500		8.4	1500	8.0
P4000 <sup>a</sup>		5.0	...	...

<sup>a</sup> Not found in the FEPA grading system.

ANSI—American National Standards Institute

CAMI—Coated Abrasives Manufacturers Institute

FEPA—European Federation of Abrasive Producers

11.2.3.4 Level the mount surface.

11.2.4 In fine grinding, damage to the specimen incurred from the planar or rough grinding step must be removed. The specimen is either ground on successively finer abrasive papers (using water to wash away grinding debris and to act as a coolant) or on a rigid disc or cloth charged with a suitable abrasive.

11.2.5 After all grinding is done, the specimen must be cleaned thoroughly. Ultrasonic cleaning in a water/soap solution containing a corrosion inhibitor may prove beneficial.

11.3 *Polishing*—Polishing is usually distinguished from grinding by the use of loose abrasive ( $\leq 6\mu\text{m}$ ) embedded in an appropriately lubricated supporting surface. The choice of abrasive, lubricant, and polishing surface support is often specific to the metal and the object of the investigation. Polishing can be divided into rough and fine (final) stages.

11.3.1 Rough polishing is often sufficient for routine evaluations like microindentation hardness and grain size.

11.3.2 When fine polishing is required, it may be performed with diamond or an oxide slurry step or both. The choice of final polishing abrasive type and size is dictated by the hardness of the specimen. For instance, a 1µm diamond final polish is often sufficient for many grades of steel, however, softer steels and non-ferrous materials often require an additional polishing step with an oxide slurry or suspension of SiO<sub>2</sub> or Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Final polishing cloths are generally softer and higher in nap than rough polishing cloths. Therefore, polishing time and force must be kept to a minimum to avoid artifacts such as



edge rounding and relief.

11.3.3 Careful cleaning of the specimen between stages is mandatory to prevent contamination by coarser abrasive. Ultrasonic cleaning may be effective.

11.3.4 The polishing operations may be conducted by manual or by automated methods (preferred).

#### Manual (Hand-held) Methods

11.4 When grinding manually, the specimen should be moved back and forth across the paper to allow for even wear. Between grinding steps, the specimen should be rotated 45–90°. At the end of grinding on each paper, the surface of the specimen and its mount, if any, should be flat with one set of unidirectional grinding scratches.

11.5 Manual polishing methods consist of holding the specimen by hand against an abrasive-charged rotating wheel and moving the specimen in a circular path around the wheel against the direction of rotation of the wheel. The specimen should be held firmly in contact with the wheel.

11.6 The amount of force applied along with the rate of movement of the specimen during grinding and polishing is a matter of personal preference and experience. In the preparation of difficult materials such as thermally sprayed coatings or composites, the operating parameters must be strictly controlled.

11.7 A traditional manual preparation sequence consists of a series of grinding and polishing steps and may be similar to those listed in Table 5.

#### Automated Methods

11.8 Many styles of automated specimen preparation machinery are available. Most units can perform grinding and polishing steps. Many use holders capable of accommodating multiple specimens. Major advantages of automated grinding and polishing procedures are the consistent quality of specimen preparation and the substantial decrease in time. Therefore, automated techniques are recommended over manual techniques.

11.9 Most of the devices for automated grinding and polishing move the specimen around a rotating wheel covered

with abrasive so that the specimen follows an epicycloid path. In some devices, the specimen rotates on its own axis as well. The resulting scratch pattern now consists of randomly oriented arcs. Deciding when the previous scratches have been removed is more difficult than with directional (manual) grinding. The specimen surface should show uniform scratches before proceeding to the next step. Cleaning between stages is required to prevent carryover of abrasives and contamination of subsequent preparation surfaces.

11.10 Table 5 illustrates a traditional automated preparation method. This method uses conventional SiC papers for grinding and is suitable for all but the hardest of materials. Tables 6 and 7 are preparation methods that utilize rigid grinding discs or cloths for fine grinding. The method in Table 6 has been shown to be effective for the preparation of materials harder than HRC45. The method in Table 7 may be used for the preparation of materials softer than HRC45. These procedures may produce excellent results outside of the recommended hardness ranges.

#### 12. Special Procedures

12.1 Occasionally, the metallographer is faced with the preparation of unfamiliar specimens or with special situations. Anticipation of every possible situation is, of course, impossible but some guidance can be offered.

12.1.1 When used properly, electrolytic polishing can produce near deformation-free surfaces but works best on solid solution alloys. Once the operating parameters are set, specimens can be prepared quickly. See Guide E 1558.

12.1.2 Vibratory polishing produces excellent results on many materials. Although slow, a number of specimens can be prepared simultaneously. It is especially advantageous for soft materials.

12.2 *Porous Specimens*—Specimens with continuous or open pores can be vacuum-impregnated (see 9.5) with epoxy. Specimens with closed pores are mounted by a suitable method, ground through the fine grinding stage, cleaned, and dried thoroughly. The surface is then wiped with epoxy mounting compound, usually the same material used to mount the specimen, to seal the pores. After hardening, the last

TABLE 5 Preparation Method 1 (General Use)

Surface	Lubricant	Abrasive Type/Size ANSI (FEPA)	Time sec.	Force <sup>A</sup> N(lbf)	Platen RPM <sup>B</sup>	Rotation
Planar Grinding paper/stone	water	120–320 (P120–400) grit SiC/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15–45	20–30 (5–8)	200–300 <sup>C</sup>	CO <sup>D</sup>
Fine Grinding paper	water	240 (P220) grit SiC	15–45	20–30 (5–8)	200–300	CO
paper	water	320 (P500) grit SiC	15–45	20–30 (5–8)	200–300	CO
paper	water	600 (P1200) grit SiC	15–45	20–30 (5–8)	200–300	CO
Rough Polishing low/no nap cloth	compatible lubricant	6µm diamond	120–300	20–30 (5–8)	100–150	CO
Final Polishing med./high nap cloth	compatible lubricant	1µm diamond	60–120	10–20 (3–5)	100–150	CO
synthetic suede <sup>E</sup>	water	0.04µm colloidal silica or 0.05µm alumina	30–60	10–20 (3–5)	100–150	CONTRA <sup>F</sup>

<sup>A</sup> Force per 30 mm (1¼ in.) diameter mount.

<sup>B</sup> Power heads generally rotate between 25 and 150 rpm.

<sup>C</sup> High-speed stone grinders generally rotate at greater than 1000 rpm.

<sup>D</sup> Complimentary rotation, surface and specimen rotate in same direction.

<sup>E</sup> Optional step.

<sup>F</sup> Contra rotation, surface and specimen rotate in opposite directions.



TABLE 6 Preparation Method 2 for Harder Materials  $\geq$  HRC 45 (450 HV)

Surface	Lubricant	Abrasive Type/Size ANSI (FEPA)	Time sec.	Force <sup>A</sup> N(lbf)	Platen RPM <sup>B</sup>	Rotation
Planar Grinding paper/stone	water	120–320 (P120–400) grit SiC/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15–45	20–30 (5–8)	200–300 <sup>C</sup>	CO <sup>D</sup>
Fine Grinding rigid disc	compatible lubricant	6–15 $\mu$ m diamond	180–300	20–30 (5–8)	100–150	CO
Rough Polishing low/no nap cloth	compatible lubricant	3–6 $\mu$ m diamond	120–300	20–30 (5–8)	100–150	CO
Final Polishing med./high nap cloth	compatible lubricant	1 $\mu$ m diamond	60–120	10–20 (3–5)	100–150	CO
synthetic suede <sup>E</sup>	water	0.04 $\mu$ m colloidal silica or 0.05 $\mu$ m alumina	30–60	10–20 (3–5)	100–150	CONTRA <sup>F</sup>

<sup>A</sup> Force per 30 mm (1¼ in.) diameter mount.

<sup>B</sup> Power heads generally rotate between 25 and 150 rpm.

<sup>C</sup> High-speed stone grinders generally rotate at greater than 1000 rpm.

<sup>D</sup> Complimentary rotation, surface and specimen rotate in same direction.

<sup>E</sup> Optional step.

<sup>F</sup> Contra rotation, surface and specimen rotate in opposite directions.

TABLE 7 Preparation Method 3 for Softer Materials  $\leq$  HRC 45 (450 HV)

Surface	Lubricant	Abrasive Type/Size ANSI (FEPA)	Time sec.	Force <sup>A</sup> N(lbf)	Platen RPM <sup>B</sup>	Rotation
Planar Grinding paper/stone	water	120–320 (P120–400) grit SiC/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15–45	20–30 (5–8)	200–300 <sup>C</sup>	CO <sup>D</sup>
Fine Grinding heavy nylon cloth	compatible lubricant	6–15 $\mu$ m diamond	180–300	20–30 (5–8)	100–150	CO
Rough Polishing low/no nap cloth	compatible lubricant	3–6 $\mu$ m diamond	120–300	20–30 (5–8)	100–150	CO
Final Polishing med./high nap cloth	compatible lubricant	1 $\mu$ m diamond	60–120	10–20 (3–5)	100–150	CO
synthetic suede <sup>E</sup>	water	0.04 $\mu$ m colloidal silica or 0.05 $\mu$ m alumina	30–60	10–20 (3–5)	100–150	CONTRA <sup>F</sup>

<sup>A</sup> Force per 30 mm (1¼ in.) diameter mount.

<sup>B</sup> Power heads generally rotate between 25 and 150 rpm.

<sup>C</sup> High-speed stone grinders generally rotate at greater than 1000 rpm.

<sup>D</sup> Complimentary rotation, surface and specimen rotate in same direction.

<sup>E</sup> Optional step.

<sup>F</sup> Contra rotation, surface and specimen rotate in opposite directions.

fine-grinding stage is repeated to remove the excess material, and specimen preparation is continued as usual. The choice of epoxy for impregnation depends on the nature of the specimen. It should be inert toward the specimen.

12.3 *Composite Materials*—Composite materials, particularly hard fibers in a soft matrix or wires in a soft insulation, can be particularly difficult to prepare. The best approach is to first seal or impregnate pores or holes. Then grind carefully, using copious lubrication. The grinding surface must be kept flat and firm. In the polishing stages, the substrate should have no nap and should be fairly hard. Diamond abrasive is recommended. Both will minimize rounding of the hard components. Sometimes, a compromise will have to be made between accepting a few artifacts such as scratches or rounded edges.

#### 12.4 *Coated Materials*:

12.4.1 Coated metals, such as galvanized steel, electroplated metal, enamel ware, and so forth, can be considered a variety of composite materials. They present problems of their own, such as flaking, chipping, and rounding. For example, some coatings are so thin as to be unresolvable on simple cross sections (tinplate). Other problems are the presence of a soft coating on a harder substrate (galvanized steel) or a hard brittle coating on a soft substrate (porcelain enamel on aluminum).

12.4.1.1 The problem of thin coatings can be handled by using a taper mount. In this method, the specimen is mounted so that the plane of polish is at a small angle to the plane of the surface. For example, a tapered plug is inserted in the mounting press with the taper up. A blank tapered mount is prepared. Masking tape is wrapped around the circumference of the mount to make a well on the tapered end. A small amount of epoxy mounting compound is mixed. The specimen, cut to fit inside the well, is wetted with the epoxy and laid on the face of the tapered mount, coated side up. Using a probe, the specimen is pressed down firmly onto the tapered face. The balance of the epoxy compound is added and allowed to harden. The mounted specimen is ground and polished on the epoxy face in the conventional manner exercising care that the plane of polish is perpendicular to the cylindrical axis of the mount. This is easily done with most automatic grinding machines.

12.4.1.2 The problem of soft coatings can be solved by the use of a suitable backup. A piece of spring steel is useful to hold the backup in place, or the backup may be cemented to the specimen. The cement can act as an insulation to minimize galvanic effects. Caution: some cements will dissolve in epoxy mounting compounds. A particularly suitable backup is another piece of the same material, with the coating sandwiched in. Another solution is to add another coating, for example,



electroplate. However, this may introduce undesirable galvanic effects during etching. Galvanic problems may arise also from the interaction of the coating and its substrate. The mounting procedure used must result in excellent adhesion to the coated surface to minimize edge rounding. If edge rounding persists, the polishing time and applied force may have to be decreased.

12.4.1.3 Hard coatings on softer substrates can be mounted with a backup piece or a hard-filled mounting compound. Diamond abrasives on a napless cloth will minimize surface relief during polishing.

12.5 Fragile specimens should be mounted in one of the castable mounting formulations. Vacuum impregnation will ensure filling of holes and cavities (see 9.5). Thin walls can be reinforced by electroless nickel plating, which will alleviate the rounding problem.

12.6 Likewise, friable specimens can be bound together by impregnation with plastic or by electroless nickel plating, or both. Further guidance can be found in texts on preparation of mineralogical specimens.

### 13. Precision and Bias

13.1 Because use of this practice does not produce numerical results, no statement of precision or bias is possible.

### 14. Keywords

14.1 alloys; grinding; metallography; metals; mounting; polishing; sectioning; specimen preparation (metallographic)

## APPENDIXES

### (Nonmandatory Information)

#### X1. CLEANING SPECIMENS

X1.1 Metallographers frequently need to clean specimens. In some instances, the adherent debris, oxidation, or corrosion product must be collected for analysis, for example, by X-ray diffraction. In other cases, the adherent matter is of no interest, it merely needs to be removed. If the underlying surface is of no interest, the surface can be shot blasted, wire brushed, or ground. However, if the underlying surface is important, for example, a fracture surface, then the cleaning operation must do as little damage as possible. These different aims of the cleaning operation must be kept in mind before formulating the cleaning program.

X1.2 When the adherent material is to be analyzed, a variety of procedures may be applied depending upon whether or not the underlying surface can or cannot be damaged.

X1.2.1 In the case of debris or corrosion product on the surface of a part, a stylus, scalpel, or other sharp object can be used to scrape off or pry off enough material for analysis. This will do some damage to the surface, but it will be localized.

