

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

TRABAJO ESTRUCTURADO DE MANERA INDEPENDIENTE

TEMA:

“ESTUDIO DEL TIEMPO Y NÚMERO DE REVENIDOS DEL ACERO AISI 1045 TEMPLADO EN ACEITE DE OLIVA Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES MECANICAS.”

Trabajo de investigación

Previo a la obtención del Título De Ingeniero Mecánico

Autor: Daniel Alejandro Villegas Proaño

Tutor: Ing. Mg. Segundo Manuel Espín Lagos

AMBATO - ECUADOR

Abril-2014

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del trabajo de investigativo “**Estudio del tiempo y número de revenidos del acero AISI 1045 templado en aceite de oliva y su influencia en las propiedades mecánicas**”, elaborado por el Señor Daniel Alejandro Villegas Proaño, egresado de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Certifico:

- Que la presente tesis es original de su autor.
- Ha sido revisado en cada uno de sus capítulos.
- Está concluido y puede continuar con el trámite correspondiente.

Ambato, Abril de 2014

Ing. Mg. Segundo Manuel Espín Lagos
TUTOR DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

AUTORÍA DE LA TESIS

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el trabajo de investigación con el tema: “ **ESTUDIO DEL TIEMPO Y NÚMERO DE REVENIDOS DEL ACERO AISI 1045 TEMPLADO EN ACEITE DE OLIVA Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES MECANICAS** ” nos corresponde exclusivamente a Daniel Alejandro Villegas Proaño y al Ing. Mg. Segundo Manuel Espín Lagos Tutor del Trabajo de Investigación; el Patrimonio Intelectual del mismo a la Universidad Técnica de Ambato.

Daniel Alejandro Villegas Proaño

DEDICATORIA

A mi Madre y Padre quienes me han dado la vida, y siempre han visto la manera de ponerme sonrisas, y sus mayores deseos son que alcance mis metas.

A mis Hermanos, que los veo como un empleo a seguir.

A mi Abuelita que siempre me recibe con mucho amor y cariño, y me muestra paciencia para hacer las cosas.

A un ser divino e inesperado que entró en mi vida, su esencia y sus palabras quedaron marcadas en mí, ha sido el justo aliento, a ti Gisselle.

AGRADECIMIENTO

A Dios porque está en cada instante de mi vida, clama mis angustias , temores y me da fortaleza.

A mis Amigos que me han dado consejos y han sabido apoyarme.

A los Ingenieros que me brindaron su conocimiento y compartieron su experiencia.

A mis compañeros de entrenamiento y a mi Maestro Francisco Fiallos quien me enseña el maravilloso arte del TKD, del que tengo presente el esfuerzo y la perseverancia.

PAGINAS PRELIMINARES

TÍTULO	I
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	II
AUTORÍA DE LA TESIS	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
RESUMEN EJECUTIVO.....	XVI

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I.....	1
1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2.1 Contextualización	1
1.2.2 Análisis crítico	2
1.2.3 Prognosis.....	3
1.2.4 Formulación del problema.....	3
1.2.5 Preguntas directrices	3
1.2.6 Delimitación del problema.....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN	4
1.4 OBJETIVOS	5
1.4.1 Objetivo general.....	5
1.4.2 Objetivos específicos	5
CAPÍTULO II	6
2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	6
2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA	7
2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL.....	7
2.4 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES	8
2.4.1 Ingeniería de materiales	8
2.4.2 Metalurgia física	11
2.4.3 Tratamiento térmico del acero	17
2.4.4 Ciencia e ingeniería de materiales	22
2.4.5 Propiedades mecánicas	25
2.5 HIPÓTESIS.....	38
2.5.1 Unidades de observación o de análisis	38
2.5.2 Señalamiento de las variables	38
CAPITULO III.....	39
3. METODOLOGÍA	39
3.1 ENFOQUE.....	39
3.2 MODALIDAD Y TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	39

3.2.1 Modalidad	39
3.2.2 Tipo	40
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA	41
3.3.1 Población	41
3.3.2 Muestra	41
3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	42
3.4.1 Variable independiente	42
3.4.2 Variable dependiente	43
3.5 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	44
3.6 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	44
CAPITULO IV	45
4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	45
4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS	45
4.2 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS	46
4.2.1 Especificaciones material utilizado: Acero AISI 1045	48
4.2.2 Especificaciones del tratamiento térmico de temple aplicado a todos los casos de estudio	48
4.2.3 Especificaciones del tratamiento térmico de revenido	49
4.2.4 Evaluación del ensayo de tracción	58
4.2.5 Análisis del ensayo metalográfico	88
4.2.6 Evaluación del ensayo de dureza	128
4.3 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	148
4.3.1 Interpretación de los resultados del ensayo de tracción	148
4.3.2 Interpretación de los resultados del ensayo de dureza	178
4.3.3 Interpretación de los resultados del ensayo metalográfico	180
4.4 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS	182
CAPÍTULO V	189
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	189
5.1 Conclusiones	189
5.2 Recomendaciones	191
CAPITULO VI	193
6. PROPUESTA	193
6.1 DATOS INFORMATIVOS	193
6.2 Antecedentes de la propuesta	194

6.3	Justificación.....	195
6.4	OBJETIVOS	195
6.4.1	Objetivo general.....	195
6.4.2	Objetivos específicos	196
6.5	ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD	196
6.5.1	Análisis económico.....	197
6.5.2	Análisis tecnológico.....	198
6.6	FUNDAMENTACIÓN	198
6.7	METODOLOGÍA	199
6.7.1	Adquisición del material	200
6.7.2	Maquinado de las probetas	201
6.7.3	Realización del tratamiento térmico temple	202
6.7.4	Realización del tratamiento térmico revenidos consecutivos	204
6.7.5	Análisis metalográfico	206
6.7.6	Ensayos mecánicos	212
6.8	ADMINISTRACIÓN.....	219
6.9	PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN.....	220
6.10	BIBLIOGRAFÍA	221
6.10.1	Libros	221
6.10.2	Biblioteca virtual UTA	222

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: La utilización del conocimiento combinado de los materiales a partir de la ciencia de materiales y de la ingeniería de materiales capacita a los ingenieros para convertir los materiales en productos requeridos por la sociedad	9
Figura 2.2: Diagrama de Ven que muestra los tres tipos de materiales básicos más los compuestos	10
Figura 2.3: Sierras y hachas de piedra	11
Figura 2.4: La producción de productos metálicos a gran escala se logra en las modernas fábricas de acero	12
Figura 2.5: Horno para la fundición de hierro	14
Figura 2.6: Poco antes de la revolución industrial el trabajo del hierro se había convertido en un oficio altamente calificado	16
Figura 2.7: Representación esquemática de los cambios en microestructura durante el recocido de un acero al 0.20% de carbono	18
Figura 2.8: Influencia de la temperatura de revenido sobre la dureza y tenacidad de un acero 4140	20
Figura 2.9: Gamas de temperatura que se utilizan para el temple de acero al carbono	21
Figura 2.10: Aplicación de las principales cargas	27
Figura 2.11: Probeta de tracción normalizada	28
Figura 2.12: Máquina universal	28
Figura 2.13: Ensayos de dureza Brinell y Rockwell	31
Figura 2.14: Comparación de las varias escalas de dureza	35
Figura 2.15: Relación entre la dureza y resistencia a tracción para el acero, el latón y la fundición	36
Figura 2.16: El trazo medio muestra el efecto de la temperatura sobre los valores de impacto	37
Figura 2.17: Influencia de la rapidez de deformación unitaria en las propiedades de tensión	38
Figura 4.1: Comparación del módulo de elasticidad del revenido consecutivo a 100°C durante 1 hora de permanencia	148
Figura 4.2: Comparación de la resistencia a tracción y a la cedencia del revenido consecutivo a 100°C durante 1 hora de permanencia	149
Figura 4.3: Comparación del % de elongación y % de reducción de área del revenido consecutivo a 100°C durante 1 hora de permanencia	149
Figura 4.4: Comparación del módulo de elasticidad del revenido consecutivo a 100°C durante 2 horas de permanencia	151

Figura 4.5: Comparación de la resistencia a tracción y a la cedencia del revenido consecutivo a 100°C durante 2 horas de permanencia	151
Figura 4.6: Comparación del % de elongación y % de reducción de área del revenido consecutivo a 100°C durante 2 horas de permanencia.	152
Figura 4.7: Comparación del módulo de elasticidad del revenido consecutivo a 200°C durante 1 hora de permanencia	153
Figura 4.8: Comparación de la resistencia a tracción y a la cedencia del revenido consecutivo a 100°C durante 2 horas de permanencia	154
Figura 4.9: Comparación del % de elongación y % de reducción de área del revenido consecutivo a 200°C durante 1 hora de permanencia.....	154
Figura 4.10: Comparación del módulo de elasticidad del revenido consecutivo a 200°C durante 2 horas de permanencia.....	156
Figura 4.11: Comparación de la resistencia a tracción y a la cedencia del revenido consecutivo a 200°C durante 2 horas de permanencia	156
Figura 4.12: Comparación del % de elongación y % de reducción de área del revenido consecutivo a 200°C durante 2 horas de permanencia	157
Figura 4.13: Comparación del módulo de elasticidad del revenido consecutivo a 426°C durante 1 hora de permanencia	158
Figura 4.14: Comparación de la resistencia a tracción y a la cedencia del revenido consecutivo a 200°C durante 2 horas de permanencia	159
Figura 4.15: Comparación del % de elongación y % de reducción de área del revenido consecutivo a 200°C durante 2 horas de permanencia	159
Figura 4.16: Comparación del módulo de elasticidad del revenido consecutivo a 426°C durante 1 hora de permanencia	161
Figura 4.17: Comparación de la resistencia a tracción y a la cedencia del revenido consecutivo a 426°C durante 2 horas de permanencia	161
Figura 4.18: Comparación del % de elongación y % de reducción de área del revenido consecutivo a 426°C durante 2 horas de permanencia	162
Figura 4.19: Comparación del módulo de elasticidad entre revenidos consecutivos a 100°C durante 1 y 2 horas de permanencia.	163
Figura 4.20: Comparación del módulo de elasticidad entre revenidos consecutivos a 200°C durante 1 y 2 horas de permanencia.	164
Figura 4.21: Comparación del módulo de elasticidad entre revenidos consecutivos a 426°C durante 1 y 2 horas de permanencia.	164
Figura 4.22: Comparación de la resistencia a tracción entre revenidos consecutivos a 100°C durante 1 y 2 horas de permanencia.	165
Figura 4.23: Comparación de la resistencia a tracción entre revenidos consecutivos a 200°C durante 1 y 2 horas de permanencia.	166
Figura 4.24: Comparación de la resistencia a tracción entre revenidos consecutivos a 426°C durante 1 y 2 horas de permanencia.	166

Figura 4.25: Comparación de la resistencia a la cedencia entre revenidos consecutivos a 100°C durante 1 y 2 horas de permanencia.	167
Figura 4.26: Comparación de la resistencia a la cedencia entre revenidos consecutivos a 200°C durante 1 y 2 horas de permanencia.	168
Figura 4.27: Comparación de la resistencia a la cedencia entre revenidos consecutivos a 426°C durante 1 y 2 horas de permanencia.	168
Figura 4.28: Comparación de la ductilidad entre revenidos consecutivos a 100°C durante 1 y 2 horas de permanencia.	169
Figura 4.29: Comparación de la reducción de área entre revenidos consecutivos a 100°C durante 1 y 2 horas de permanencia.	169
Figura 4.30: Comparación de la ductilidad entre revenidos consecutivos a 200°C durante 1 y 2 horas de permanencia.	170
Figura 4.31: Comparación de la reducción de área entre revenidos consecutivos a 200°C durante 1 y 2 horas de permanencia.	170
Figura 4.32: Comparación de la ductilidad entre revenidos consecutivos a 426°C durante 1 y 2 horas de permanencia.	171
Figura 4.33: Comparación de la reducción de área entre revenidos consecutivos a 426°C durante 1 y 2 horas de permanencia.	171
Figura 4.34: Valores de la resistencia a tracción.	174
Figura 4.35: Superficie formada con los valores de resistencia a tracción	175
Figura 4.36: Vista rotada de la superficie formada con los valores de resistencia a tracción.	175
Figura 4.37: Valores de la resistencia a la cedencia.	176
Figura 4.38: Superficie formada con los valores de resistencia a la cedencia	177
Figura 4.39: Vista rotada de la superficie formada con los valores de resistencia a la cedencia.	177
Figura 4.40: Comparación de durezas.	178
Figura 4.41 Comparación del tamaño de grano ASTM.	180
Figura 4.42 Crecimiento del grano.	181
Figura 6.1: Eje de acero AISI 1045 de fábrica, diámetro de ¾ de pulgada	200
Figura 6.2: Probetas para ensayo de tracción según norma ASTM E-8 espécimen 1.	201
Figura 6.3: Probetas al rojo vivo alcanzadas el tiempo y temperatura de permanencia para el temple.	202
Figura 6.4: Enfriamiento rápido en aceite de oliva	203
Figura 6.5: Ingreso de probetas para ser aplicadas el primer revenido consecutivo	204

Figura 6.6: Ingreso de probetas para ser aplicadas el segundo revenido consecutivo.....	205
Figura 6.7: Corte de la probeta para el análisis metalográfico.....	206
Figura 6.8: Paso de la probeta por el banco de lijas.....	207
Figura 6.9: Paso de la probeta por el banco de lijas.....	208
Figura 6.10: Secado de la probeta.....	209
Figura 6.11: Ataque químico, reactivo Nital 2.....	210
Figura 6.12: Observación en el microscópico.....	211
Figura 6.13: Ensayo de tracción.....	212
Figura 6.14 Gráfica esfuerzo deformación probeta 2.2.....	217
Figura 6.15 Ensayo de dureza.....	218

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Comparación de ensayos de dureza típicos.....	32
Tabla 2.2. Técnicas de ensayo de dureza	33
Tabla 3.1. Casos de estudios	41
Tabla 3.2. Operacionalización de la variable independiente.....	42
Tabla 3.3. Operacionalización de la variable dependiente.....	43
Tabla 4.1. Denominación de las probetas para los respectivos ensayos	47
Tabla 4.2. Resultado del ensayo de tracción aplicado a las probetas del revenido consecutivo a 100°C durante 1 hora de permanencia.....	148
Tabla 4.3. Resultado del ensayo de tracción aplicado a las probetas del revenido consecutivo a 100°C durante 2 horas de permanencia.	150
Tabla 4.4. Resultado del ensayo de tracción aplicado a las probetas del revenido consecutivo a 200°C durante 1 hora de permanencia.....	153
Tabla 4.5. Resultado del ensayo de tracción aplicado a las probetas del revenido consecutivo a 200°C durante 2 horas de permanencia.	155
Tabla 4.6. Resultado del ensayo de tracción aplicado a las probetas del revenido consecutivo a 426°C durante 1 hora de permanencia.....	158
Tabla 4.7. Resultado del ensayo de tracción aplicado a las probetas del revenido consecutivo a 426°C durante 2 horas de permanencia	160
Tabla 4.8. Valores del Módulo de elasticidad.....	172
Tabla 4.9. Valores de la resistencia a tracción	172
Tabla 4.10. Valores de la resistencia a la fluencia	173
Tabla 4.11. Valores de ductilidad	173
Tabla 4.12. Valores de reducción de área	173
Tabla 4.13. Porcentajes de reducción de la resistencia a tracción	174
Tabla 4.14. Porcentajes de incremento de la resistencia a la cedencia	176
Tabla 4.15. Valores de dureza HRC promedio	178
Tabla 4.16. Porcentajes de decremento de la dureza	179
Tabla 4.17. Desviación estándar la dureza promedio	179
Tabla 4.18. Tamaño de grano.....	180
Tabla 4.19. Comparación de los valores de la resistencia a la tracción	183
Tabla 4.20. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.....	183
Tabla 4.21. Comparación de los valores de la resistencia a la cedencia.....	184
Tabla 4.22. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.....	184
Tabla 4.23. Comparación de la ductilidad	185

Tabla 4.24. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.....	185
Tabla 4.25. Comparación de la reducción de área	186
Tabla 4.26. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.....	186
Tabla 4.27. Comparación de la dureza.....	187
Tabla 4.28. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.....	187
Tabla 4.29. Resultado del t de student	188
Tabla 6.1. Presentación costos directos de la investigación.....	197
Tabla 6.2. Presentación costos directos de la investigación.....	198
Tabla 6.3. Datos informativos y valores registrados después del ensayo de tracción.....	213
Tabla 6.4. Parámetros calculados para determinar el módulo de elasticidad.....	216
Tabla 6.5. Desglose del costo de la investigación.....	219
Tabla 6.6. Desglose del costo del proceso.	220

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA MECÁNICA

Autor: Daniel Alejandro Villegas Proaño

Tutor: Ing. Mg. Segundo Espín

Fecha: Abril de 2014

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de investigación muestra la aplicación de un tratamiento térmico de revenidos en forma consecutiva en el acero AISI 1045 previamente templado en aceite de oliva como medio de enfriamiento. Este tipo tratamiento térmico se realizó en un horno de mufla, en el cual se fue variando el tiempo de permanencia, para 1 y 2 horas. De igual manera se varió la temperatura de revenido y se empleó tres diferentes: a 100°C, 200°C y 426°C, consideradas como baja, media y alta respectivamente. Y se aplicó hasta tres revenidos consecutivos. Se utilizaron los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato para realizar los ensayos de resistencia a tracción, dureza Rockwell C y análisis metalográfico, para determinar y comparar las propiedades mecánicas de cada uno de los casos. Al analizar los resultados de los ensayos mencionados, y al haber realizado las comparaciones entre los diferentes casos establecidos para este estudio, se pudo apreciar que al realizar un segundo revenido consecutivo a una temperatura de 100°C durante una hora de permanencia la resistencia a tracción y dureza no han disminuido su valor significativamente, mientras que la resistencia a la cedencia, la ductilidad y reducción de área presentaron un aumento significativo en sus valores en comparación con las probetas templadas en aceite de oliva.

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN

“ESTUDIO DEL TIEMPO Y NÚMERO DE REVENIDOS DEL ACERO AISI 1045 TEMPLADO EN ACEITE DE OLIVA Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS”

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Contextualización

A nivel mundial los tratamientos térmicos en aceros son procesos comúnmente aplicados para mejorar las propiedades mecánicas en el procesamiento de los aceros para uso industrial. Su principio se basa en someter el material a ciclos de calentamiento, sostenimiento y enfriamiento que puede variar de acuerdo a las propiedades deseadas en el material.

Los aceros presentan la posibilidad de obtener propiedades mecánicas muy diferentes mediante modificaciones microestructurales, basadas en la variación de los tratamientos térmicos realizados en los diferentes procesos de fabricación. La microestructura más idónea dependerá en cada caso de las especificaciones requeridas en servicio para cada pieza o componente. La optimización de cada tratamiento térmico será fundamental para conseguir las mejores prestaciones de cada acero.

Siendo el temple y revenido tratamientos térmicos comúnmente aplicados en los aceros y que han sido temas de gran importancia para investigaciones, como es el caso de J. Oroño, R. Gamboa y M. Roso del departamento de Ingeniería y Ciencia de los materiales de la Universidad Politécnica de Madrid quienes realizaron un

estudio sobre "Tratamientos de revenido de larga duración en aceros de Temple al aire" llegando a manifestar que:

Para intentar conseguir un aumento de los valores de alargamiento sin reducir significativamente el resto de propiedades se pensó en realizar un segundo tratamiento de revenido a las muestras que habían alcanzado una transformación de la austenita casi completa como era las tratadas durante 5 horas a 300°C y el tiempo de tratamiento era relativamente corto [1] [Oroño, 2010]

En nuestro país la mayoría de tratamientos térmicos se han desarrollado empíricamente y a pesar de que se puedan basar en teorías plenamente aceptadas para realizar tratamientos como el temple-revenido en una pieza metálica es difícil explicar la variación que ocurre en las propiedades en este, llegando en muchos casos a producir mayor riesgo de comprometer la seguridad si la pieza llegara a fallar en una aplicación crítica.

En la Universidad Técnica de Ambato no se han realizado temas de estudio acerca de la influencia de tratamientos térmicos consecutivos de revenidos sobre las propiedades mecánicas del acero AISI 1045, con el mismo se quiere analizar la variación tanto de la dureza como de la resistencia a tracción que presentará este acero al ser aplicado varios revenidos, en las mismas condiciones de temple.