X1.2.2 As an alternative, use cellulose acetate replicating tape to remove surface debris by the extraction replica approach. A number of approaches have been developed and are described in STP 547<sup>3</sup> as well as in many textbooks on electron microscopy. Generally, thick (0.127 mm or 0.005 in.) tape is employed. One surface is moistened with acetone and then pressed against the debris-coated surface. After it dries, strip off the tape in the same way as you would remove adhesive tape. The debris will adhere to the tape.

X1.3 When the surface is to be examined, but the adherent debris will not be analyzed, several approaches can be used. Always try the simplest, safest methods first. For example, use

a blast of compressed air to remove any loosely adherent material. A soft camel-hair brush or a soft toothbrush may also be useful for removing loosely adherent matter.

X1.3.1 If the techniques in X1.3 do not suffice, try aqueous solutions, organic solvents, or alcohol with an ultrasonic cleaner. Aqueous solutions (8 g of Alconox per litre of warm water) containing Alconox<sup>4</sup>, a detergent, have been found (1, 2) to be effective. Follow the Alconox bath with rinsing under running water, then dry. Organic solvents, such as acetone, ethyl methyl ketone, toluene, xylene, or alcohol (ethanol is preferable to methanol because of potential health problems with the latter) are also very effective. Before choosing one of these solutions, be sure that it will not adversely affect the material being cleaned. Avoid use of chlorinated organic solvents (such as trichlorethylene or carbon tetrachloride) due to their carcinogenic nature. Repeated replication, as described in X1.2.2, is an effective method for cleaning fractures (3, 4).

X1.3.2 When the procedures in X1.3 and X1.3.1 are unsuccessful, more drastic methods are required. Electrolytic cleaning solutions (Table X1.1), have been found to be quite useful. An inert material (stainless steel, graphite, or platinum, for example) is used as an anode, while the specimen is the cathode in the electrolytic cell. Some of these solutions can generate dangerous fumes, hence they should be used under a hood with care. Endox 214<sup>5</sup> has been found (1) to be useful for cleaning heavily rusted steel fractures.

X1.3.3 Cathodic cleaning solutions or acid-inhibited baths have also been employed to clean fractures (3, 5). However, as the degree of corrosion or oxidation increases, fracture features will be destroyed to a greater extent and cleaning, while it can

<sup>3</sup> "Manual Electron Metallography Techniques," 1973. Available from ASTM Headquarters. Request STP 547.

<sup>4</sup> Alconox is available from Alconox, Inc., New York, NY 10003. An equivalent can be used.

<sup>5</sup> Endox 214 is available from Enthone, Inc., West Haven, CT 06516. An equivalent can be used.



TABLE X1.1 Cleaning Solutions for Use When Standard Methods Are Inadequate

6N HCl plus 2 g/L Hexamethylene tetramine <sup>A</sup>	Immerse specimen in solution for 1 to 15 min. Good for steels. Cleaning action can be enhanced by light brushing or by brief (5 s) periods in an ultrasonic cleaner.
3 mL HCl 4 mL 2-Butyne-1, 4 diol inhibitor 50 mL water <sup>B</sup>	Use a fresh solution at room temperature. Use in an ultrasonic cleaner for about 30 s.
49 mL water 49 mL HCl 2 mL Rodine-50 inhibitor <sup>C</sup>	Wash specimen in alcohol for 2 min in an ultrasonic cleaner before and after a 2-min ultrasonic cleaning period with the inhibited acid bath.
6 g sodium cyanide 6 g sodium sulphite 100 mL distilled water <sup>DEF</sup>	Electrolytic rust removal solution. Use under a hood with care. Use 100-mA/cm <sup>2</sup> current density for up to 15 min.
10 g ammonium citrate 100 mL distilled water <sup>G</sup>	Use solution heated to 30°C (86°F).
70 mL orthophosphoric acid 32 g chromic acid 130 mL water <sup>H</sup>	Recommended for removing oxides from aluminum alloy fractures (some sources claim that only organic solvents should be used).
8 oz endox 214 powder 1000 mL cold water (add small amount of Photo-Flo) <sup>I,J</sup>	Use electrolytically at 250-mA/cm <sup>2</sup> current density for 1 min with a Pt cathode to remove oxidation products. Wash in an ultrasonic cleaner with the solution for 1 min. Repeat this cycle several times if necessary. Use under a hood.

<sup>A</sup> deLeiris, H., et al, "Techniques for Removing Rust from Fractures of Steel Parts that are to be Examined by Electron Microfractography," *Mem. Sci. Rev. Met.*, Vol 63, No. 5, May 1966, pp. 463-472.

<sup>B</sup> Dahlberg, E. P., "Techniques for Cleaning Service Failures in Preparation for Scanning Electron Microscope and Microprobe Analysis," *Scanning Electron Microscopy*, 1974, Part IV, pp. 911-918.

<sup>C</sup> Brooks, C. E., and Lundin, C. D., "Rust Removal from Steel Fractures—Effect on Fractographic Evaluation," *Microstructural Science*, Vol 3A, Elsevier, NY, 1975, pp. 21-33.

<sup>D</sup> deLeiris, H., et al, "Techniques for Removing Rust from Fractures of Steel Parts That Are to be Estimated by Electron Microfractography," *Mem. Sci. Rev. Met.*, Vol 63, No. 5, May 1966, pp. 463-472.

<sup>E</sup> Russ, J. C., and Miller, G. A., "Effect of Oxidization on the Electron Fractographic Interpretation of Fractures in Steel," *JISI*, December 1969, pp. 1635-1638.

<sup>F</sup> Pickwick, K. M., and Smith, E., "The Effect of Surface Contamination in SEM Fractographic Investigations," *Micron*, Vol 3, No. 2, 1972, pp. 224-237.

<sup>G</sup> Interrante, C. G., and Hicho, G. E., "Removal of Iron-Sulfide Deposits from Fracture Surfaces," *ASTM STP 610*, 1976, pp. 349-365.

<sup>H</sup> Beachem, C. D., *The Interpretation of Electron Microscope Fractographs*, NRL Report 6360, U.S. Government Printing Office, Jan. 21, 1966.

<sup>I</sup> Yuzawich, P. M., and Hughes, C. W., "An Improved Technique for Removal of Oxide Scale from Fractured Surfaces of Ferrous Materials," *Prakt. Met.*, Vol 15, April 1978, pp. 184-195.

<sup>J</sup> Goubau, B., and Werner, H., "Microfractographic Investigation of Fracture Surfaces Coated With Magnetite," *Prakt. Met.*, Vol 17, No. 5, May 1980, pp. 209-219.

remove the surface deposits, cannot restore damaged fracture features.

X1.3.4 A number of proprietary rust removal solutions have been developed. These are premixed and used directly out of the container. Two such products are described in Refs 6 and 7.

X1.3.5 Cleaning can also be accomplished by argon-ion

bombardment (6) or by use of a glow-discharge method (7, 8). These methods require specialized equipment.

## X2. APPLIED LOAD CONVERSIONS

X2.1 Automated preparation machines commonly display force in either pound-force (lbf) or newtons (N). The ability to convert from one unit to the other may be necessary when trying to interpret a documented procedure.

X2.1.1 To convert from pound-force to newton multiply the pound-force value by 4.5.

X2.1.2 To convert from newton to pound-force multiply the newton value by 0.225.

X2.2 When multiple specimens of equal contact area are held in a holder, the applied force must be divided by the number of specimens in the holder to determine the load per specimen.

X2.2.1 Some automated machines apply force individually to each specimen. In this case it is necessary to divide the force by the contact area to determine the load per specimen.

X2.3 Caution should be taken when using automated machines that display pressure in pound-force per square inch (psi). Typically, the machine is displaying the air pressure within the loading cylinder and not the actual pressure applied to either the specimen holder or individual specimen.

X2.4 When converting from a force to a pressure, the surface area of the specimen(s) must be determined. The value of force is then divided by the contact area to determine the required pressure.



### X3. PROCEDURE IMPROVEMENT

X3.1 To improve the preparation of a particular material, try one of the preparation methods described in Table 5, Table 6, or Table 7. Following are general guidelines that may help improve results.

X3.2 If a material is being prepared for the first time, the surface should be microscopically examined after every step.

X3.3 Before proceeding to the next step, be sure that all deformation and artifacts from the previous step, such as scratches, pull-outs or embedded grains, are completely removed. It is difficult to identify when an artifact was introduced if the specimen is not examined prior to the final step. You must know when the artifact was introduced in order to improve the method.

X3.4 Keep the preparation times as short as possible. Excessive preparation wastes consumables and may introduce artifacts such as relief and edge rounding.

X3.5 New consumables such as polishing cloths or diamond grinding products may need to be "broken in" for a short period prior to use.

X3.6 The following section lists common preparation artifacts and prevention measures.

X3.7 *Scratches*—Scratches are grooves in the surface of the specimen produced by the points of abrasive particles.

X3.7.1 Make sure that after planar grinding the surface of all of the specimens in the holder exhibit the same uniform scratch pattern over the entire specimen. Repeat the planar grinding step if necessary.

X3.7.2 Clean the specimens and holder carefully after each step to avoid contamination.

X3.7.3 If there are still scratches left over from the previous step after finishing the current step, increase the preparation time by 25 to 50 %. If this does not work then you should consider altering the method by inserting an intermediate step.

X3.8 *Deformation*—Deformation can be classified by two types, elastic and plastic. Elastic deformation disappears when the applied load is removed. Plastic deformation, often called cold work, can be induced during sectioning, mounting, grinding, lapping or polishing. Residual plastic deformation can first be seen after etching. Only deformation that was introduced during metallographic preparation can be eliminated with procedure modification. Deformation from manufacturing operations such as bending, drawing and stretching are not considered because they cannot be removed by altering the preparation method.

X3.8.1 If the deformation is visible in brightfield in the unetched condition, please see X3.7.3 Scratches, for tips on how to improve the preparation.

X3.8.2 If after etching, the deformation is restricted to single or a few grains then it is minimal and may be removed by repeating the previous step.

X3.8.3 If after etching, the deformation is well defined covering several grains or even the whole specimen, then it may have been recently introduced. Check and clean the polishing cloth for possible contamination. Replace the cloth if results do not improve (see section X.2.1.4 ). Repeat the previous step.

X3.8.4 If after etching, the deformation is in the form of long, blunt lines covering several grains (with possible interruptions) then it may have been introduced from an earlier stage. Repeat the procedure starting from the fine grinding stage.

X3.9 *Smearing*—Smearing is the flow of material at the surface of the specimen. It is the result of material being "pushed" across the surface instead of being cut.

X3.9.1 Check the amount of lubricant. Smearing most often occurs when lubrication levels are too low. Increase or change the lubricant to eliminate smearing.

X3.9.2 Check the applied load. Excessive loads can result in smearing. Reduce the load to eliminate smearing.

X3.9.3 Check the abrasive size. Abrasives grains that are too small may not be effective in material removal. Increase the abrasive grain size.

X3.10 *Edge Rounding*—Edge rounding results when the edge of the specimen abrades at a greater rate than the body of the specimen.

X3.10.1 Mount the specimen. Unmounted specimens always exhibit greater edge rounding than mounted specimens.

X3.10.2 Use the correct mounting compound. There should be minimal shrinkage of the mounting compound away from the specimen. Try to match the abrasion resistance of the mounting compound closely to that of the specimen. See Section 9.

X3.10.3 If the edge rounding first occurred during grinding, consider changing the grinding substrate to a less resilient form. Also consider changing the abrasive type. Diamond abrasive is often more effective than SiC at cutting hard materials.

X3.10.4 Reduce polishing times as much as possible. Long polishing procedures often result in excessive edge rounding.

X3.10.5 Reduce applied load. Normally lower loads result in less edge rounding.

X3.10.6 Change the polishing lubricant. Oil or water/oil type lubricants may help preserve edges.

X3.10.7 Change the polishing cloth. Less resilient cloths produce better edges.

X3.10.8 If the preceding steps are ineffective then consider plating the specimen. See Section 10.

X3.11 *Relief*—Relief results when material from different phases is removed at different rates due to varying hardness or wear rate of individual phases.

X3.11.1 Relief normally first occurs during polishing. However, if there are extreme differences in the hardness between phases it may occur during grinding. If this is the case then an



alternative grinding method should be considered. See Tables 5 and 6.

X3.11.2 Polishing time should be kept to a minimum.

X3.11.3 Polishing cloths that have less resiliency produce less relief (see Edge Rounding in X3.10).

X3.11.4 The polishing abrasive should be at least 2.5 times harder (on the Vickers scale) than the hardest phase being polished.

X3.12 *Pull-outs*—Pullouts are the cavities left in the surface after grains or particles are torn out during preparation.

X3.12.1 Avoid high loads during grinding and polishing.

X3.12.2 Do not use coarse abrasives for Planar or Fine grinding steps.

X3.12.3 Do not make large abrasive size jumps between preparation steps. Insert an intermediate step if necessary.

X3.12.4 Napless polishing cloths produce less pull-out than napped cloths.

X3.12.5 Every step has to remove the damage from the previous step, and has to introduce as little damage as possible.

X3.12.6 Check the specimen after every step in order to find out when the pull-out occurs.

X3.13 *Gaps*—Gaps are the voids between the mounting compound and the specimen. Gaps can result in a variety of preparation artifacts such as edge rounding, contamination and staining.

X3.13.1 Clean and dry the specimen thoroughly prior to mounting.

X3.13.2 Select a mounting compound with low shrinkage (see Section 9).

X3.13.3 For hot compression mounting, cool the specimen under pressure.

X3.13.4 For castable mounting compounds, avoid high curing temperatures. It may be necessary to cool the specimen during the curing.

X3.13.5 Specimen height should be kept as low as practical to minimize gaps when using hot compression mounting.