1.2.2 Análisis crítico

Los tratamientos térmicos son críticos en el diseño y construcción de piezas ya que se arriesgan materiales, largas horas de mecanizado y se tienen pocos profesionales y técnicos en el Ecuador dedicados a la realización de estos procesos.

El presente trabajo de investigación analizará las propiedades mecánicas, dureza y resistencia a tracción del acero AISI 1045 al ser aplicado uno, dos y tres revenidos consecutivos después de un temple, mediante la realización de ensayos experimentales en los mismos que se irá variando tanto la temperatura como el tiempo de revenido. Su finalidad es presentar conclusiones que permitan más adelante servir de base para el planeamiento y ejecución de proyectos orientados a determinar el comportamiento de este acero ante este proceso.

1.2.3 Prognosis

En caso de no llevarse a efecto el estudio propuesto sobre la influencia del tiempo y número de revenidos sobre la dureza y resistencia a tracción del acero AISI 1045 no podrá contribuir con la industria en la determinación de operaciones de tratamiento térmico para la mejora de propiedades en piezas metálicas aplicadas en el área de manufactura.

Además es importante señalar que el estudio pretende servir a estudiantes de ingeniería mecánica y a ingenieros como fuente de referencia para contribuir con otro tipo de estudios enfocados a la determinación del comportamiento de un acero a ser sometido a tratamientos térmicos

1.2.4 Formulación del problema

¿Qué mejora se puede obtener en las propiedades mecánicas al realizar revenidos de forma consecutiva en el acero AISI 1045 templado en aceite de oliva?

1.2.5 Preguntas directrices

¿Se obtendrá probetas de acero AISI 1045 templadas en aceite de oliva con parámetros establecidos?

¿Cuál será la dureza y resistencia a tracción que presentan las probetas templadas?

¿Cuál será el tiempo y temperatura de revenido para las diferentes muestras de acero AISI 1045 templadas en aceite de oliva?

¿Se realizará los ensayos de revenido a los diferentes parámetros establecidos de temperatura y tiempo?

¿Cuál será la dureza y resistencia a tracción que presentan las probetas revenidas?

¿Se podrá comparar la dureza, resistencia a tracción y características metalográficas de los diferentes ensayos realizados durante el estudio?

1.2.6 Delimitación del problema

1.2.6.1 De contenido

Campo: Ingeniería mecánica

Área: Tratamientos térmicos, metalurgia física, ingeniería de materiales.

1.2.6.2 Especial

La investigación se realizó en la Universidad Técnica de Ambato, ubicada en la Av. de Los Chasquis y Av. Los Atis, entre Rio Guayllabamba y Rio Payamino, específicamente en el Laboratorio de Ingeniería de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

1.2.6.3 Temporal

La investigación se realizó durante el período Junio 2013-Abril 2014.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Las propiedades y el comportamiento de los metales y sus aleaciones durante la manufactura, así como su desempeño durante su vida útil, dependen de su composición estructura y del tratamiento térmico que se han sido sometidos. Los elementos de la aleación y los procesos de tratamientos térmicos influyen en gran medida en propiedades importantes como la resistencia, dureza, ductilidad.

El ejemplo más común de mejoramiento de las propiedades es el tratamiento térmico que modifica las microestructuras, a partir de ellos produce varias propiedades mecánicas que son importantes en la manufactura. Estas propiedades también mejoran el desempeño en el servicio de los metales utilizados en componentes de máquinas como engranes, levas, flechas y en herramientas matrices y moldes.

Ante todo esto es evidente que los tratamientos térmicos de los aceros son de suma importancia dentro de la manufactura por lo que para este estudio se ha seleccionado el acero AISI 1045, por ser un acero empleado en la fabricación de elementos de máquinas y que debe presentar buenas condiciones al momento de ser maquinado. Por lo que es importante conocer cómo influyen los tratamientos térmicos en las propiedades mecánicas, siendo en este caso de estudio la aplicación de varios revenidos en una misma probeta de acero AISI 1045, para posteriormente analizar las propiedades de dureza y resistencia a la tracción.

Se ha seleccionado aceite de oliva como medio de temple para las probetas de acero AISI 1045, ya que de acuerdo al estudio realizado por la ingeniera Ximena Criollo de la Universidad Técnica de Ambato con el tema: “Estudio del temple en el acero utilizando grasas vegetales y su incidencia en las propiedades mecánicas”, el aceite de oliva es el medio más idóneo para realizar el temple

Las temperaturas de revenido fueron establecidas de acuerdo a la bibliografía recolectada y al conocimiento por parte del tutor en el área de ingeniería de materiales y en el área de tratamientos térmicos del acero.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

- Estudiar el tiempo y número de revenidos del acero AISI 1045 templado en aceite de oliva y su influencia en las propiedades mecánicas.

1.4.2 Objetivos específicos

- Obtener probetas de acero AISI 1045 templadas en aceite de oliva sometidas a parámetros establecidos.
- Determinar la dureza y resistencia a tracción de las probetas templadas.
- Establecer el tiempo y temperatura de revenido para las diferentes probetas templadas de acero AISI 1045.
- Realizar los ensayos de revenido a los diferentes parámetros establecidos de temperatura y tiempo.
- Determinar la dureza y resistencia a tracción de las probetas revenidas
- Comparar los resultados obtenidos entre los distintos ensayos realizados.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Para el presente estudio se ha tomado como referencia la investigación realizada con anterioridad, por Oñoro López, Javier Gamboa Atienza y Rafael Roso Sánchez, Manuel publicada en España en el 2010 con el tema “Tratamientos de revenido de larga duración en aceros de temple al aire” llegando a las siguientes conclusiones:

- Se ha desarrollado para el acero 90MnCrV8 un tratamiento de revenido contando especialmente con las limitaciones de operatividad del fabricante y tratando de que su proceso productivo requiriese las menores modificaciones posibles. Se seleccionó finalmente como mejor combinación de propiedades el mantener las condiciones de temple al aire que realizaba habitualmente el fabricante y luego dar un tratamiento de doble revenido el primero a 300°C durante cinco horas seguido de un segundo revenido a 500°C durante una hora. Para ello podían utilizarse dos hornos distintos de los que disponía el fabricante.
- La microestructura obtenida después del tratamiento de doble revenido ha sido una combinación de bainita y bainita revenida.
- Los valores de propiedades mecánicas conseguidos han sido muy elevados habiendo aumentado a más del doble las propiedades mecánicas de límite elástico y tensión de rotura que el fabricante obtenía en su fabricación convencional, manteniendo unos niveles de dureza superiores a los 45HRc requeridos en sus especificaciones de fabricación. El alargamiento obtenido con este tratamiento ha sido próximo al 3%.

2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

El desarrollo de esta investigación está orientado al entendimiento del cambio de la dureza y resistencia a tracción del acero AISI 1045 ante el efecto de la aplicación de hasta tres tratamientos térmicos de revenidos consecutivos, y que previamente han sido sometidos a un temple.

2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL

La normativa en la cual se sustentará el tema de investigación sobre el estudio planteado, es la siguiente:

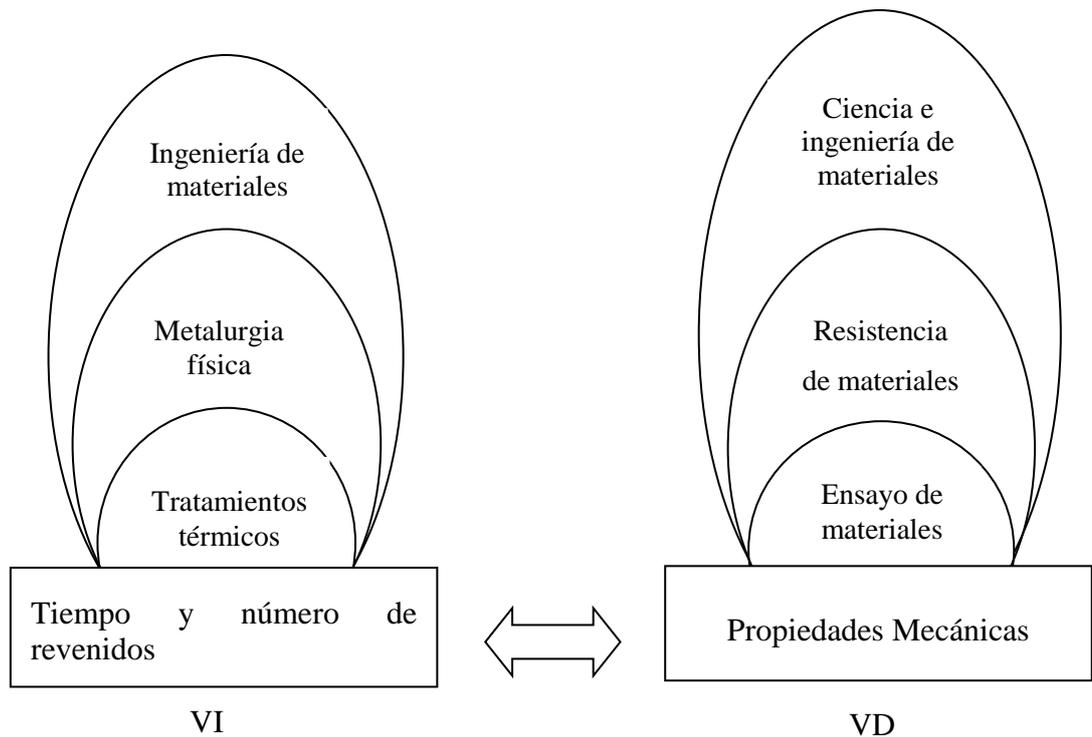
ASTM E-3.- Especificación Estándar para la preparación de muestras metalográficas.

ASTM E-18.- Métodos de prueba estándar para determinar la dureza de Rockwell y Dureza Rockwell Superficial de los Materiales Metálicos.

ASTM E8.- Método de prueba estándar para ensayo de tracción de materiales metálicos.

ASTM E-112.- Método de prueba para determinación del tamaño promedio de grano.

2.4 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES



2.4.1 Ingeniería de materiales

La ciencia e ingeniería es campo interdisciplinario que se ocupa inventar nuevos materiales y mejorar los ya conocidos, mediante el desarrollo de un conocimiento más profundo de las relaciones entre microestructura, composición, síntesis y procesamiento.

El término composición indica la constitución química de un material. El término estructura significa una descripción del arreglo atómico, visto con distintos grados de detalle. Los científicos y los ingenieros en materiales no sólo tienen que ver con el desarrollo de materiales, sino correspondientes a la producción de componentes. El término síntesis indica la manera de fabricar los materiales a partir de elementos naturales o hechos por el hombre. El término procesamiento indica el medio en que se conforman los materiales en componentes útiles y para causar cambios en las propiedades de distintos materiales. Una de las funciones más importantes de los científicos e ingenieros en materiales es establecer las relaciones entre las propiedades y el funcionamiento de un material o de un dispositivo, así como la microestructura, la composición y la forma en la que el

material se sintetizó y procesó. En la ciencia de materiales se subrayan las relaciones subyacentes entre la síntesis y el procesamiento, la estructura y las propiedades de los materiales. En la ingeniería de materiales el enfoque es hacia cómo convertir o transformar los materiales en dispositivos o estructuras útiles. [2] [Askeland, 1998]

La ingeniería de materiales está principalmente relacionada con el uso de los conocimientos básicos y aplicados de los materiales para la conversión de estos en productos necesarios o requeridos por la sociedad. [3] [Smith, 1999]

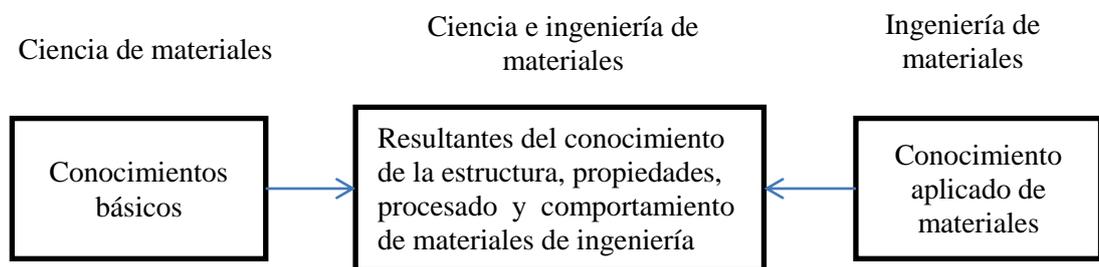


Figura 2.1: La utilización del conocimiento combinado de los materiales a partir de la ciencia de materiales y de la ingeniería de materiales capacita a los ingenieros para convertir los materiales en productos requeridos por la sociedad

Fuente: Smith, W. F. *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*,(1999)

Clasificación de los materiales

La mayor parte los materiales para ingeniería se clasifican en unas tres categorías básicas:

- 1) Metales
- 2) Cerámicos
- 3) Polímeros

Sus características químicas son diferentes sus propiedades físicas y químicas no se parecen y afectan los procesos de manufactura susceptibles de emplearse, para obtener productos de ellos además de las tres categorías básicas, hay compuestos – mezclas no homogéneas de los otros tres tipos fundamentales.

La relación entre los cuatro grupos se ilustra en la figura 2.2

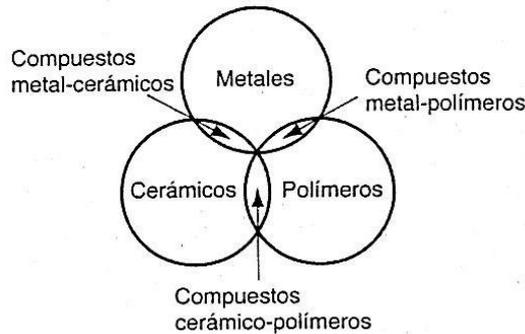


Figura 2.2: Diagrama de Ven que muestra los tres tipos de materiales básicos más los compuestos

Fuente: Groover, *Fundamentos de manufactura*, (1997)

Metales.- Los metales que se emplean en la manufactura por lo general son aleaciones que están compuestos de dos más elementos, con al menos uno en forma metálica. Los metales se dividen en dos grupos básicos:

- 1) Ferrosos
- 2) No Ferrosos

Los metales ferrosos.- Se basan en el hierro: el grupo incluye acero y hierro colado. Dichos metales constituyen el grupo comercial más importante más de las $\frac{3}{4}$ partes del peso total de los metales de todo el mundo. El hierro puro tiene un uso comercial limitado, pero cuando se mezcla con el carbono tiene más usos y mayor valor comercial que cualquier otro metal. Las aleaciones de hierro y carbono forman acero y hierro colado.

El acero se define como una aleación de hierro y carbono que contiene 0,02%-2,14% de carbono. Es la categoría más importante de metales ferrosos. Es frecuente que su composición incluya otros elementos de aleación tales como manganeso, cromo, níquel, molibdeno, para mejorar las propiedades del metal.

Las aplicaciones de acero incluyen la construcción (por ejemplo: puentes, vigas tipo I y clavos) transporte (camiones, rieles y equipo rodante para vías férreas) y productos de consumo (automóviles y aparatos).

El hierro colado es una aleación de hierro y carbono (2% - 4%) que se utiliza en el modelado (sobre todo en el modelado en arena verde). El silicio también está presente en la aleación (en cantidades que van de 0,5% a 3%), y es frecuente que también se agreguen otros elementos para obtener propiedades deseables en el elemento fundido, El hierro colado se encuentra para obtener propiedades deseables en el elemento fundido. El hierro colado se encuentra disponible en distintas formas, de las que la más común es el hierro colado gris, sus aplicaciones incluyen bloques y cabezas para motores de combustión interna.

Metales no ferrosos.- Los metales no ferrosos incluyen los demás elementos metálicos y aleaciones. En casi todos, los casos, las aleaciones tienen más importancia comercial que los metales puros. Los metales no ferrosos incluyen metales puros y aleaciones de aluminio, cobre, oro, magnesio, níquel, plata, estaño, titanio, zinc y otros metales [4] [Groover, 1997].

2.4.2 Metalurgia física

La capacidad del ser humano para fabricar y utilizar herramientas es quizá la razón más importante del notable progreso que ha dado por resultado la actual era tecnológica. Los primeros hombres utilizaron herramientas de madera, hueso y piedra (figura 2.3). Sin embargo, sin los metales, estas herramientas eran primitivas y burdas, lo que obstaculizaba el progreso.

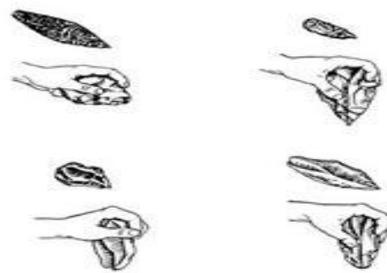


Figura 2.3: Sierras y hachas de piedra

Fuente: Neely, John E.; *Metalurgia y materiales industriales*, (2002)

Después del descubrimiento de los metales útiles, como cobre, estaño (ambos necesarios para producir bronce) y hierro, fue posible un mundo totalmente nuevo de desarrollo tecnológico.

Casi todo lo que la actual civilización requiere depende de los metales. Se necesitan grandes cantidades de hierro y acero para fabricar automóviles, armar barcos, construir puentes y edificios, máquinas y muchos otros productos (figura. 2.4). Casi todos los usos de la electricidad dependen del cobre. El uso del aluminio está muy generalizado, así como el del cobre y de muchos otros metales.

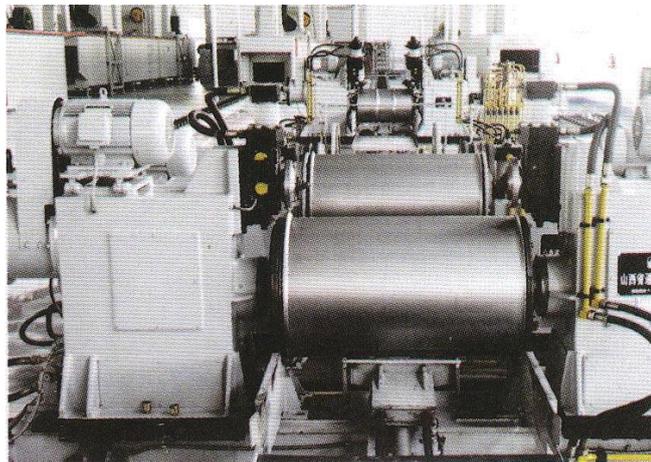


Figura 2.4: La producción de productos metálicos a gran escala se logra en las modernas fábricas de acero

Fuente:<http://image.made-in-china.com/2f0j00yeCTncdlSqzi/Steel-Barrel-Production-Line.jpg>

Algunos metales como el titanio y el zirconio, que era imposible fundir o extraer de sus minerales hace pocos años, se utilizan ahora en grandes cantidades. Usualmente, a estos se les llama metales de la “edad espacial”. También existen cientos de combinaciones de unos metales con otros o de madera con no metales; se los llama aleaciones y muchos aceros para herramientas. En realidad, el uso de los metales en el mundo actual es tan importante que en Estados Unidos hay gran escasez de muchos metales. Sin embargo, no es el petróleo lo que más escasea, sino los metales estratégicos tales como los siguientes: cromo, cobalto, manganeso, platino, columbio, estroncio, tantalio y titanio. El hierro y el aluminio relativamente abundan, pero aun a estos materiales les afecta el costo creciente de energía lo que contribuye a la creación de escaseces provocadas por el hombre.

Para su extracción el aluminio requiere mucha mayor por tonelada que el acero. Mientras que el titanio requiere diez veces más energía que el acero para su producción.

El aluminio ha sustituido al acero en muchas aplicaciones debido a que es más ligero y resistente a la corrosión, pero ante las limitaciones actuales de energía, el cambio puede resultar menos aceptable.

El oro, la plata el cobre y algunos otros metales conocidos por el hombre en la antigüedad, se encontraban a menudo cerca de la superficie del suelo como metales “nativos” o bastante puros. Estas pepitas podían conformarse a golpe de martillo en estado frío y de esa manera producir joyería. Eran demasiado blandos como para utilizarlos en la fabricación de herramientas. Sin embargo el cobre nativo podía forjarse para formar herramientas y el mismo proceso de forjado provocaba cierta cantidad de endurecimiento en el metal. Éste era suficiente para algunas herramientas de corte tales como las utilizadas para tallar madera. El conocimiento de cómo extraer cobre de sus minerales existía ya mucho antes de que se produjera el hierro a partir de sus minerales. El bronce, una aleación de cobre y estaño, era superior al cobre trabajado en dureza y resistencia y fue el mejor metal para fabricar herramientas durante varios siglos, período al cual se le conoce algunas veces como la edad del bronce y que se prolongó hasta los principios de la era romana, después los romanos aprendieron a producir latón, una aleación de cobre y zinc.