X3.14 *Contamination*—Contamination is material from a source other than the specimen itself which is deposited on the specimen surface during grinding or polishing.

X3.14.1 Thoroughly clean the specimen between preparation steps (see 11.2.5, 11.3.3).

X3.14.2 Store grinding and polishing discs in a clean, dust-free environment.

X3.14.3 Change grinding or polishing substrate/abrasive if necessary.

X3.15 *Embedded Abrasive*—Embedded abrasive results when loose grinding, lapping, or polishing abrasive sticks into the surface of the specimen.

X3.15.1 Embedded abrasive is most common with soft non-ferrous materials.

X3.15.2 Change to a more resilient grinding substrate.

X3.15.3 Use a block of paraffin or candle to “pick up” loose SiC particles on fine grit papers. This is done by lightly passing the paraffin block across the paper.

X3.15.4 Change to a more resilient polishing substrate when using diamond abrasives that are less than 3 $\mu$ m in diameter.

X3.15.5 Change to an oil or water/oil-based polishing lubricant.

X3.16 *Lapping Tracks*—Lapping tracks are indentations on the specimen surface made by abrasive particles moving freely (rolling) on a hard surface. Lapping tracks can be produced during both grinding and polishing.

X3.16.1 Change to a more resilient grinding or polishing substrate.

X3.16.2 Increase the applied load in 10 % increments until the lapping tracks disappear.

X3.16.3 Employ optimal dynamics.

## REFERENCES

- (1) Yuzawich, P. M., and Hughes, C. W., “An Improved Technique for Removal of Oxide Scale from Fractured Surfaces of Ferrous Materials,” *Practical Metallography*, Vol 15, April 1978, pp. 184–195.
- (2) Zipp, R. D., “Preservation and Cleaning of Fracture for Fractography,” *Scanning Electron Microscopy*, Part I, 1979, pp. 355–362.
- (3) Russ, J. C., and Miller, G. A., “Effect of Oxidation on the Electron Fractographic Interpretation of Fractures in Steel,” *Journal, Iron and Steel Institute*, Vol 207, December 1969, pp. 1635–1638.
- (4) Pickwick, K. M., and Smith, E., “The Effect of Surface Contamination in SEM Fractographic Investigations,” *Micron*, Vol 3, No. 2, 1972, pp. 224–237.
- (5) Lane, G. S., and Ellis, J., “The Examination of Corroded Fracture Surfaces in the Scanning Electron Microscope,” *Corrosion Science*, Vol 11, September 1971, pp. 661–663.
- (6) Macmillan, J. W., and Flewitt, P. E. J., “Assessment of Methods for Cleaning Oxide from Fracture Surfaces for Examination in a Scanning Electron Microscope,” *Micron*, Vol 6, No. 3/4, 1975, pp. 141–146.
- (7) ASTM Task Group E24.02, “Clean Surfaces for Fractography,” ASTM STP 600, ASTM, Philadelphia, PA, 1976, pp. 251–253.
- (8) Hajicek, D. J., et al, “Development of a Cleaning Method for SEM Fractographic Analysis of Impulsively Loaded Cylinders,” *Microstructural Science*, Vol 5, Elsevier, NY, 1977, pp. 413–421.

*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](mailto:service@astm.org) (e-mail); or through the ASTM website ([www.astm.org](http://www.astm.org)).*

# ANEXO C2

## NORMA ASTM E 10- 01



Designation: E 10 – 01

American Association State Highway  
and Transportation Officials Standard  
AASHTO No.: T7D-85  
An American National Standard

### Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation E 10; 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 ( $\epsilon$ ) 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 test method (Test Method A) covers the determination of the Brinell hardness of metallic materials, including methods for the verification of Brinell hardness testing machines (Test Method B) and the calibration of standardized hardness test blocks (Test Method C).

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

**NOTE 1**—In common terminology, the equivalent force in kgf is substituted for N.

1.3 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 4 Practices for Force Verification of Testing Machines<sup>2</sup>
- E 29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications<sup>3</sup>
- E 74 Practice of Calibration of Force-Measuring Instruments for Verifying the Force Indication of Testing Machines<sup>2</sup>
- E 140 Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Rockwell Superficial Hardness, Knoop Hardness, and Scleroscope Hardness<sup>2</sup>

#### 3. Terminology

##### 3.1 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.1.1 **Brinell hardness number**—a number, which is proportional to the quotient obtained by dividing the test force by the curved surface area of the indentation which is assumed to be spherical and of the diameter of the ball.

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee E28 on Mechanical Testing and is the direct responsibility of Subcommittee E28.06 on Indentation Hardness Testing.

Current edition approved February 10, 2001. Published April 2001. Originally published as E 10 – 24 T. Last previous edition E 10 – 00a.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

$$HBW = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (\text{See Table 1}) \quad (1)$$

where:

$D$  = diameter of the ball, mm,

$F$  = test force, N, and

$d$  = mean diameter of the indentation, mm.

The Brinell hardness is denoted by the symbol: HBW.

3.1.1.1 **Discussion**—In former standards, a steel ball was allowed for hardness values below 450. In cases when a steel ball was used, the Brinell hardness was denoted by HB or HBS.

3.1.1.2 **Discussion**—The symbol HBW is preceded by the hardness value. When conditions other than those specified in 11.1.2 are used, the hardness value is supplemented by an index indicating the test conditions in the order:

(1) Diameter of the ball, in mm,

(2) A value representing the test force in kgf (see Table 3), and,

(3) Duration of loading, in s.

**Examples:**

350 HBW 5/750 = Brinell hardness of 350 determined with a ball of 5-mm diameter and with a test force of 7.355 kN (750 kgf) applied for 10 to 15 s.

600 HBW 1/30/20 = Brinell hardness of 600 determined with a ball of 1-mm diameter and with a test force of 294.2 N (30 kgf) applied for 20 s.

3.1.1.3 **Discussion**—Brinell hardness numbers vary with the test force used; however, test results will generally be in agreement when the ratio of the test force to the square of the ball diameter is held constant (see Table 3).

3.1.1.4 **Discussion**—Table 2 lists the Brinell hardness numbers corresponding to various diameters of indentations for 29.4 kN (3000 kgf), 14.7 kN (1500 kgf), and 4.90 kN (500 kgf) test forces making it unnecessary to calculate for each test the value of the Brinell hardness number by the above equation in Table 1 when these forces are used with a 10-mm diameter ball.

3.1.2 **Brinell hardness test**—an indenter (tungsten carbide ball with diameter  $D$ ) is forced into the surface of a test piece and the diameter of the indentation  $d$  left in the surface after removal of the test force,  $F$ , is measured. (see Table 1 and Figs. 1 and 2.)

3.1.2.1 **Discussion**—The tungsten carbide ball may be used for materials with a Brinell hardness not exceeding 650.

3.1.3 **calibration**—adjustment of the significant parameters by comparison with values indicated by a reference instrument or by a set of reference standards.



TABLE 1 Symbols and Designations

Symbol	Designation
$D$	Diameter of the ball, mm
$F$	Test force, N
$d$	Mean diameter of the indentation, mm
$h$	Depth of the indentation, mm
HBW	Brinell hardness $= \text{Constant} \times \frac{\text{Test force}}{\text{Surface area of indentation}}$ $= 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$

3.1.4 *verification*—checking or testing to assure conformance with the specification.

#### 4. Significance and Use

4.1 The Brinell hardness test is an empirical indentation hardness test. Brinell hardness tests provide useful information about metallic materials. This information may correlate to tensile strength, wear resistance, ductility, or other physical characteristics of metallic materials, and may be useful in quality control and selection of materials. Brinell hardness testing at the specific location on a part may not represent the physical characteristics of the whole part or end product. Brinell hardness tests are considered satisfactory for acceptance testing of commercial shipments, and they have been used extensively in industry for this purpose.

### TEST METHOD A—GENERAL DESCRIPTION AND TEST PROCEDURE FOR BRINELL HARDNESS TESTS

#### 5. Apparatus

5.1 *Testing Machine*—Equipment for Brinell hardness testing usually consists of a testing machine which supports the test specimen and applies an indenting force to a ball in contact with the specimen. The design of the testing machines shall be such that no rocking or lateral movement of the indenter or specimen occurs while the force is being applied. The design of the testing machine shall ensure that the force to the indenter shall be applied smoothly and without impact forces. Precautions shall be taken to prevent a momentary high test force caused by the inertia of the system, hydraulic system overshoot, etc. See equipment manufacturer's instruction manual for a description of the machine's characteristics, limitations, and respective operating procedure.

##### 5.2 *Brinell Balls*:

5.2.1 The standard ball for Brinell hardness testing shall be 10.000 mm in diameter with a deviation from this value of not more than 0.005 mm in any diameter. The ball shall be polished and free of surface defects. Smaller balls having the diameters and tolerances indicated in Table 4 may be used also provided the precautions set forth in 8.1 are observed.

5.2.2 The tungsten carbide ball indenter shall have a minimum hardness of 1500 HV10.

NOTE 2—Caution: The Brinell test is not recommended for material

having hardness over 650 HBW (see 8.1).

5.2.2.1 The chemical composition of tungsten carbide balls shall be:

Tungsten Carbide (WC)	Balance
Cobalt (Co)	5.0 to 7.0 %
Total other Carbides	2.0 % max

5.2.2.2 The use of hardened steel ball indenters has been eliminated from this test method. Only tungsten carbide balls may now be used for this test method.

5.2.3 If a ball is used to test a specimen which shows a Brinell hardness greater than 650, the result should be considered suspect and the ball inspected for damage. If there is any evidence of damage, the ball shall be replaced.

5.3 *Measuring Device*—The divisions of the micrometer scale of the microscope or other measuring devices used for the measurement of the diameter of the indentations shall be such as to permit the direct measuring of the diameter to 0.1 mm and the estimation of the diameter to 0.05 mm.

NOTE 3—This requirement applies to the construction of the device only and is not a requirement for measurement of the indentation.

#### 6. Test Specimen

6.1 There is no standard shape or size for a Brinell test specimen. The specimen upon which the indentation is made shall conform to the following:

6.1.1 *Thickness*—The thickness of the specimen tested shall be such that no bulge or other marking showing the effect of the test force appears on the side of the piece opposite the indentation. As a general rule, the thickness of the specimen shall be at least ten times the depth of the indentation (Table 5).

6.1.2 The minimum width shall conform with the requirements of 8.3.

6.1.3 *Finish*—When necessary, the surface on which the indentation is to be made shall be filed, ground, machined or polished with abrasive material so that the edge of the indentation shall be clearly defined to permit the measurement of the diameter to the specified accuracy (see 9.1). Care should be taken to avoid overheating or cold working the surface.

#### 7. Verification of Testing Machine

7.1 *Verification Methods*—The hardness testing machine shall be verified in accordance with one of the two acceptable methods of verifying Brinell hardness testing machines as given in Test Method B.

7.2 *Test Force Range*—When direct verification is used, the Brinell hardness testing machine is acceptable for use over a test force range within which the error in test force does not exceed  $\pm 1\%$ . When indirect verification is used, the Brinell hardness machine is acceptable for use over a test force range within which the mean hardness value obtained is within  $\pm 3\%$  of the Brinell hardness of the standardized test blocks used.

#### 8. Procedure

8.1 *Magnitude of Test Force*—Typically, the force in the standard Brinell test shall be 29.42 kN (3000 kgf), 14.7 kN (1500 kgf), or 4.90 kN (500 kgf). It is recommended that the diameter of the indentation be between 24 and 60 % of the ball diameter. A lower limit in indentation diameter is necessary

TABLE 2 Brinell Hardness Numbers<sup>a</sup>  
(Ball 10 mm in Diameter, Applied Forces of 500, 1500, and 3000 kgf)

NOTE 1—The values given in this table for Brinell hardness numbers are merely solutions of the equation given in the definition in 3.1.1, and include values for indentation diameters outside the ranges recommended in 8.1. These values are indicated by italics.

Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number			Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number			Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number			Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number		
	500-kgf Force	1500-kgf Force	3000-kgf Force		500-kgf Force	1500-kgf Force	3000-kgf Force		500-kgf Force	1500-kgf Force	3000-kgf Force		500-kgf Force	1500-kgf Force	3000-kgf Force
2.00	158	473	945	2.60	92.6	278	555	3.20	60.5	182	363	3.80	42.4	127	255
2.01	156	468	936	2.61	91.8	276	551	3.21	60.1	180	361	3.81	42.2	127	253
2.02	154	463	926	2.62	91.1	273	547	3.22	59.8	179	359	3.82	42.0	126	252
2.03	153	459	917	2.63	90.4	271	543	3.23	59.4	178	356	3.83	41.7	125	250
2.04	151	454	908	2.64	89.7	269	538	3.24	59.0	177	354	3.84	41.5	125	249
2.05	150	450	899	2.65	89.0	267	534	3.25	58.6	176	352	3.85	41.3	124	248
2.06	148	445	890	2.66	88.4	265	530	3.26	58.3	175	350	3.86	41.1	123	246
2.07	147	441	882	2.67	87.7	263	526	3.27	57.9	174	347	3.87	40.9	123	245
2.08	146	437	873	2.68	87.0	261	522	3.28	57.5	173	345	3.88	40.6	122	244
2.09	144	432	865	2.69	86.4	259	518	3.29	57.2	172	343	3.89	40.4	121	242
2.10	143	428	856	2.70	85.7	257	514	3.30	56.8	170	341	3.90	40.2	121	241
2.11	141	424	848	2.71	85.1	255	510	3.31	56.5	169	339	3.91	40.0	120	240
2.12	140	420	840	2.72	84.4	253	507	3.32	56.1	168	337	3.92	39.8	119	239
2.13	139	416	832	2.73	83.8	251	503	3.33	55.8	167	335	3.93	39.6	119	237
2.14	137	412	824	2.74	83.2	250	499	3.34	55.4	166	333	3.94	39.4	118	236
2.15	136	408	817	2.75	82.6	248	495	3.35	55.1	165	331	3.95	39.1	117	235
2.16	135	404	809	2.76	81.9	246	492	3.36	54.8	164	329	3.96	38.9	117	234
2.17	134	401	802	2.77	81.3	244	488	3.37	54.4	163	326	3.97	38.7	116	232
2.18	132	397	794	2.78	80.8	242	485	3.38	54.1	162	325	3.98	38.5	116	231
2.19	131	393	787	2.79	80.2	240	481	3.39	53.8	161	323	3.99	38.3	115	230
2.20	130	390	780	2.80	79.6	239	477	3.40	53.4	160	321	4.00	38.1	114	229
2.21	129	386	772	2.81	79.0	237	474	3.41	53.1	159	319	4.01	37.9	114	228
2.22	128	383	765	2.82	78.4	235	471	3.42	52.8	158	317	4.02	37.7	113	226
2.23	126	379	758	2.83	77.9	234	467	3.43	52.5	157	315	4.03	37.5	113	225
2.24	125	376	752	2.84	77.3	232	464	3.44	52.2	156	313	4.04	37.3	112	224
2.25	124	372	745	2.85	76.8	230	461	3.45	51.8	156	311	4.05	37.1	111	223
2.26	123	369	738	2.86	76.2	229	457	3.46	51.5	155	309	4.06	37.0	111	222
2.27	122	366	732	2.87	75.7	227	454	3.47	51.2	154	307	4.07	36.8	110	221
2.28	121	363	725	2.88	75.1	225	451	3.48	50.9	153	305	4.08	36.6	110	219
2.29	120	359	719	2.89	74.6	224	448	3.49	50.6	152	304	4.09	36.4	109	218
2.30	119	356	712	2.90	74.1	222	444	3.50	50.3	151	302	4.10	36.2	109	217
2.31	118	353	706	2.91	73.6	221	441	3.51	50.0	150	300	4.11	36.0	108	216
2.32	117	350	700	2.92	73.0	219	438	3.52	49.7	149	298	4.12	35.8	108	215
2.33	116	347	694	2.93	72.5	218	435	3.53	49.4	148	297	4.13	35.7	107	214
2.34	115	344	688	2.94	72.0	216	432	3.54	49.2	147	295	4.14	35.5	106	213
2.35	114	341	682	2.95	71.5	215	429	3.55	48.9	147	293	4.15	35.3	106	212
2.36	113	338	676	2.96	71.0	213	426	3.56	48.6	146	292	4.16	35.1	105	211
2.37	112	335	670	2.97	70.5	212	423	3.57	48.3	145	290	4.17	34.9	105	210
2.38	111	332	665	2.98	70.1	210	420	3.58	48.0	144	288	4.18	34.8	104	209
2.39	110	330	659	2.99	69.6	209	417	3.59	47.7	143	286	4.19	34.6	104	208
2.40	109	327	653	3.00	69.1	207	415	3.60	47.5	142	285	4.20	34.4	103	207
2.41	108	324	648	3.01	68.6	206	412	3.61	47.2	142	283	4.21	34.2	103	205
2.42	107	322	643	3.02	68.2	205	409	3.62	46.9	141	282	4.22	34.1	102	204
2.43	106	319	637	3.03	67.7	203	406	3.63	46.7	140	280	4.23	33.9	102	203
2.44	105	316	632	3.04	67.3	202	404	3.64	46.4	139	278	4.24	33.7	101	202
2.45	104	313	627	3.05	66.8	200	401	3.65	46.1	138	277	4.25	33.6	101	201
2.46	104	311	621	3.06	66.4	199	398	3.66	45.9	138	275	4.26	33.4	100	200
2.47	103	308	616	3.07	65.9	198	395	3.67	45.6	137	274	4.27	33.2	99.7	199
2.48	102	306	611	3.08	65.5	196	393	3.68	45.4	136	272	4.28	33.1	99.2	198
2.49	101	303	606	3.09	65.0	195	390	3.69	45.1	135	271	4.29	32.9	98.8	198
2.50	100	301	601	3.10	64.6	194	388	3.70	44.9	135	269	4.30	32.8	98.3	197
2.51	99.4	298	597	3.11	64.2	193	385	3.71	44.6	134	268	4.31	32.6	97.8	196
2.52	98.6	296	592	3.12	63.8	191	383	3.72	44.4	133	266	4.32	32.4	97.3	195
2.53	97.8	294	587	3.13	63.3	190	380	3.73	44.1	132	265	4.33	32.3	96.8	194
2.54	97.1	291	582	3.14	62.9	189	378	3.74	43.9	132	263	4.34	32.1	96.4	193
2.55	96.3	289	578	3.15	62.5	188	375	3.75	43.6	131	262	4.35	32.0	95.9	192
2.56	95.5	287	573	3.16	62.1	186	373	3.76	43.4	130	260	4.36	31.8	95.5	191
2.57	94.8	284	569	3.17	61.7	185	370	3.77	43.1	129	259	4.37	31.7	95.0	190
2.58	94.0	282	564	3.18	61.3	184	368	3.78	42.9	129	257	4.38	31.5	94.5	189
2.59	93.3	280	560	3.19	60.9	183	366	3.79	42.7	128	256	4.39	31.4	94.1	188

because of the risk in damaging the ball and difficulty measuring the indentation. The upper limit is necessary because of a reduction in sensitivity as the diameter of the indentation approaches the ball diameter. The thickness and spacing

requirements of 6.1.1, 6.1.2, and 8.3 may determine the maximum permissible diameter of indentation for a specific test. Table 6 gives standard test forces and approximate Brinell hardness numbers for the above range of indentation diameters.



TABLE 2 Continued

Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number			Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number			Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number			Diameter of Indentation, mm	Brinell Hardness Number		
	500-kgf Force	1500-kgf Force	3000-kgf Force		500-kgf Force	1500-kgf Force	3000-kgf Force		500-kgf Force	1500-kgf Force	3000-kgf Force		500-kgf Force	1500-kgf Force	3000-kgf Force
4.40	31.2	93.6	187	5.05	23.3	69.8	140	5.70	17.8	53.5	107	6.35	14.0	42.0	84.0
4.41	31.1	93.2	186	5.06	23.2	69.5	139	5.71	17.8	53.3	107	6.36	13.9	41.8	83.7
4.42	30.9	92.7	185	5.07	23.1	69.2	138	5.72	17.7	53.1	106	6.37	13.9	41.7	83.4
4.43	30.8	92.3	185	5.08	23.0	68.9	138	5.73	17.6	52.9	106	6.38	13.8	41.5	83.1
4.44	30.6	91.8	184	5.09	22.9	68.6	137	5.74	17.6	52.7	105	6.39	13.8	41.4	82.8
4.45	30.5	91.4	183	5.10	22.8	68.3	137	5.75	17.5	52.5	105	6.40	13.7	41.2	82.5
4.46	30.3	91.0	182	5.11	22.7	68.0	136	5.76	17.4	52.3	105	6.41	13.7	41.1	82.2
4.47	30.2	90.5	181	5.12	22.6	67.7	135	5.77	17.4	52.1	104	6.42	13.6	40.9	81.9
4.48	30.0	90.1	180	5.13	22.5	67.4	135	5.78	17.3	51.9	104	6.43	13.6	40.8	81.6
4.49	29.9	89.7	179	5.14	22.4	67.1	134	5.79	17.2	51.7	103	6.44	13.5	40.6	81.3
4.50	29.8	89.3	179	5.15	22.3	66.9	134	5.80	17.2	51.5	103	6.45	13.5	40.5	81.0
4.51	29.6	88.8	178	5.16	22.2	66.6	133	5.81	17.1	51.3	103	6.46	13.4	40.4	80.7
4.52	29.5	88.4	177	5.17	22.1	66.3	133	5.82	17.0	51.1	102	6.47	13.4	40.2	80.4
4.53	29.3	88.0	176	5.18	22.0	66.0	132	5.83	17.0	50.9	102	6.48	13.4	40.1	80.1
4.54	29.2	87.6	175	5.19	21.9	65.8	132	5.84	16.9	50.7	101	6.49	13.3	39.9	79.8
4.55	29.1	87.2	174	5.20	21.8	65.5	131	5.85	16.8	50.5	101	6.50	13.3	39.8	79.6
4.56	28.9	86.8	174	5.21	21.7	65.2	130	5.86	16.8	50.3	101	6.51	13.2	39.6	79.3
4.57	28.8	86.4	173	5.22	21.6	64.9	130	5.87	16.7	50.2	100	6.52	13.2	39.5	79.0
4.58	28.7	86.0	172	5.23	21.6	64.7	129	5.88	16.7	50.0	99.9	6.53	13.1	39.4	78.7
4.59	28.5	85.6	171	5.24	21.5	64.4	129	5.89	16.6	49.8	99.5	6.54	13.1	39.2	78.4
4.60	28.4	85.4	170	5.25	21.4	64.1	128	5.90	16.5	49.6	99.2	6.55	13.0	39.1	78.2
4.61	28.3	84.8	170	5.26	21.3	63.9	128	5.91	16.5	49.4	98.8	6.56	13.0	38.9	78.0
4.62	28.1	84.4	169	5.27	21.2	63.6	127	5.92	16.4	49.2	98.4	6.57	12.9	38.8	77.6
4.63	28.0	84.0	168	5.28	21.1	63.3	127	5.93	16.3	49.0	98.0	6.58	12.9	38.7	77.3
4.64	27.9	83.6	167	5.29	21.0	63.1	126	5.94	16.3	48.8	97.7	6.59	12.8	38.5	77.1
4.65	27.8	83.3	167	5.30	20.9	62.8	126	5.95	16.2	48.7	97.3	6.60	12.8	38.4	76.8
4.66	27.6	82.9	166	5.31	20.9	62.6	125	5.96	16.2	48.5	96.9	6.61	12.8	38.3	76.5
4.67	27.5	82.5	165	5.32	20.8	62.3	125	5.97	16.1	48.3	96.6	6.62	12.7	38.1	76.2
4.68	27.4	82.1	164	5.33	20.7	62.1	124	5.98	16.0	48.1	96.2	6.63	12.7	38.0	76.0
4.69	27.3	81.8	164	5.34	20.6	61.8	124	5.99	16.0	47.9	95.9	6.64	12.6	37.9	75.7
4.70	27.1	81.4	163	5.35	20.5	61.5	123	6.00	15.9	47.7	95.5	6.65	12.6	37.7	75.4
4.71	27.0	81.0	162	5.36	20.4	61.3	123	6.01	15.9	47.6	95.1	6.66	12.5	37.6	75.2
4.72	26.9	80.7	161	5.37	20.3	61.0	122	6.02	15.8	47.4	94.8	6.67	12.5	37.5	74.9
4.73	26.8	80.3	161	5.38	20.3	60.8	122	6.03	15.7	47.2	94.4	6.68	12.4	37.3	74.7
4.74	26.6	79.9	160	5.39	20.2	60.6	121	6.04	15.7	47.0	94.1	6.69	12.4	37.2	74.4
4.75	26.5	79.6	159	5.40	20.1	60.3	121	6.05	15.6	46.8	93.7	6.70	12.4	37.1	74.1
4.76	26.4	79.2	158	5.41	20.0	60.1	120	6.06	15.6	46.7	93.4	6.71	12.3	36.9	73.9
4.77	26.3	78.9	158	5.42	19.9	59.8	120	6.07	15.5	46.5	93.0	6.72	12.3	36.8	73.6
4.78	26.2	78.5	157	5.43	19.9	59.6	119	6.08	15.4	46.3	92.7	6.73	12.2	36.7	73.4
4.79	26.1	78.2	156	5.44	19.8	59.3	119	6.09	15.4	46.2	92.3	6.74	12.2	36.6	73.1
4.80	25.9	77.8	156	5.45	19.7	59.1	118	6.10	15.3	46.0	92.0	6.75	12.1	36.4	72.8
4.81	25.8	77.5	155	5.46	19.6	58.9	118	6.11	15.3	45.8	91.7	6.76	12.1	36.3	72.6
4.82	25.7	77.1	154	5.47	19.5	58.6	117	6.12	15.2	45.7	91.3	6.77	12.1	36.2	72.3
4.83	25.6	76.8	154	5.48	19.5	58.4	117	6.13	15.2	45.5	91.0	6.78	12.0	36.0	72.1
4.84	25.5	76.4	153	5.49	19.4	58.2	116	6.14	15.1	45.3	90.6	6.79	12.0	35.9	71.8
4.85	25.4	76.1	152	5.50	19.3	57.9	116	6.15	15.1	45.2	90.3	6.80	11.9	35.8	71.6
4.86	25.3	75.8	152	5.51	19.2	57.7	115	6.16	15.0	45.0	90.0	6.81	11.9	35.7	71.3
4.87	25.1	75.4	151	5.52	19.2	57.5	115	6.17	14.9	44.8	89.6	6.82	11.8	35.5	71.1
4.88	25.0	75.1	150	5.53	19.1	57.2	114	6.18	14.9	44.7	89.3	6.83	11.8	35.4	70.8
4.89	24.9	74.8	150	5.54	19.0	57.0	114	6.19	14.8	44.5	89.0	6.84	11.8	35.3	70.6
4.90	24.8	74.4	149	5.55	18.9	56.8	114	6.20	14.7	44.3	88.7	6.86	11.7	35.2	70.4
4.91	24.7	74.1	148	5.56	18.9	56.6	113	6.21	14.7	44.2	88.3	6.86	11.7	35.1	70.1
4.92	24.6	73.8	148	5.57	18.8	56.3	113	6.22	14.7	44.0	88.0	6.87	11.6	34.9	69.9
4.93	24.5	73.5	147	5.58	18.7	56.1	112	6.23	14.6	43.8	87.7	6.88	11.6	34.8	69.6
4.94	24.4	73.2	146	5.59	18.6	55.9	112	6.24	14.6	43.7	87.4	6.89	11.6	34.7	69.4
4.95	24.3	72.8	146	5.60	18.6	55.7	111	6.25	14.5	43.5	87.1	6.90	11.5	34.6	69.2
4.96	24.2	72.5	145	5.61	18.5	55.5	111	6.26	14.5	43.4	86.7	6.91	11.5	34.5	68.9
4.97	24.1	72.2	144	5.62	18.4	55.2	110	6.27	14.4	43.2	86.4	6.92	11.4	34.3	68.7
4.98	24.0	71.9	144	5.63	18.3	55.0	110	6.28	14.4	43.1	86.1	6.93	11.4	34.2	68.4
4.99	23.9	71.6	143	5.64	18.3	54.8	110	6.29	14.3	42.9	85.8	6.94	11.4	34.1	68.2
5.00	23.8	71.3	143	5.65	18.2	54.6	109	6.30	14.2	42.7	85.5	6.95	11.3	34.0	68.0
5.01	23.7	71.0	142	5.66	18.1	54.4	109	6.31	14.2	42.6	85.2	6.96	11.3	33.9	67.7
5.02	23.6	70.7	141	5.67	18.1	54.2	108	6.32	14.1	42.4	84.9	6.97	11.3	33.8	67.5
5.03	23.5	70.4	141	5.68	18.0	54.0	108	6.33	14.1	42.3	84.6	6.98	11.2	33.6	67.3
5.04	23.4	70.1	140	5.69	17.9	53.7	107	6.34	14.0	42.1	84.3	6.99	11.2	33.5	67.0

<sup>a</sup> Prepared by the Engineering Mechanics Section, National Bureau of Standards.

It is not mandatory that the Brinell test conform to these hardness ranges, but it should be realized that different Brinell hardness numbers may be obtained for a given material by

using different forces on a 10-mm diameter ball. For the purpose of obtaining a continuous scale of values it may be desirable, however, to use a single force to cover the complete

TABLE 3 Test Conditions

Hardness Symbol	Ball Diameter D, mm	0.102 F D <sup>2</sup>	Test Force F Nominal Value
HBW 10/3000	10	30	29.42 kN - (3000 kgf)
HBW 10/1500	10	15	14.71 kN - (1500 kgf)
HBW 10/1000	10	10	9.807 kN - (1000 kgf)
HBW 10/500	10	5	4.903 kN - (500 kgf)
HBW 10/250	10	2.5	2.452 kN - (250 kgf)
HBW 10/125	10	1.25	1.226 kN - (125 kgf)
HBW 10/100	10	1	980.7 N - (100 kgf)
HBW 5/750	5	30	7.355 kN - (750 kgf)
HBW 5/250	5	10	2.452 kN - (250 kgf)
HBW 5/125	5	5	1.226 kN - (125 kgf)
HBW 5/62.5	5	2.5	612.9 N - (62.5 kgf)
HBW 5/31.25	5	1.25	306.5 N - (31.25 kgf)
HBW 5/25	5	1	245.2 N - (25 kgf)
HBW 2.5/187.5	2.5	30	1.839 kN - (187.5 kgf)
HBW 2.5/62.5	2.5	10	612.9 N - (62.5 kgf)
HBW 2.5/31.25	2.5	5	306.5 N - (31.25 kgf)
HBW 2.5/15.625	2.5	2.5	153.2 N - (15.625 kgf)
HBW 2.5/7.812.5	2.5	1.25	76.61 N - (7.8125 kgf)
HBW 2.5/6.25	2.5	1	61.29 N - (6.25 kgf)
HBW 2/120	2	30	1.177 kN - (120 kgf)
HBW 2/40	2	10	392.3 N - (40 kgf)
HBW 2/20	2	5	196.1 N - (20 kgf)
HBW 2/10	2	2.5	98.07 N - (10 kgf)
HBW 2/5	2	1.25	49.03 N - (5 kgf)
HBW 2/4	2	1	39.23 N - (4 kgf)
HBW 1/30	1	30	294.2 N - (30 kgf)
HBW 1/10	1	10	98.07 N - (10 kgf)
HBW 1/5	1	5	49.03 N - (5 kgf)
HBW 1/2.5	1	2.5	24.52 N - (2.5 kgf)
HBW 1/1.25	1	1.25	12.26 N - (1.25 kgf)
HBW 1/1	1	1	9.807 N - (1 kgf)

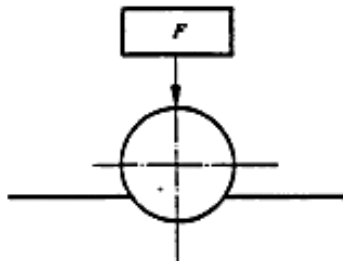


FIG. 1 Principle of Test

range of hardness for a given class of materials. For softer metals, forces of 2.45 kN (250 kgf), 1.23 kN (125 kgf), or 0.981 kN (100 kgf) are sometimes used. The force used shall

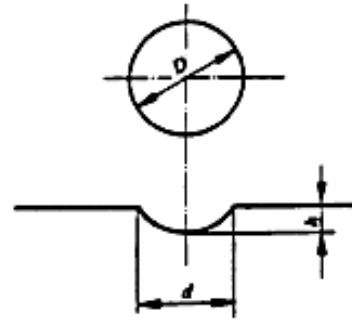


FIG. 2 Principle of Test

TABLE 4 Tolerances for Brinell Hardness Balls

Ball Diameter, mm	Tolerance, mm
10	±0.005
5	±0.004
2.5	±0.003
2	±0.003
1	±0.003

TABLE 5 Minimum Thickness Requirements for Brinell Hardness Tests

Minimum Thickness of Specimen		Minimum Hardness for Which the Brinell Test May Safely Be Made		
In.	mm	3000-kgf Force	1500-kgf Force	500-kgf Force
1/16	1.6	602	301	100
1/8	3.2	301	150	50
3/16	4.8	201	100	33
1/4	6.4	150	75	25
5/16	8.0	120	60	20
3/8	9.6	100	50	17

TABLE 6 Standard Test Forces

Ball Diameter, mm	Force	Recommended Range, HBW
10	29.42 kN (3000 kgf)	96 to 600
10	14.7 kN (1500 kgf)	48 to 300
10	4.90 kN (500 kgf)	16 to 100

be specifically stated in the test report (see 11.1.2).

TABLE 7 Hardness Ranges Used By Standard Test Block Method

100 to 200 HBW
300 to 400 HBW
500 to 600 HBW

8.1.1 For testing thin or small specimens, a ball less than 10 mm in diameter is sometimes used. Such tests, which are not to be regarded as standard tests, will approximate the standard tests more closely if the relation between the applied force,  $F$ , measured in N, and the diameter of the ball,  $D$ , measured in mm is the same as in the standard tests,

where:

$$0.102F/D^2 = 30 \text{ for } 29.42 \text{ kN (3000 kgf) force and 10-mm ball,}$$

$$0.102F/D^2 = 15 \text{ for } 14.72 \text{ kN (1500 kgf) force and 10-mm ball, and}$$

$$0.102F/D^2 = 5 \text{ for } 4.90 \text{ kN (500 kgf) force and 10-mm ball.}$$

8.1.1.1 *Example*—A 1.23-kN (125-kgf) test force on a 5-mm diameter ball would approximate a standard 4.90-kN (500-kgf) test force on a 10-mm diameter ball.

8.1.2 Tests for soft metals often are made with the following force-diameter ratios:

$$0.102F/D^2 = 2.5 \quad (2)$$

$$0.102F/D^2 = 1.25$$

$$0.102F/D^2 = 1.0$$

8.1.3 When balls smaller than 10 mm in diameter are used, both the test force and ball size shall be specifically stated in the test report (see 3.1.1, 3.1.1.1, and 11.1.2).

8.2 *Radius of Curvature*—When indentations are made on a curved surface, the minimum radius of curvature of the surface shall be not less than  $2\frac{1}{2}$  times the diameter of the ball. Indentations made on curved surfaces may be slightly elliptical rather than circular in shape. The measurements of the indentation shall be taken as the mean of the major and minor axes.

8.3 *Spacing of Indentations*—The distance of the center of the indentation from the edge of the specimen or edge of another indentation shall be at least two and one half times the diameter of the indentation.

8.4 *Application of Test Force*—Apply the force to the specimen uniformly taking precautions to prevent a momentary overload of the system. Apply the full test force for 10 to 15 s.

8.4.1 If a duration of test force application other than 10 to 15 s is used, results of the test shall be reported using the nomenclature outlined in 4.2 and 11.1.2.

8.5 *Alignment*—The angle between the indenter force line and the surface of the specimen should be  $90 \pm 2^\circ$ . (see 9.1)

## 9. Measurement of Indentation

9.1 *Diameter*—In the Brinell hardness test, two diameters of the indentation at right angles to each other shall be measured and their mean value used as a basis for calculation of the Brinell hardness number for flat specimens. If the largest and smallest diameters for two readings of the same indentation differ by 0.1 mm or more, refer to the material specifica-

tions for further guidance. For routine tests and for tests to determine compliance with a material or product specification, the diameter of the indentation shall be estimated to 0.05 mm (0.0020 in.).

NOTE 4—These measurements are usually made with a low-magnification portable measuring device (approximately 20 $\times$ ) having a fixed scale in the eyepiece. If a more accurate determination is needed, as in referee or standardization tests, a laboratory comparator such as a micrometer measuring device is required.

## 10. Conversion to Other Hardness Scales or Tensile Strength Values

10.1 There is no general method for accurately converting Brinell hardness numbers to other hardness scales or tensile strength values. Such conversion are, at best, approximations and, therefore, should be avoided except for special cases where a reliable basis for the approximate conversion has been obtained by comparison tests.

NOTE 5—Hardness Conversion Tables E 140 for Metals give approximate hardness conversion values for specific materials such as steel, austenitic stainless steel, nickel and high-nickel alloys, and cartridge brass.

## 11. Report

11.1 Whenever a Brinell hardness number is used, provide the following information:

11.1.1 The Brinell hardness number, which shall be reported rounded to three significant digits in accordance with rounding method in Practice E 29 (for example, 125 HBW, 99.2 HBW).

11.1.2 The test conditions when the Brinell hardness number is determined from forces other than 29.42 kN (3000 kgf), ball diameters other than 10 mm, and test force applications other than 10 to 15 s (see 3.1.1 and 8.4).

## 12. Precision and Bias

12.1 *Precision*—An interlaboratory comparison program is now in progress which, when completed, will be the basis of a statement on precision.

12.2 *Bias*—There is no basis for defining the bias for this test method.

## TEST METHOD B—VERIFICATION OF BRINELL HARDNESS TESTING MACHINES

### 13. Scope

13.1 Test Method B covers two procedures for the verification of Brinell hardness testing machines. These are as follows:

13.1.1 *Direct Verification*—Separate verification of force application, indenter, and the measuring device for measuring the diameter of the indentation.

13.1.2 *Indirect Verification*—Verification by the standardized test block method.

13.2 New or rebuilt machines shall be initially checked by the direct verification method (see 13.1.1) before being placed in service.

13.3 Machines used for routine testing may be checked by either verification method.

### 14. General Requirements

14.1 Before a Brinell hardness testing machine is verified,



the machine shall be examined to ensure that:

14.1.1 The machine is set up properly.

14.1.2 The ball holder, with a new ball whose nominal diameter has been checked (see 15.1.2), is mounted firmly in the plunger.

14.1.3 The force will be applied and removed without shock or vibration.

14.2 If the measuring device is integral with the machine, the machine shall be examined to ensure the following:

14.2.1 The change from test force application to measuring does not influence the readings.

14.2.2 The method of illumination does not affect the readings.

14.2.3 The center of the indentation is in the center of the field of view.

## 15. Verification

15.1 *Direct Verification*—Separate verification of force application, indenter, and measuring device:

15.1.1 *Force Application*—Brinell hardness testing machines shall be verified at the test force(s) at which it is used. The test forces will be checked periodically with a force measuring device traceable to national standards (in the United States, National Institute of Standards and Technology) in the manner described in Practices E 4. A Brinell hardness testing machine is acceptable for use when the test force error does not exceed  $\pm 1\%$ .

15.1.2 *Indenter*—The indenter to be verified shall be a new ball selected at random from a lot meeting the hardness requirements specified in 5.2. The diameter of each ball shall be verified at not less than three positions and the mean of these readings shall not differ from the nominal diameter by more than the tolerance specified in Table 4.

15.1.3 *Measuring Device*—The measuring device used to determine the diameter of the indentation shall be verified at five intervals over the working range by the use of an accurate scale such as a stage micrometer. The adjustment of the device shall be such that, throughout the range covered, the difference between the scale divisions of the device and of the calibrating scale does not exceed 0.01 mm (0.0004 in.).

15.1.4 The verification is incomplete if a verification report is not issued.

15.2 *Indirect Verification*—Verification by standardized test block method.

15.2.1 A Brinell hardness testing machine also may be checked by making a series of at least five indentations on standardized hardness test blocks (Test Method C).

15.2.2 If the machine is to be used at conditions other than 10/29.42 kN (3000 kgf)/15, the machine also shall be verified at those other conditions.

15.2.3 The testing machine shall be verified for each test force and for each size of ball used. For each test force, standardized blocks within the hardness ranges given in Table 7, shall be used.

**NOTE 6**—When the hardness test in question makes it impossible to reach the higher hardness range defined in Table 7 (for  $0.102/F/D^2 = 5$  or 10), the verification may be carried out with two blocks from the lower hardness range.

15.2.3.1 Verification shall be carried out using a tungsten

carbide ball and this verification will be valid for hardnesses  $\leq 650$  HBW.