En tiempos pasados, el hierro se producía en hornos primitivos o fraguas una corriente de aire a presión o través de carbón en combustión en proximidad al mineral de hierro o mezclado con él, usualmente un óxido de hierro, como hematita o la magnetita. Este proceso originaba un producto, llamado algunas veces hierro “esponja” por los historiadores antiguos. Esto se debía a que la masa de hierro no se fundía sino que las impurezas llamadas “ganga” eran las que se fundían debido a sus puntos bajos de fusión. Esta ganga se iba hasta el fondo de la fragua como escoria y dejaba una masa esponjosa de hierro blanco caliente, pero no fundida. Luego, esta masa se golpeaba sobre un yunque para producir una barra sólida de hierro.

La mayoría de la escoria remanente se eliminaba sobre el yunque, pero algo permanencia y le daba al hierro forjado una calidad tenaz y fibrosa.

El contenido extremadamente bajo de carbono de este hierro daba buena resistencia a la corrosión; de hechos algunos de los clavos de hierro forjado que se utilizaron en los barcos vikingos que se quedaron sepultados hace 1000 años se encontraban aún intactos cuando se desenterraron recientemente. No fue sino hasta el siglo XIV cuando en Europa se empezó a utilizar el horno de fundición o túnel para producir fundición de hierro.

Ha transcurrido mucho tiempo desde que se fundió el primer hierro, hace aproximadamente 3500 años (figura 2.5). Sin embargo, sus herramientas nuevas de hierro no eran mucho mejores que las hechas de metales más blandos, tales como cobre y bronce, que ya estaban en uso en ese tiempo. Esto se debía a que las herramientas de hierro forjado se doblaban no retenían un filo. Aún faltaba mucho tiempo para que se descubriera el proceso de obtención de acero, el cual utiliza el hierro para producir un material fuerte y duro por tratamiento térmico.



Figura 2.5: Horno para la fundición de hierro

Fuente: Groover, *Fundamentos de manufactura*, (1997)

La metalurgia puede definirse como:

1. La tecnología de extracción de los metales a partir de sus materiales y la adaptación para su uso.
2. La ciencia o estudio del comportamiento, estructura, propiedades y composición de los metales.

La metalurgia extractiva o metalurgia de proceso trata de los medios por los cuales se extraen los minerales de sus yacimientos y luego se procesan en hornos y laminadoras hasta obtener metales útiles. La metalurgia física es el estudio de las propiedades y las composiciones de los metales. A menudo estos estudios dan por resultado nuevas aleaciones convenientes para determinada aplicación.

En la naturaleza existen muchos minerales en metales y cómo se transforman a su vez estos metales en los muchos y variados productos necesarios para el hombre. En la naturaleza existen muchos minerales metálicos en forma de óxidos, es decir, compuestos en los cuales los metales están combinados químicamente con el oxígeno. La mayor parte del hierro se extrae del mineral por medio de un proceso llamado de oxidación-reducción. Los minerales metálicos también se encuentran en otras combinaciones tales como carbonatos y sulfuros. También se explica con algún detalle la fundición y proceso de muchos otros metales aparte del hierro y el acero.

La metalurgia moderna se apoya en el antiguo deseo comprender totalmente el comportamiento de los metales. Hace tiempo, el arte del trabajador del metal estaba envuelto en el mismo. Los métodos primitivos de fabricación y tratamiento térmico de pequeñas cantidades de acero se descubrieron mediante el método de prueba y error. Lamentablemente, estos métodos se olvidaban a menudo y tenían que descubrirse nuevamente (figura 2.6). Se ha manifestado progreso desde aquellas primeras forjas que producían 20 o 30 libras de hierro forjado blando por día hasta la moderna maquinaria que produce más de 100 millones de toneladas anualmente en Estados Unidos.

La historia moderna del hierro y el acero principia con la materia prima, el mineral de hierro, el carbón y la caliza. A partir de estos ingredientes se produce el arribo en los hornos altos.

El arribo es el origen de casi todos los metales ferrosos (aquellos que contienen hierro). Luego, en las plantas productoras de acero se le somete a un proceso de refinación en hornos para producir acero, después de la cual se cuela en las lingoteras para producir lingotes o se cuela continuamente en forma de planchas gruesas, tochos, placas delgadas de barras.



Figura 2.6: Poco antes de la revolución industrial el trabajo del hierro se había convertido en un oficio altamente calificado

Fuente: <http://www.metalspain.com/TRATAMIENTOS-TERMICOS-118.pdf>

Los lingotes y en forma de planchas delgadas se procesan mediante técnicas para fabricar los numerosos productos de acero tan comunes en la vida diaria. Actualmente se están creando y utilizando métodos más modernos de fabricación de hierro y acero con el objeto de competir en los mercados mundiales. Entre estos se encuentra la fundición en cadena, que es el procesamiento continuo del acero fundido en forma de placas y lingotes. En las épocas en las cuales el único tipo de acero disponible para tratamiento térmico era el acero al carbono medio o bien el acero al alto carbono, sólo se necesitaba comprender en parte las propiedades de los metales por parte del trabajador del ramo. Simplemente se calentaba el metal hasta obtener un color rojo cereza y luego se enfriaba rápidamente en agua o salmuera (se templaba), a esto seguía un tratamiento de revenido (o sea, un posterior tratamiento térmico, controlado usualmente por el método de color óxido) para la darle la tenacidad apropiada según el propósito de uso.

Sin embargo, los requisitos actuales demandan una variedad de aceros para herramientas, incluyendo los aceros cementados para fabricar productos tales como matrices de dados, los cuales deben endurecerse completamente a través de secciones gruesas.

El tratamiento térmico ya no es un proceso simple; consiste de procedimientos y procesos muy complejos de deben seguirse cuidadosamente para evitar dificultades y fallas por agrietamiento por temple. Un buen operario de tratamientos térmicos no solamente debería conocer y comprender el comportamiento de los metales, sino que debería ser capaz de comprobar sus propiedades mecánicas, tales como dureza, ductilidad [5] [Neely, 2002].

2.4.3 Tratamiento térmico del acero

El tratamiento térmico del acero se refiere a los procesos en los que se controla el tiempo y la temperatura y en los que se liberan esfuerzos residuales y/o se modifican las propiedades del material como la dureza, resistencia, ductilidad. Algunas veces otras operaciones mecánicas y químicas se agrupan bajo el tratamiento térmico.

Las operaciones comunes de tratamiento térmico son recocido, templado, revenido y endurecimiento superficial. [6] [Budynas & , Nisbett, 2008]

Recocido

El recocido pretende conseguir lo contrario que el temple, es decir un ablandamiento del material que se consigue al poner en equilibrio la estructura cristalina que se había deformado por el frío, por tratamientos térmicos o por la mecanización de la pieza [7] [Bautemic S.A., 2013].

Cuando un material se trabaja en frío o en caliente, se inducen esfuerzos residuales; además, el material suele adquirir una dureza mayor debido a estas operaciones de trabajo, que cambian la estructura del material de tal manera que ya no puede ser representado por el diagrama de equilibrio. El recocido completo y el normalizado son operaciones de calentamiento que permiten que el material se transforme de acuerdo con el diagrama de equilibrio.

El material que se va a recocer se calienta a una temperatura aproximadamente a 38°C (100°F) por encima de la temperatura crítica.

Se mantiene a esta temperatura durante un tiempo suficiente para que el carbono se disuelva y se difunda a través del material. Luego se permite que el objeto tratado se enfríe lentamente, por lo general, en el horno en el cual se trató. Si la transformación es completa, entonces se dice que se tiene un recocido completo. El recocido se utiliza para suavizar un material y hacerlo más dúctil, eliminar los esfuerzos residuales y refinar la estructura del grano.

El término *recocido* incluye el proceso llamado *normalizado*. Las partes que se van a normalizar se calientan hasta una temperatura un poco mayor que en el recocido completo. Esto produce una estructura de grano más grueso, que se puede maquinar con mayor facilidad si el material es un acero de bajo carbono.

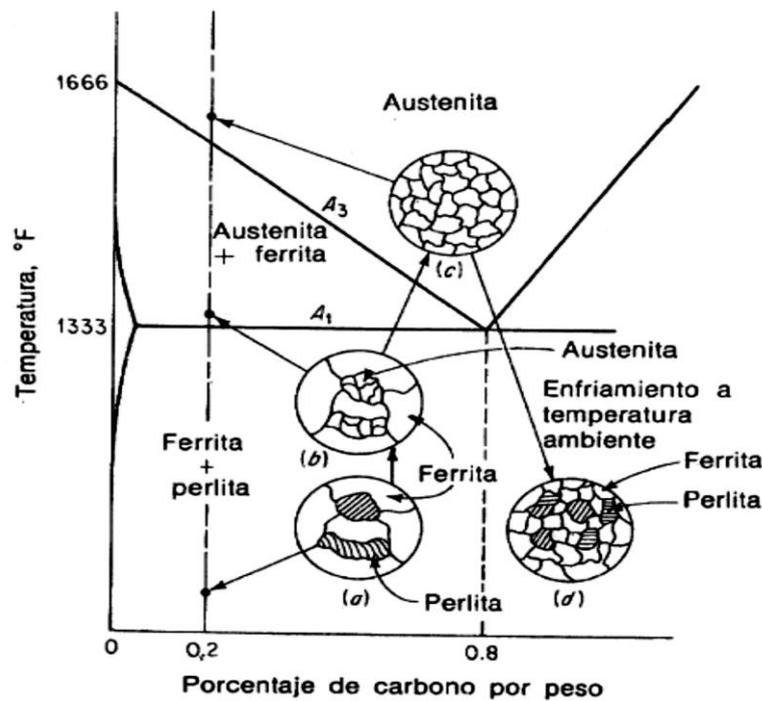


Figura 2.7: Representación esquemática de los cambios en microestructura durante el recocido de un acero al 0.20% de carbono.