15.2.4 *Repeatability*—For each standardized block, let  $d_1, d_2, \dots, d_n$  be the mean values of the measured diameter of the indentations, arranged in increasing order of magnitude. The repeatability of the testing machine under the particular verification conditions is determined by the following quantity:

$$d_n - d_1 \quad (3)$$

The repeatability of the testing machine verified is not considered satisfactory unless it satisfies the conditions given in Table 8.

15.2.5 *Error*—The error of the testing machine under the particular verification conditions is characterized by the following quantity:

$$\bar{H} - H \quad (4)$$

where:

$$\text{error} = \bar{H} - H$$

$$\bar{H} = \frac{H_1 + H_2 \dots H_n}{n} \quad (5)$$

$H_1, H_2, \dots, H_n$  = the hardness values corresponding to  $d_1, d_2, \dots, d_n$ , and

$H$  = specified hardness of the standardized block.

15.2.6 The Brinell hardness testing machine shall be considered verified if the mean hardness differs by no more than 3% from the hardness value of the standardized hardness test block.

15.2.7 The verification is incomplete if a verification report is not issued.

15.3 *Verification Report*—The test report shall include the following information:

15.3.1 Reference to this ASTM test method,

15.3.2 Method of verification (direct or indirect),

15.3.3 Identification of the hardness testing machine,

15.3.4 Means of verification (test blocks, elastic proving devices, etc.),

15.3.5 Diameter of indenter ball and test force,

15.3.6 The result obtained,

15.3.7 Date of verification and reference to the calibration institution, and

15.3.8 Identity of person performing the verification.

## 16. Procedure for Periodic Checks by the User

16.1 Verification by the standardized test block method (15.2) is too lengthy for daily use. Instead, the following is recommended:

TABLE 8 Repeatability of Testing Machine

Hardness of Standardized Block HBW	Repeatability of the Testing Machine, max	HBW	
		H	$H_1 - H_5$ , max
<225	0.04 $\bar{\sigma}$	100	9
		200	17
>225	0.02 $\bar{\sigma}$	300	12
		400	17
		500	20
		600	24

16.1.1 Make at least one routine check in accordance with 16.1.2 each day that the testing machine is used.

16.1.2 Consult the machine manufacturer's start-up procedures. Select the force, indenter, and measuring device that will be used for the routine testing. Make at least two indentations on a standardized hardness test block. If the mean of these two values falls within the tolerances required (see 15.2.6), the hardness machine may be regarded as producing satisfactory hardness results. If not, the hardness machine shall be verified as described in 15.2.

### TEST METHOD C—CALIBRATION OF STANDARDIZED HARDNESS TEST BLOCKS FOR BRINELL HARDNESS TESTING MACHINES

#### 17. Scope

17.1 This test method covers the calibration of standardized hardness test blocks for the verification of Brinell hardness testing machines as described in Test Method B.

#### 18. Manufacture

18.1 Each metal block to be calibrated shall be not less than 16 mm ( $\frac{5}{8}$  in.) in thickness for 10-mm balls, 12 mm ( $\frac{1}{2}$  in.) thick for 5-mm balls, and 6 mm ( $\frac{1}{4}$  in.) thick for smaller balls.

18.1.1 The maximum surface area of the test block shall be 40 cm<sup>2</sup> (6 in.<sup>2</sup>) for balls less than 5 mm in diameter, and 150 cm<sup>2</sup> (24 in.<sup>2</sup>) for balls equal to or greater than 5 mm in diameter.

18.2 Each block shall be specially prepared and heat treated to give the necessary homogeneity and stability of structure.

18.3 The maximum error in parallelism shall not exceed 0.0008 mm/mm (in./in.) for blocks when used with balls having a diameter greater than or equal to 5 mm and 0.0002 mm/mm (in./in.) for blocks when used with balls having a diameter less than 5 mm. The maximum deviation in flatness of the block surfaces shall not exceed 0.02 mm (0.0008 in.) and 0.005 mm (0.0002 in.) for balls having diameters equal to or greater than 5 mm and less than 5 mm, respectively.

18.4 The supporting surface of the test block shall have a ground finish and shall have a mean surface roughness height rating that shall not exceed 0.0008-mm (32- $\mu$ in.) centerline average.

18.5 The test surface shall be free of scratches which would interfere with measurements of the diameters of the indentation.

18.5.1 The mean surface roughness height of the test surface rating shall not exceed 0.0003-mm (12- $\mu$ in.) center line average for the standard 10-mm ball. For smaller balls a maximum mean test surface roughness height rating of 0.00015 mm (6  $\mu$ in.) is recommended.

18.6 To permit checking that no material is subsequently removed from the standardized block, its thickness at the time of standardization shall be marked on it to the nearest 0.1 mm (0.004 in.), or an identifying mark shall be made on the test surface. (See Section 24.)

18.7 Each block, if of steel, shall be demagnetized by the manufacturer and maintained demagnetized by the user.

18.8 Each block must be uniquely serialized by the manufacturer for traceability.

#### 19. Standardizing Procedure

19.1 The standardized blocks shall be calibrated on a Brinell hardness testing machine which was verified in accordance with the requirements of 15.1.

19.2 The mechanism that controls the application of the force shall ensure that the speed of approach immediately before the ball touches the specimen and the speed of penetration does not exceed 1 mm/s (0.040 in./s).

19.3 The test force shall be within 0.25 % of the nominal force. Use of a Practice E 74 Class AA device will be required to verify the force.

19.4 The test force shall be applied for 10 to 15 s.

19.5 The standardized blocks shall be calibrated at a temperature of  $23 \pm 5^\circ\text{C}$ , using the general procedure described in Test Method A.

#### 20. Indenter

20.1 A ball conforming to the requirements of 15.1.2 shall be used for calibrating standardized hardness test blocks.

#### 21. Number of Indentations

21.1 At least five uniformly distributed indentations shall be made on the test surface of the block.

#### 22. Measurement of the Diameters of the Indentation

22.1 The illuminating system of the measuring device shall be adjusted to give uniform intensity over the field of view and maximum contrast between the indentations and the undisturbed surface of the block.

22.2 The measuring device shall be graduated to read 0.002 mm (0.00008 in.) for indentations made with balls of 5-mm diameter or larger and 0.001 mm (0.00004 in.) for indentations made with balls of smaller diameter.

22.3 The measuring device shall be checked by a stage micrometer, or by other suitable means to ensure that the difference between readings corresponding to any two divisions of the instrument is within  $\pm 0.001$  mm (0.00004 in.) for balls of less than 5-mm diameter and within  $\pm 0.002$  mm (0.00008 in.) for balls of larger diameter.

#### 23. Uniformity of Hardness

23.1 If  $d_1, d_2, \dots, d_n$  are the mean values of the measured diameters as determined by one observer and arranged in increasing order of magnitude, the range of the hardness readings, measured from the last block, is defined as  $d_n - d_1$ , where  $n =$  at least five indentations.

23.2 The range of hardness readings shall be equal to or less than 2 % of the mean diameter for Brinell hardness numbers equal to or less than 225 and 1 % for Brinell hardness number values greater than 225.

#### 24. Marking

24.1 Each standardized block shall be marked with the following:

24.1.1 The arithmetic mean of the hardness values found in the standardizing test and the type of ball used.

24.1.2 The name or mark of the supplier.

24.1.3 The serial number or other unique identification of the block.



24.1.4 Name or mark of the calibrating agency if different from supplier.

24.1.5 The thickness of the block or an official mark on the test surface (see 18.6).

24.1.6 The year of calibration. It is sufficient that the year of calibration be incorporated into the serial number of the block.

24.2 All of the markings except the official mark should be placed outside of the test area or on the side of the block. When the markings are on the side of the block, the markings shall be upright when the test surface is the upper face.

24.3 Each block shall be supplied with a certificate showing the results of the individual standardizing tests and the arithmetic mean of those tests, including the following:

24.3.1 Date of standardization,

24.3.2 Serial number of block, and

24.3.3 Name of manufacturer or mark of supplier.

## 25. Keywords

25.1 Brinell hardness; metallic

## SUMMARY OF CHANGES

Committee E28 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue E 10-00a that may impact the use of this standard. The numbering system used in this Summary reflects current numbering of this edition of E 10.

*NOTE 7*—Most of the changes listed below resulted from the new requirement for using only tungsten-carbide indenter balls and disallowing the use of steel indenter balls (see 5.2.2.2)

(1) 2.1 –E 74 title revised.

(2) 3 –definitions alphabetized and new numbering structure used.

(3) 3.1 –new title added.

(4) 3.1.1 (formerly 3.2) - revised

(5) Equation 1– editorial correction

(6) 3.1.1.1 (formerly Note 2) - revised

(7) 3.1.1.2 (formerly Note 3 ) - revised

(8) 3.1.1.3 (formerly part of Note 3)

(9) 3.1.1.4 (formerly part of Note 3)

(10) 3.1.2 (formerly 3.2) - revised

(11) 3.1.2.1 (formerly Discussion 1) - revised

(12) Former Discussion 2–deleted)

(13) Former Discussion 3 – deleted

(14) Table 1–revised and editorially corrected

(15) 3.1.3 (formerly 3.4)

(16) 3.1.4 (formerly 3.3)

(17) 5.2.2–replaced

(18) Former Note 5–deleted

(19) 5.2.2.2–added

(20) 5.2.3–revised

(21) Table 2–revised

(22) Table 3–revised

(23) Table 5–revised

(24) Table 6 (formerly Table 7) - revised

(25) Table 7 (formerly Table 6) - revised

(26) Former Table 8 - deleted

(27) 8.5–revised

(28) 11.1.1–revised

(29) 15.2.3–revised

(30) 15.2.3.1–revised

(31) 15.3.5- revised

(32) Table 9–renumbered as Table 8 and revised

(33) Summary of Changes added.

*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 C3

### ESPECIFICACIONES GENERALES DE TUBO RECTANGULAR



**DIPAC**<sup>®</sup>  
PRODUCTOS DE ACERO

RECTANGULAR

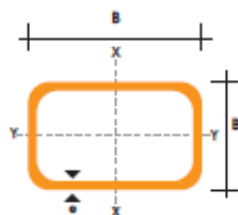
#### TUBO ESTRUCTURAL RECTANGULAR

##### Especificaciones Generales

<b>Norma</b>	ASTM A-500
<b>Recubrimiento</b>	Negro o galvanizado
<b>Largo normal</b>	6 mts.
<b>Otros largos</b>	Previa Consulta
<b>Dimensiones</b>	Desde 12mm x 25mm a 40mm x 80mm
<b>Esesor</b>	Desde 2,0mm a 3,0mm



DIMENSIONES			AREA		EJES X-X			EJES Y-Y		
A mm	B mm	ESPEOR mm	PESO Kglm	AREA cm2	I cm4	W cm3	I cm	I cm4	W cm3	I cm
20	40	1,2	1,09	1,32	2,81	1,30	1,12	0,88	0,88	0,83
20	40	1,5	1,35	1,85	3,26	1,83	1,40	1,09	1,09	0,81
20	40	2,0	1,78	2,14	4,04	2,02	1,37	1,33	1,33	0,79
25	50	1,5	1,71	2,10	6,39	2,56	1,74	2,19	1,75	1,02
25	50	2,0	2,25	2,74	8,37	3,35	1,75	2,80	2,24	1,01
25	50	3,0	3,30	4,14	12,56	5,02	1,74	3,99	3,19	0,99
30	50	1,5	1,88	2,25	7,27	2,91	1,80	3,32	2,21	1,21
30	50	2,0	2,41	2,94	9,52	3,81	1,80	4,28	2,85	1,21
30	50	3,0	3,30	4,21	12,78	5,11	1,74	5,66	3,77	1,16
30	70	2,0	3,03	3,74	22,20	6,34	2,44	5,85	3,90	1,25
30	70	3,0	4,48	5,41	30,50	8,71	2,37	7,84	5,23	1,20
40	60	1,5	2,29	2,91	14,90	4,97	2,26	7,94	3,97	1,65
40	60	2,0	3,03	3,74	18,08	6,13	2,22	9,81	4,90	1,62
40	60	3,0	4,48	5,41	25,31	8,44	2,16	13,37	6,69	1,57
30	70	1,5	2,34	2,91	18,08	5,17	2,49	4,76	3,17	1,28
30	70	2,0	2,93	3,74	22,20	6,34	2,44	5,85	3,90	1,25
30	70	3,0	4,25	5,41	30,50	8,71	2,37	7,84	5,23	1,20
40	80	1,5	2,76	3,74	31,75	7,94	2,91	10,77	5,39	1,70
40	80	2,0	3,66	4,54	37,32	9,33	2,87	12,70	6,35	1,67
40	80	3,0	5,42	6,81	52,16	13,04	2,81	17,49	8,75	1,63
50	100	2,0	4,52	5,74	74,94	14,99	3,61	25,65	10,26	2,11
50	100	3,0	6,71	8,41	106,34	21,27	3,56	35,97	14,39	2,07
50	150	2,0	6,17	7,74	207,45	27,66	5,18	37,17	14,87	2,19
50	150	3,0	9,17	11,41	298,35	39,78	5,11	52,54	21,02	2,15



## ANEXO C4

### ESPECIFICACIONES GENERALES DE PERFILES LAMINADOS UPN



**DIPAC**<sup>®</sup>  
PRODUCTOS DE ACERO



#### PERFILES LAMINADOS UPN

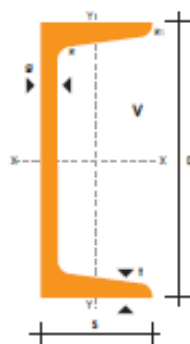
##### Especificaciones Generales

<b>Calidad</b>	ASTM A 36
<b>Otras calidades</b>	Previa Consulta
<b>Largo normal</b>	6,00 mts. Y 12,00 mts
<b>Otros largos</b>	Previa Consulta
<b>Acabado</b>	Natural
<b>Otro acabado</b>	Previa Consulta



UPN

DENOMINACION	DIMENSIONES						TIPOS					
	h mm	s mm	g mm	t mm	R mm	R1 cm4	SECCION cm2	PESOS kg/mt	Ix cm4	Iy cm4	Wx cm3	Wy cm3
UPN 50	50	38	5.00	7.00	7.00	3.50	7.12	5.59	26.40	9.12	10.60	3.75
UPN 65	65	42	5.50	7.50	7.50	4.00	9.03	7.09	57.50	14.10	17.70	5.07
UPN 80	80	45	6.00	8.00	8.00	4.00	1.10	8.64	106.00	19.40	26.50	6.36
UPN 100	100	50	6.00	8.50	8.50	4.50	13.50	10.60	206.00	29.30	41.20	8.49
UPN 120	120	55	7.00	9.00	9.00	4.50	17.00	13.40	364.00	43.20	60.70	11.10
UPN 140	140	60	7.00	10.00	10.00	5.00	20.40	16.00	605.00	62.70	86.40	14.80
UPN 160	160	65	7.50	10.50	10.50	5.50	24.00	18.80	905.00	85.30	116.00	18.30
UPN 180	180	70	8.00	11.00	11.00	5.50	28.00	22.00	1350.00	114.00	150.00	22.40
UPN 200	200	75	8.50	11.50	11.50	6.00	32.20	25.30	1910.00	148.00	191.00	27.00
UPN 220	220	80	9.00	12.50	12.50	6.50	37.40	29.40	2690.00	197.00	245.00	33.60
UPN 240	240	85	9.50	13.00	13.00	6.50	42.30	33.20	3600.00	248.00	300.00	39.60
UPN 260	260	90	10.00	14.00	14.00	7.00	48.30	37.90	4820.00	317.00	371.00	47.70
UPN 300	300	100	10.00	16.00	16.00	8.00	58.80	46.20	8030.00	495.00	535.00	67.80



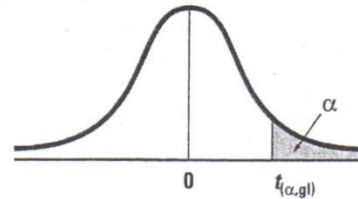
# **ANEXO D**

# ANEXO D1

## VALORES CRÍTICOS DE t

**Tabla E.3** Valores críticos de t

Para un número dado de grados de libertad, el elemento representa el valor crítico de t que corresponde a un área de la cola superior especificada ( $\alpha$ )



Grados de libertad	Áreas de la cola superior					
	.25	.10	.05	.025	.01	.005
1	1.0000	3.0777	6.3138	12.7062	31.8207	63.6574
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9646	9.9248
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8409
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7764	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0322
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9980	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6998	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5177	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7969
25	0.6844	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.6840	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.6837	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.6834	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.6830	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.6828	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
31	0.6825	1.3095	1.6955	2.0395	2.4528	2.7440
32	0.6822	1.3086	1.6939	2.0369	2.4487	2.7385
33	0.6820	1.3077	1.6924	2.0345	2.4448	2.7333
34	0.6818	1.3070	1.6909	2.0322	2.4411	2.7284
35	0.6816	1.3062	1.6896	2.0301	2.4377	2.7238
36	0.6814	1.3055	1.6883	2.0281	2.4345	2.7195
37	0.6812	1.3049	1.6871	2.0262	2.4314	2.7154
38	0.6810	1.3042	1.6860	2.0244	2.4286	2.7116
39	0.6808	1.3036	1.6849	2.0227	2.4258	2.7079
40	0.6807	1.3031	1.6839	2.0211	2.4233	2.7045
41	0.6805	1.3025	1.6829	2.0195	2.4208	2.7012
42	0.6804	1.3020	1.6820	2.0181	2.4185	2.6981
43	0.6802	1.3016	1.6811	2.0167	2.4163	2.6951
44	0.6801	1.3011	1.6802	2.0154	2.4141	2.6923
45	0.6800	1.3006	1.6794	2.0141	2.4121	2.6896
46	0.6799	1.3002	1.6787	2.0129	2.4102	2.6870
47	0.6797	1.2998	1.6779	2.0117	2.4083	2.6846
48	0.6796	1.2994	1.6772	2.0106	2.4066	2.6822
49	0.6795	1.2991	1.6766	2.0096	2.4049	2.6800
50	0.6794	1.2987	1.6759	2.0086	2.4033	2.6778

Fuente: Mark L. Berenson. (2001). Estadística para Administración. 2ª Edición.

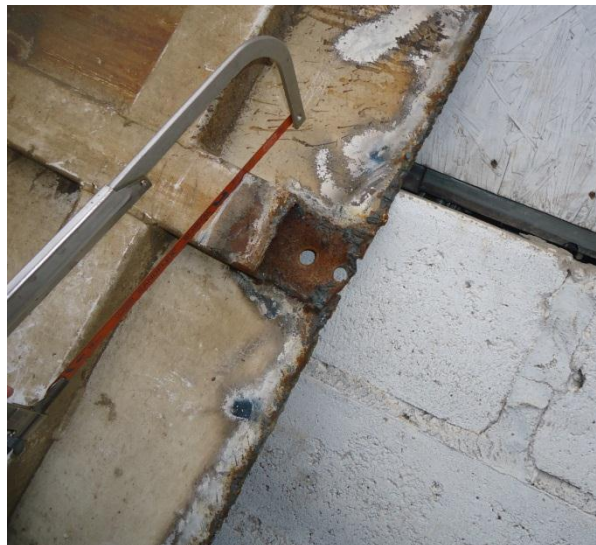
Editorial Pearson. México



## ANEXO D2

# OBTENCIÓN DE LA TOMA DE MUESTRAS Y REALIZACIÓN DE LA PRÁCTICA

### ANEXO D2-1: OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS



Corte y adquisición de una parte de la estructura del compactador





Corte de muestras más pequeñas de material

## ANEXO D2-2: PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS Y REALIZACIÓN DE LA PRÁCTICA



Muestras para el ensayo metalográfico y de Dureza



Máquina para montaje de la probeta de ensayo metalográfico.



Probetas para el ensayo metalográfico



Desbaste y lijado de probetas





Pulido y adquisición de datos

## ANEXO D2-3: EQUIPOS Y REALIZACIÓN DEL ENSAYO DE DUREZA



Adquisición de las muestras para el ensayo



Durómetro para la aplicación de la carga



Aplicación de la carga



Observación del tamaño de la huella



### ANEXO D3

## POSIBLES DAÑOS EN LA ESTRUCTURA DEL COMPACTADOR



Torcedura y daño en la geometría de la estructura



Corrosión en la estructura del compactador



Rotura, fractura y daño de la estructura



Disposición de juntas soldadas en los apoyos inferiores del pin de sujeción



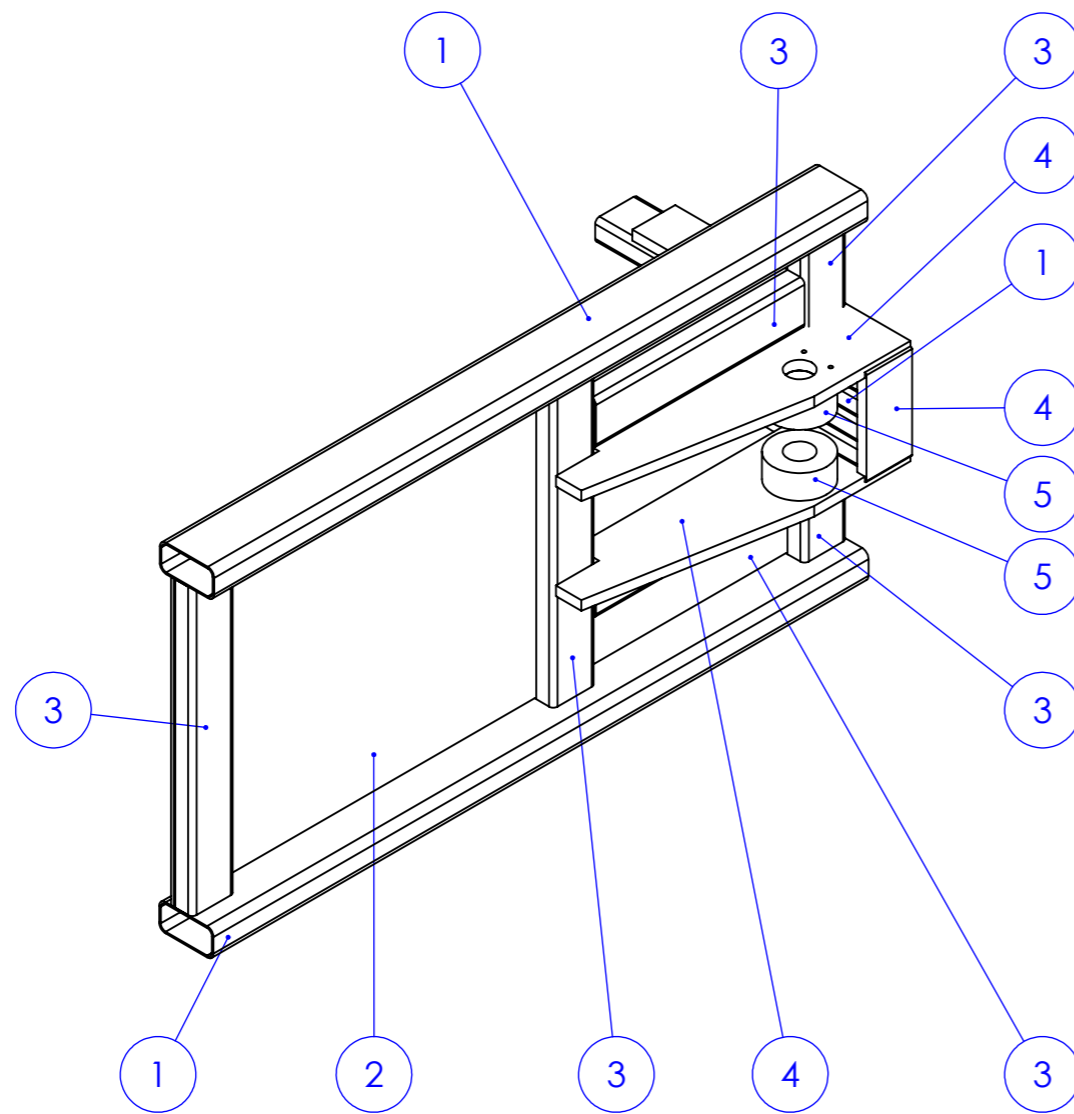
Bases inferiores de la estructura del compactador



Diseño original la estructura del compactador



**ANEXO D4**  
**PLANOS**



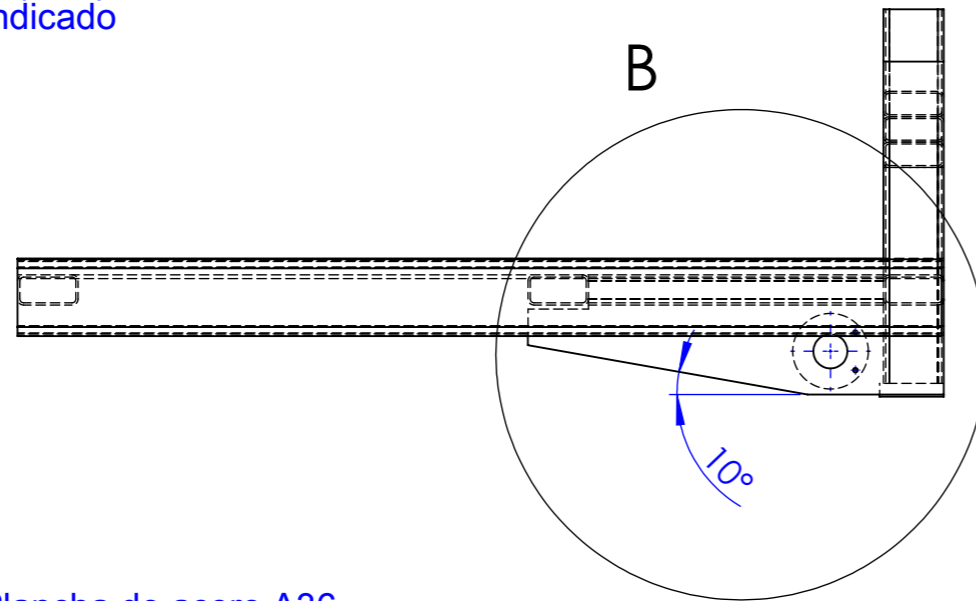
N° de pieza	Denominación	N° de Norma/dibujo	Material	N° de orden	N° del modelo/semiproducto	Peso Kg.	Observaciones
5	Apoyos pin	-	ASTM A36	2	Eje de $\varnothing 4$ in	41,61	Torno-Soldadura
4	Soportes base cilindros	-	ASTM A36	2	Plancha de $e=\frac{3}{4}$ in	23,63	Plasma-Soldadura
3	Tubo rectangular soporte	-	ASTM A37	2	80x40x3	17,89	Soldadura eléctrica
2	Cubierta del compactador	-	Hardox 400	2	Plancha de $e=3$ mm	39,99	Plasma-Soldadura
1	Tubo Rectangular Base	-	ASTM A37	2	100x50x3	11	Soldadura eléctrica

Tolerancia		(Peso)		Materiales: ACERO ASTM A 37			
±0,1		590,93 Kg					
Fecha		Nombre		Denominación: <b>ESTRUCTURA ORIGINAL DEL COMPACTADOR</b>		Escala: 1:10	
Dib.	26/07/13	Poveda Vladi					
Rev.	26/07/13	Ing. Guamanquispe J					
Apro.	26/07/13	Ing. Guamanquispe J					
UTA Ing. Mecánica				Número del dibujo: 1 de 4			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	(Sustitución)			