Fuente: [8] Avner, *Introducción al metalurgia física*, (1978)

- a) estructura original, ferrita y perlita de grano grueso. b) Justo por encima de la línea A_1 ; la perlita se ha transformado en pequeños granos de austenita y la ferrita no ha cambiado. c) Por encima de la línea A_3 ; sólo austenita de grano fino. d) Después de enfriar a temperatura ambiente; ferrita de grano fino y pequeñas áreas perlíticas.

En el proceso de normalizado la pieza se enfría al aire a temperatura ambiente. Como este enfriamiento es más rápido que el enfriamiento lento que se usa el recocido completo, se dispone de menos tiempo para el equilibrio, y el material es más duro que el acero completamente recocido. A menudo, el normalizado se usa como la operación de tratamiento final del acero. El enfriamiento en aire equivale a un templado lento.

Revenido

El revenido, o regulación del temple por recalentamiento, es un proceso en el cual se recalienta una pieza de acero que previamente se endureció y se conoce también como regulación [5] [Neely, 2002]. El enfriamiento drástico para producir la martensita, provoca que el acero sea muy duro y que contenga esfuerzo internos tanto microscópicos como macroscópicos, con el resultado de que el material tiene poca ductilidad [6] [Budynas, Nisbett, 2008]. El revenido se obtiene al calentar el una acero martensítico a una temperatura inferior al eutectoide durante una período [9] [Callister, 2009] (Anexo A.1).

Los cambios estructurales que causan el revenido del acero son funciones del tiempo y la temperatura, siendo más importante la temperatura. Debe enfatizarse que el revenido no es un proceso de endurecimiento, sino que es lo inverso. Un acero revenido es aquel que se ha endurecido por tratamiento térmico y se ha sido suavizado y provisto con ductilidad aumentada por recalentamiento en el procedimiento de revenido o templado [10] [Moore, 1987].

La zona de temperaturas de revenido comprendidas entre 204 y 426° C constituye una línea divisora entre el revenido que se debe dar al acero cuando se requiere una gran dureza. Si lo que se quiere conseguir es dureza o resistencia al desgaste, el acero debe revenirse a temperaturas inferiores a 204° C [8] [Avner, 1987].

En la figura 2.8 se observa la influencia de la temperatura de revenido que se debe dar al acero.

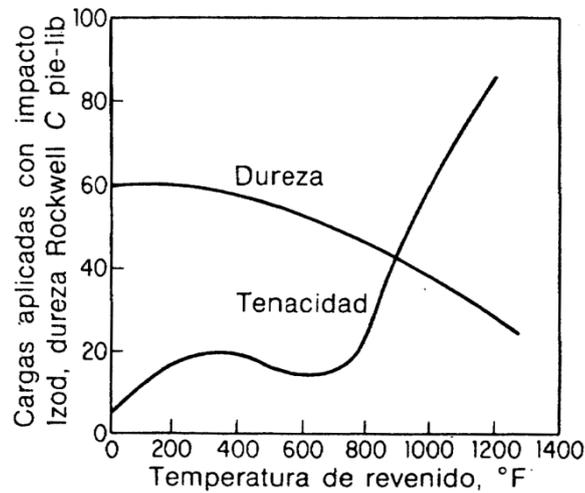


Figura 2.8: Influencia de la temperatura de revenido sobre la dureza y tenacidad de un acero 4140.

Fuentes: Avner, S. H. *Introducción a la metalurgia física*, (1987)

Normalmente, a continuación del temple se efectúa un tratamiento, denominado revenido. Si un acero se temple correctamente, alcanza su máxima dureza, que depende en primer lugar de su contenido en carbono, pero el acero en éste estado es muy frágil y en consecuencia debe ser revenido.

Temperatura: dureza.- La magnitud de los cambios estructurales y el cambio de propiedades causados por el revenido dependen de la temperatura a la cual se recalienta el acero. A más alta temperatura, mayor será el efecto, de modo que la elección de temperatura en general depende de la voluntad de sacrificar dureza y resistencia para ganar ductilidad.

Variando la temperatura y la duración del revenido se influye sobre el resultado final en lo referente a dureza y resistencia del acero. Una prolongación del tiempo de mantenimiento a temperatura, visto desde el punto de la dureza, significa lo mismo que un aumento de la temperatura, pero no en absoluto en lo referente a la estructura, por lo tanto, la temperatura y duración del tratamiento depende de los resultados finales exigidos, (dureza, resistencia).

Templado

Conforme el acero se calienta más allá de la temperatura crítica inferior de 721°C , el carbono que se encontraba en forma de capas de carburo de hierro en la perlita se empieza a disolver en hierro y forma una solución sólida llamada austenita. Cuando esta solución de hierro y carbono se enfría repentinamente o se temple, se forma una nueva microestructura. Ésta se conoce como martensita. La martensita es muy dura y su resistencia a tracción es mucho más alta que el acero con una estructura perlítica [5] [Neely, 2002].

La temperatura de temple varía según el contenido de carbono, debe ser de 28°C más allá de la temperatura crítica superior para los aceros al carbono que contienen menos de 0,83% de carbono, figura 2.9

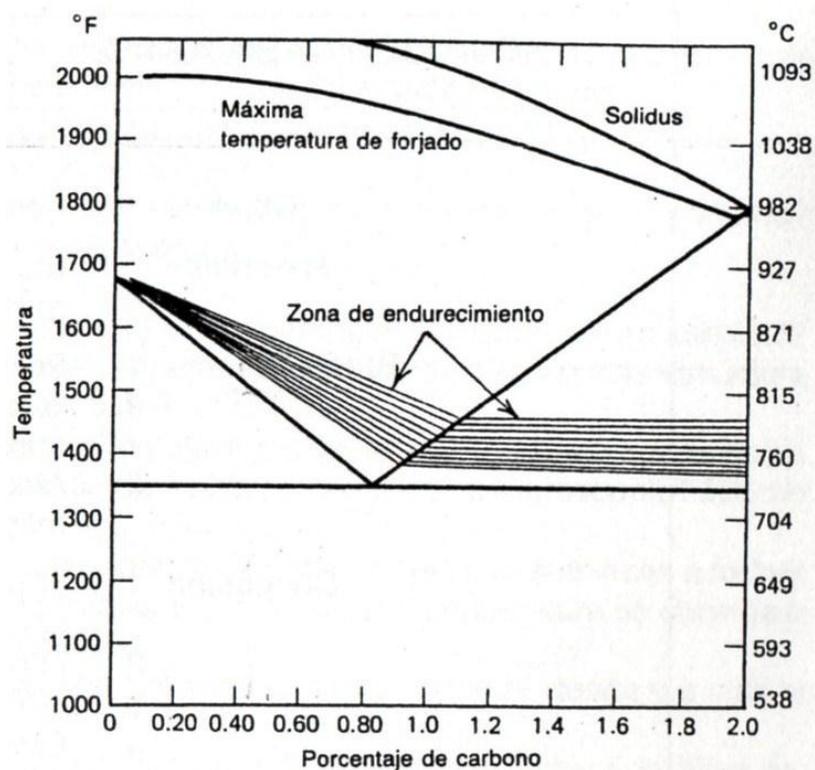


Figura 2.9: Gammas de temperatura que se utilizan para el temple de acero al carbono

Fuente: Neely, John E.; *Metalurgia y materiales industriales*, (2002)

Endurecimiento superficial

El propósito del endurecimiento superficial es producir una superficie exterior dura sobre un elemento de acero al bajo carbono, mientras que al mismo tiempo se retiene su ductilidad y tenacidad en el núcleo. Este proceso se basa en el incremento de contenido de carbono en la superficie en introducir la parte que se va carburizar en el material carburizante durante un tiempo y una temperatura establecidos, dependiendo de la profundidad del espesor deseado y de la composición de la parte. Luego, ésta puede templarse en forma directa a partir de temperatura de carburización y después se reviene, o en algunos casos se somete a un tratamiento térmico con objeto de asegurar que tanto el núcleo como la superficie adquieran condiciones adecuadas. Algunos de los procesos de endurecimiento superficial más útiles son el carburizado en caja, el carburizado en gas, nitrurado, cianurado, endurecimiento por inducción y endurecimiento a la flama. En los dos últimos casos el carbono no se agrega al acero en cuestión, que suele un acero de medio carbono, por ejemplo SAE/AISI 1144 [6] [Budynas & , Nisbett, 2008].

2.4.4 Ciencia e ingeniería de materiales

Los materiales son sustancias de las que cualquier cosa esta compuesta o hecha. Desde el comienzo de la civilización, los materiales junto con la energía han sido utilizados por el hombre para mejorar su nivel de vida. Podemos encontrar materiales en cualquier lugar de nuestro entorno ya que cualquier cosa esta hecha a partir de ellos. Algunos de los materiales que más comúnmente no encontramos son: madera, hormigón, ladrillo, acero, plástico, vidrio, caucho, aluminio, cobre y papel. Pero hay muchas más clases de materiales; solo hace falta mirar en nuestro entorno para darse cuenta de ello. Los constates trabajos de investigación y desarrollo en este campo dan origen frecuentemente a nuevos materiales.

La producción y procesado de nuevos materiales constituye una parte importante de nuestra economía actual. Los ingenieros diseñan la mayoría de los productos fracturados y los procesos necesarios para su fabricación, para lo que necesitan partir materiales.

Por tanto, los ingenieros deben conocer la estructura y propiedades de forma que sean capaces de seleccionar el más idóneo para su aplicación y desarrollar los mejores métodos para su procesado.

Los ingenieros de desarrollo e investigación trabajan para crear nuevos materiales o para modificar las propiedades de los existentes. Los ingenieros de diseño utilizan unos y otros materiales para diseñar y crear nuevos productos y sistemas. A veces sucede a la inversa: los ingenieros de diseño requieren que los científicos e ingenieros de investigación creen un nuevo material que permita resolver determinados diseños.

Continuamente se avanza en la búsqueda de nuevos materiales. Por ejemplo, los ingenieros mecánicos buscan materiales para altas temperaturas para que los motores de reacción puedan operar más eficientemente. Los ingenieros eléctricos buscan nuevos materiales para que los dispositivos electrónicos puedan operar a mayores velocidades y temperaturas más elevadas. Los ingenieros aeroespaciales buscan materiales con una relación resistencia/peso más elevada para naves aéreas y vehículos espaciales. Los ingenieros químicos buscan materiales más altamente resistentes a la corrosión. Estos son unos ejemplos de la búsqueda por parte de los ingenieros de nuevos y mejores materiales para distintas aplicaciones.