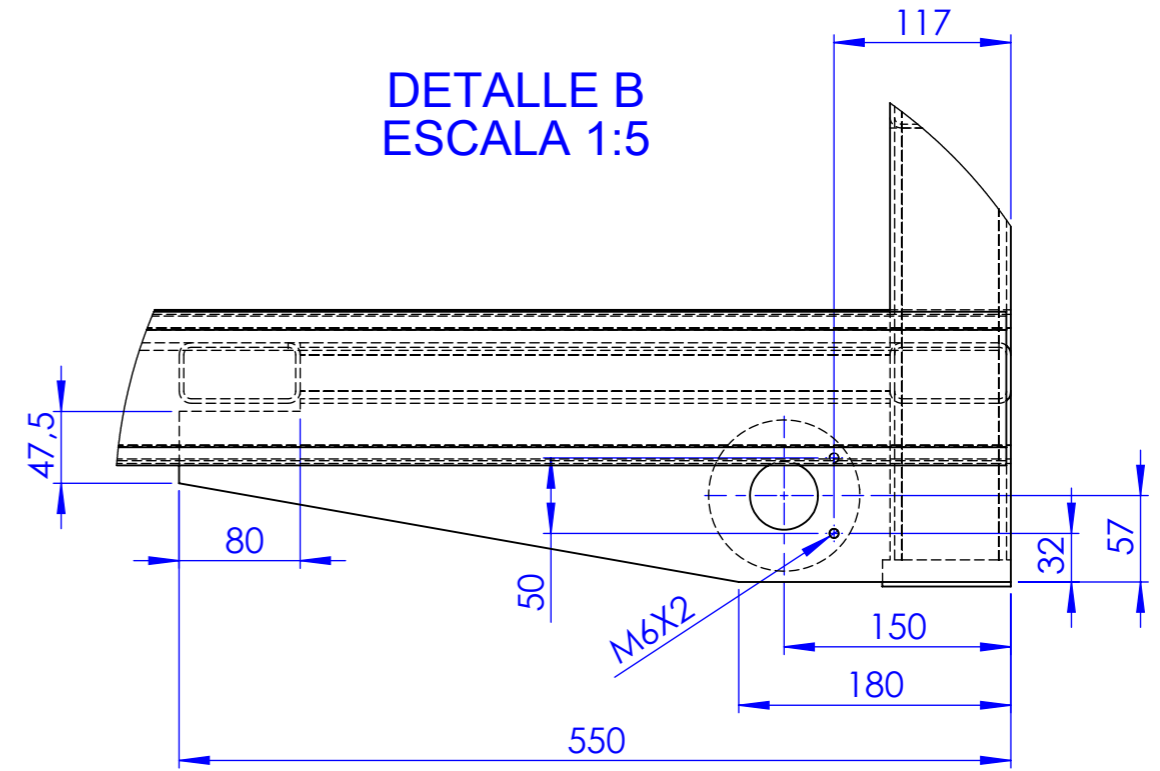
Nota:

1. Tubo rectangular 100x50x3(mm)

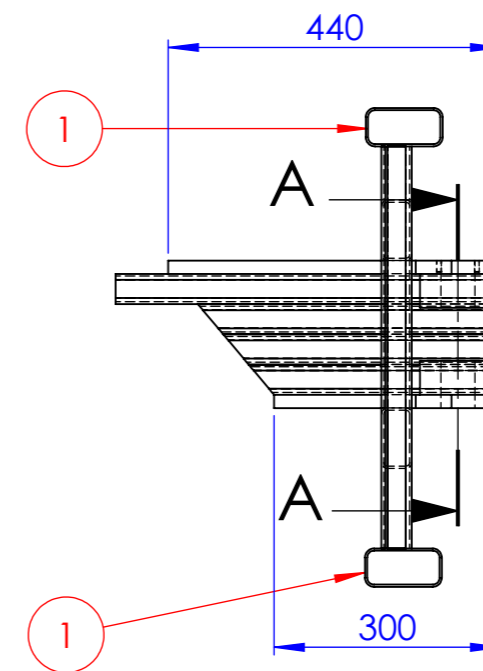
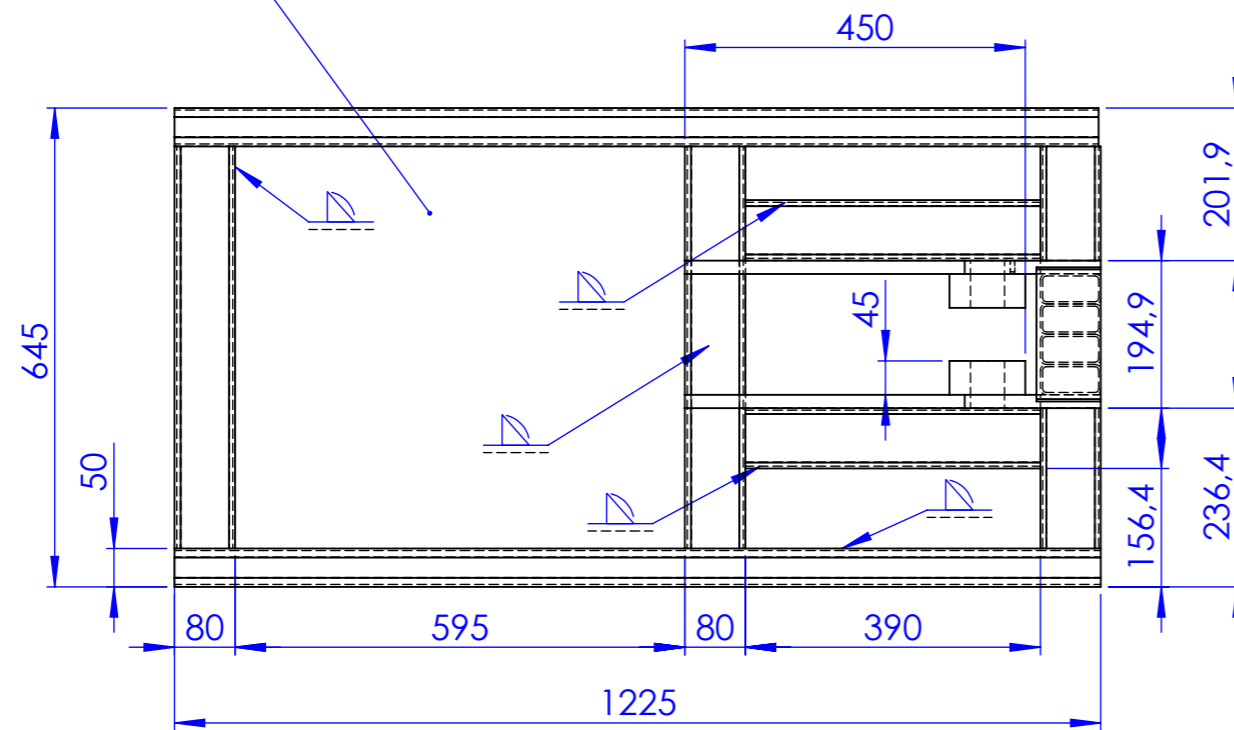
Los tubos estructurales utilizados son de 80x40x3(mm) Excepto el tubo indicado



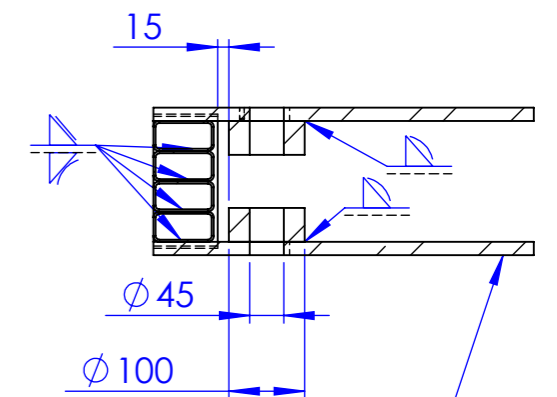
DETALLE B  
ESCALA 1:5



Plancha de acero A36  
e=3mm



SECCIÓN A-A

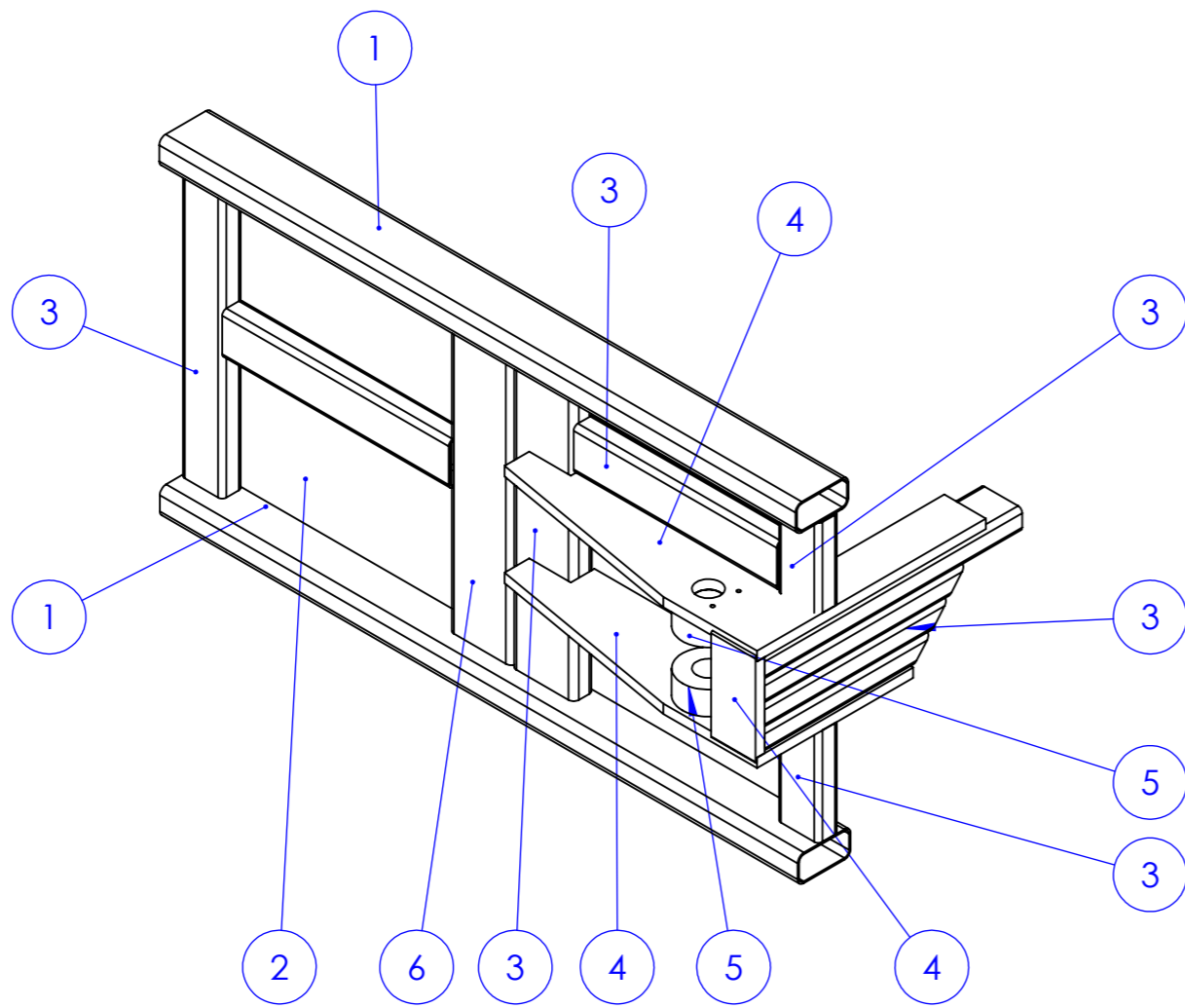


Plancha de acero  
ASTM A36 e=3mm

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	91,93 Kg	ACERO ASTM A 37	
					Fecha	Nombre	Denominación:
				Dib.	26/07/13	Poveda Vladi	
				Rev.	26/07/13	Ing. Guamanquispe J	
				Apro.	26/07/13	Ing. Guamanquispe J	ESTRUCTURA INFERIOR DEL COMPACTADOR ANTERIOR
							Número del dibujo:
							2 de 4
							(Sustitución)
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre	UTA Ing. Mecánica			







N° de pieza	Denominación	N° de Norma/dibujo	Material	N° de orden	N° del modelo/semiproducto	Peso Kg.	Observaciones
5	Tubo rectangular apoyo	-	ASTM A36	4	150x50x3(mm)	7,35	Soldadura eléctrica
5	Apoyos pin	-	ASTM A36	4	Eje de $\varnothing 4$ in	41,61	Torno-Soldadura
4	Soportes base cilindros	-	ASTM A36	4	Plancha de $e=\frac{3}{4}$ in	23,63	Plasma-Soldadura
3	Tubo rectangular soporte	-	ASTM A37	4	80x40x3(mm)	14,54	Soldadura eléctrica
2	Cubierta del compactador	-	Hardox 400	4	Plancha de $e=3$ mm	39,99	Plasma-Soldadura
1	Tubo Rectangular Base	-	ASTM A37	4	100x50x3(mm)	11	Soldadura eléctrica

Tolerancia		(Peso)		Materiales: ACERO ASTM A 37			
±0,1		590,93 Kg					
Fecha		Nombre		Denominación: <b>ESTRUCTURA MODIFICADA DEL COMPACTADOR</b>			Escala: 1:10
Dib.	26/07/13	Poveda Vladi					
Rev.	26/07/13	Ing. Guamanquispe J					
Apro.	26/07/13	Ing. Guamanquispe J					
UTA Ing. Mecánica				Número del dibujo: 3 de 4			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	(Sustitución)			