Los ingenieros de todas las especialidades deben tener unos conocimientos básicos y aplicados de los materiales de uso en ingeniería que les permita una mayor eficacia en el trabajo en el que esté implicado el uso de materiales.

Materiales metálicos

Estos materiales son sustancias inorgánicas que están formadas por uno o más elementos metálicos y pueden contener también algunos elementos no metálicos. Ejemplos de elementos metálicos son: hierro, cobre, aluminio, níquel y titanio.

Elementos no metálicos que pueden estar contenidos en los materiales metálicos son: carbono, nitrógeno y oxígeno. Los metales tienen una estructura cristalina en la que los átomos están dispuestos de una manera ordenada. Los metales son en general buenos conductores térmicos y eléctricos. Muchos tienen relativamente alta resistencia mecánica y son dúctiles a temperatura ambiente, y algunos tienen elevada resistencia incluso a altas temperaturas.

Los metales y aleaciones se dividen normalmente en dos grupos: metales y aleaciones ferrosas, que contienen un gran porcentaje de hierro tales como aceros y hierros fundidos, aleaciones y metales no ferrosos, que contienen hierro o contienen cantidades relativamente pequeñas de hierro. Ejemplos de metales no ferrosos son: cobre, aluminio, cinc, titanio y níquel [3] [Smith, 1999].

Acero

El acero es el más popular de las aleaciones, es la combinación entre un metal (el hierro) y un no metal (el carbono), que conserva las características metálicas del primero, pero con propiedades notablemente mejoradas gracias a la adición del segundo y de otros elementos metálicos y no metálicos. De tal forma no se debe confundir el hierro con el acero, dado que el hierro es un metal en estado puro al que se le mejoran sus propiedades físico-químicas con la adición de carbono y demás elementos.

Sus dos elementos primordiales abundan en la naturaleza facilitando su producción en cantidades industriales los aceros son las aleaciones más utilizadas en la construcción de maquinaria, herramientas, edificios y obras públicas, habiendo contribuido al alto nivel de desarrollo tecnológico de las sociedades industrializadas.

Sin embargo, en ciertos sectores, como la construcción aeronáutica, el acero apenas se utiliza debido a que es un material muy denso, casi tres veces más denso que el aluminio.

Acero AISI 1045

Estos son aceros al medio carbono, procesado en horno eléctrico. En alto contenido de carbono les imparte mejores propiedades de resistencia que el 1018. Las barras laminadas en caliente usadas en la manufacturera de estos aceros son de calidad especial. La mayoría de las barras son estiradas en frío, aunque algunas medidas grandes son torneadas y pulidas. Cuando un alto grado de seguridad dimensional y rectitud se requiere, se recomienda usar la "flecha de precisión", la cual es producida por rectificación y pulido.

Estos aceros se usan cuando se requiere una mayor resistencia de la que puede obtenerse de aceros al bajo carbono, y responde al tratamiento térmico y una extensa gama de propiedades se puede obtener. Entre sus aplicaciones se incluyen flechas, partes de máquinas, pernos, piñones, engranes, etc. (Anexo A.2)

Propiedades Mecánicas:

Resistencia a tracción (580-750 N/mm²)

Punto de Cedencia (340 N/mm²)

Alargamiento en 5.08 cm (2") \geq 5%

Redondo estirado en frío de (1") \geq 2.54cm

Reducción del área 35%

Dureza Brinell 180 HB

2.4.5 Propiedades mecánicas

Muchos materiales, cuando presenta servicio, están sometidos a fuerza o cargas; ejemplos de ello son las aleaciones de aluminio con las cuales se construyen las alas de los aviones y el acero de los ejes de los automóviles. En tales situaciones es necesario conocer las características del material y diseñar la pieza de tal manera que cualquier deformación resultante no sea excesiva y no se produzca la rotura. El comportamiento mecánico de un material refleja la relación entre la fuerza aplicada y la respuesta del material (o sea, su deformación).

Algunas de las propiedades mecánicas más importantes son la resistencia, la dureza, la ductilidad.

Las propiedades mecánicas de los materiales se determina realizando ensayos cuidadosos de laboratorio que reproducen las condiciones de servicio hasta donde sea posible. Los factores que deben considerarse son la naturaleza de la carga aplicada, su duración, así como las condiciones del medio. La carga puede ser una tracción, una compresión o una cizalladura, y su magnitud puede ser constante con el tiempo o bien fluctuar continuamente. El tiempo de aplicación puede ser de sólo una fracción de segundo o dura un período de varios años. La temperatura de servicio puede ser un factor importante.

El papel del ingeniero de estructuras es determinar las tensiones (también denominados esfuerzos) y las distribuciones de tensiones en los componentes que están sujetos a cargas bien definidas. Esto puede lograrse mediante técnicas experimentales y/o mediante análisis de tensiones por medios matemáticos teóricos.

Los ingenieros de materiales y los metalúrgicos, por otro lado, dirigen sus esfuerzos a producir y conformar materiales que puedan soportar las condiciones de servicio predichas por el análisis de tensiones. Esto necesariamente implica un conocimiento de la relación entre la microestructura (es decir, los detalles internos) de los materiales y sus propiedades mecánicas [9] [Callister, 2009].

Conceptos de esfuerzo deformación

Si una carga es estática o bien cambia de forma relativamente lenta con el tiempo y es aplicada uniformemente sobre una sección o superficie de una pieza, el comportamiento mecánico puede ser estimado mediante un simple ensayo esfuerzo-deformación. Con metales, este ensayo se realiza normalmente a temperatura ambiente.

Existen tres principales maneras de aplicar la carga, a saber: tracción, compresión y cizalladura (figura 2.10 a, b, c).

En las aplicaciones de ingeniería, muchas cargas son torsionales más que cizalladura pura; este tipo de carga se muestra en la figura 2.10 d

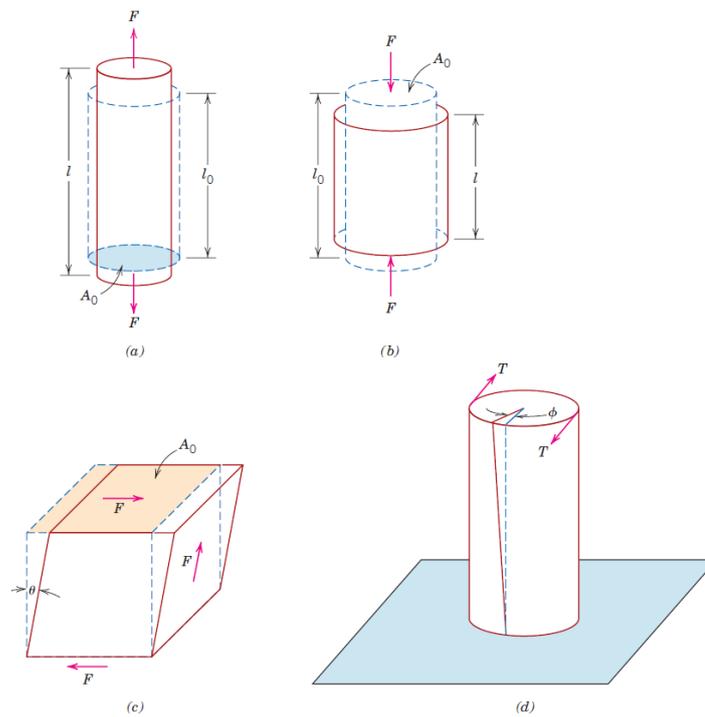


Figura 2.10: Aplicación de las principales cargas

a) Tracción b) Compresión c) Cizalladura d) Torsión

Fuente: [11] Callister, *Materials Science and Engineering*, (2007)

Ensayos de tracción

Uno de los ensayos mecánicos esfuerzo-deformación más comunes es el realizado a tracción. El ensayo de tracción puede ser utilizado para determinar varias propiedades de los materiales que son importantes para el diseño.

Normalmente se deforma una probeta hasta la rotura, con una carga de tracción que aumenta gradualmente y que es aplicada uniaxialmente a lo largo del eje de la probeta. En la figura 2.11 se muestra una probeta de tracción normalizada. Generalmente la sección de la probeta es circular, pero también se utilizan probetas de sección rectangular.

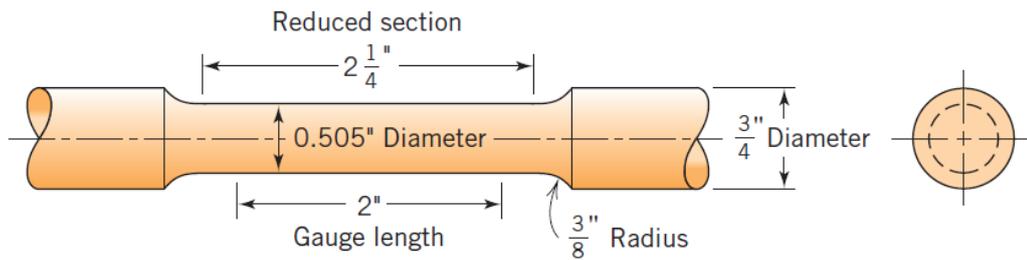


Figura 2.11: Probeta de tracción normalizada

Fuente: Callister, *Materials Science and Engineerig*, (2007)

Durante el ensayo, la deformación está confinada en la región más estrecha del centro, la cual tiene una sección uniforme igual a 12,8 mm (0,5 pulg.) mientras que la longitud de la sección reducida debe ser igual a por lo menos cuatro veces su diámetro, siendo usual 60 mm. La longitud de prueba se utiliza en el cálculo de la ductilidad, el valor normalizado es 50 mm (2 pulg.). La probeta se monta con sus extremos en las mordazas de la máquina de ensayos (figura 2.12). Esta se diseña para alargar la probeta a una velocidad constante, y para medir continua y simultáneamente la carga instantánea aplicada (utilizando un extensómetro). El ensayo dura varios minutos y es destructivo, o sea, la probeta del ensayo es deformada de forma permanente y a menudo rota [9] [Callister, 2009].

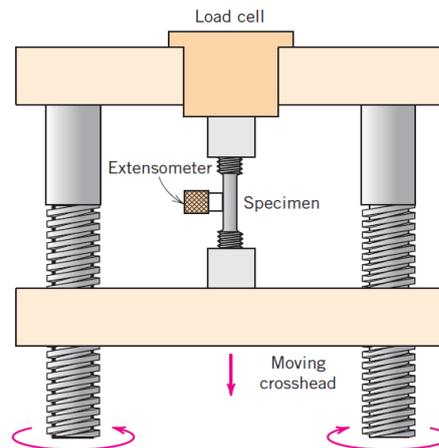


Figura 2.12: Máquina universal

Fuente: Callister, *Materials Science and Engineerig*, (2007)

Cálculo del módulo elástico o de Young

El módulo de Young se calculó basándose en la norma ASTM E111:97 (Anexo A.3).

$$E = \frac{(\sum(XY) - K\tilde{Y}\tilde{X})}{(\sum X^2 - K\tilde{X}^2)} \quad \text{Ecu. 2. 1}$$

Donde:

E = módulo elástico o de Young

Y = relación de tensión axial aplicada, y el área original A_0

X = deformación correspondiente.

K = número de pares X, Y

$$\tilde{Y} = \frac{\sum Y}{K}; \text{ promedio de los valores de Y}$$

$$\tilde{X} = \frac{\sum X}{K}; \text{ promedio de los valores de X}$$

Cálculo de la resistencia a la cedencia con 0.2% de desplazamiento

El esfuerzo de cedencia o de fluencia es donde termina la porción lineal en este caso se determina el esfuerzo, realizando un desplazamiento del origen de la curva S-e una cantidad específica de deformación que normalmente es de 0.001 mm (0.1%) o 0.002 mm (0.2%). Se traza entonces una línea recta paralela a la porción lineal de la curva. El esfuerzo de cedencia se obtiene en la intersección de la línea desplazada con la curva S-e [12] [Magonon, 2001].

Por lo tanto se puede obtener el esfuerzo de fluencia al determinar el punto de intersección de las dos curvas mencionadas, a partir de la ecuación de una recta dado un punto y su pendiente:

$$y-y_1= m (x-x_1) \quad \text{Ecu. 2. 2}$$

y= esfuerzo de fluencia

x= valores de deformación

m = pendiente

Punto (x_1, y_1) es $(0,0.002)$; debido al desplazamiento de 2% en eje x que es el de deformación de la curva s-e

Entonces al remplazar los valores en la ecuación de la recta queda de la siguiente manera:

$$S_y=E (x-0.002) \quad \text{Ecu. 2. 3}$$

donde se va dando valores a x hasta determinar el valor en el que puede apreciar en la gráfica S-e la intersección de las curvas.

Curva de esfuerzo - deformación ingenieril: S-e

La curva de esfuerzo – deformación ingenieril se obtiene a partir de los datos de carga – elongación, $P - \Delta L$ de la manera siguiente. El esfuerzo ingenieril (S). Se obtiene dividiendo la carga P, en cada momento, entre el área original del espécimen A_0 . La deformación ingenieril (e) se obtiene dividiendo la elongación ΔL , en cada instante entre la longitud calibrada L_0 . Por lo tanto, cada punto de la curva $P- \Delta L$ se convierte en S y e mediante las fórmulas [12] [Magonon, 2001].

$$e = \frac{\Delta L}{L_0} \quad \text{Ecu. 2. 4}$$

$$S = \frac{P}{A_0} \quad \text{Ecu. 2. 5}$$

Resistencia a tracción

Después de la fluencia, el esfuerzo necesario para continuar la deformación plástica en los metales aumenta hasta un máximo, y disminuye hasta que finalmente se produce la fractura. La resistencia a tracción (S_{ut}) es el esfuerzo en el punto máximo que puede soportar una estructura sometida a tracción; si este esfuerzo aplicado se mantiene, se producirá la fractura. [9] [Callister, 2009].

$$S_{ut} = \frac{P_{max}}{A_0} \quad \text{Ecu. 2. 6}$$

Cálculo de porcentaje de elongación y reducción de área

Una vez que se ha fracturado el espécimen, se determina la ductilidad del material utilizando la longitud y el área de calibre finales de la muestra rota. Las medidas de la ductilidad son el por ciento de elongación % e, y el por ciento de reducción del área % RA.

$$\%e = \left(\frac{L_f - L_0}{L_0} \right) * 100 \quad \text{Ecu. 2. 7}$$

$$\%RA = \left(\frac{d_o^2 - d_f^2}{d_o^2} \right) * 100 \quad \text{Ecu. 2. 8}$$

Ensayo de dureza

El ensayo de dureza mide la resistencia de la superficie de un material a la penetración por un objeto duro. Se han inventado una diversidad de pruebas, pero las de uso más común son los ensayos Rockwell y Brinell (figura 2.13).

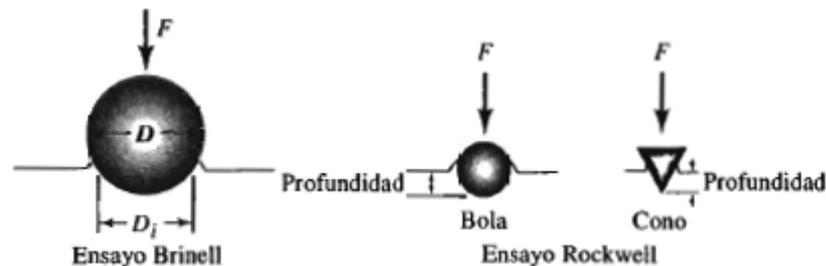


Figura 2.13: Ensayos de dureza Brinell y Rockwell

Fuente: Askeland, *Ciencia e ingeniería de materiales*, (1998)

El **ensayo de dureza Rockwell** utiliza una pequeña bola de acero para materiales blandos y un cono de diamante para materiales más duros. La profundidad de la penetración es medida automáticamente por el mismo instrumento y se convierte a índice de dureza Rockwell (HR).

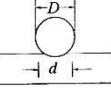
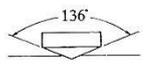
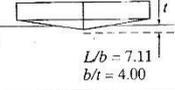
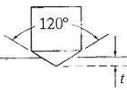
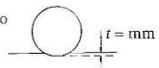
Se utilizan diversas variantes del ensayo Rockwell, incluyendo las descritas en la tabla 2.1. La escala Rockwell C (HRC) se utilizan para aceros duros, en tanto que para medir la dureza del aluminio se selecciona la escala Rockwell F (HRF) [2] [Askeland, 1998].

Tabla 2.1. Comparación de ensayos de dureza típicos

Ensayo	Penetrador	Carga Kg	Aplicación
Brinell	Bola de 10mm	3000	Hierro y aceros fundidos
Brinell	Bola de 10mm	500	Aleaciones no ferrosas
Rockwell A	Cono de diamante	60	Materiales muy duros
Rockwell B	Bola de 1/16 plg.	100	Latón, acero de baja resistencia
Rockwell C	Cono de diamante	150	Acero de alta resistencia
Rockwell D	Cono de diamante	100	Acero de alta resistencia
Rockwell E	Bola de 1/8 plg.	100	Materiales muy suaves
Rockwell F	Bola de 1/16 plg.	60	Aluminio, materiales suaves
Vickers	Pirámide de diamante	10	Materiales duros
Knoop	Pirámide de diamante	500	Todos los materiales

Fuente: Askeland, *Ciencia e ingeniería de materiales*, (1998)

Tabla 2.2. Técnicas de ensayo de dureza

Ensayo	Indentador	Forma de la indentación		Carga, P	Número de dureza	
		Vista lateral	Vista superior			
Brinell	Bola de acero de 10 milímetros o de carburo de tungsteno			500 kg 1500 kg 3000 kg	$HB = \frac{2P}{(\pi D) (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$	
Vickers	Pirámide de diamante			1-120 kg	$HV = \frac{1.854P}{L^2}$	
Knoop	Pirámide de diamante			25g-5kg	$HK = \frac{14.2P}{L^2}$	
Rockwell				kg		
A } C } D }	Cono de diamante			60	HRA	} = 100 - 500t
				150	HRC	
				100	HRD	
B } F } G }	Bola de acero de 1/16" de diámetro			100	HRB	} = 130 - 500t
				60	HRF	
				150	HRG	
E	Bola de acero de 1/8" de diámetro			100	HRE	

Fuente: Callister, *Materials Science and Engineerig*, (2007)

En los **ensayos de dureza Brinell** [9] [Callister, 2009], así como en las durezas Rockwell, se fuerza un penetrador duro esférico en la superficie del metal a ensayar. El diámetro del penetrador de acero endurecido (o bien carburo de tungsteno) es de 10 mm (0,394 pulg.). Las cargas normalizadas están comprendidas entre 500 y 3000 kg en incrementos de 500 kg; durante un ensayo, la carga se mantiene constante un tiempo especificado (entre 10 y 30 s). Los materiales más duros requieren cargas mayores. El número de dureza Brinell (HB), es una función de tanto la magnitud de la carga como del diámetro de la huella resultante (tabla 2.2). Este diámetro se mide con una lupa de pocos aumentos, que tienen una escala graduada en el ocular. El diámetro medido es entonces convertido a número HB aproximado usando una tabla; en esta técnica solamente se utiliza una escala.

Los requerimientos de espesor de la muestra, de posición de la huella (relativa a los bordes de la muestra) y separación mínima entre huellas son los mismos que los ensayos Rockwell. A demás, se necesita una huella bien definida, lo cual exige que la superficie sobre la cual se realiza la huella sea perfectamente lisa

Los **ensayos Vickers (HV) y Knoop (HK)** [1] (Askeland, 1998) son pruebas de microdureza; produce penetraciones tan pequeñas que se requiere un microscopio para obtener su medición.

Los índices de dureza se utilizan principalmente como base de comparación de materiales de sus especificaciones para la manufactura y tratamiento térmico, para el control de calidad y para efectuar correlaciones con otras propiedades de los mismos. Por ejemplo, la dureza Brinell está relacionada estrechamente con la resistencia a la tensión del acero mediante la relación siguiente

$$\text{Resistencia a la tensión (psi)} = 500 \text{ HB}$$

Se puede obtener un índice de dureza Brinell en unos cuantos minutos sin preparar ni destruir el componente; y obteniendo una buena aproximación de su resistencia a la tensión.

La dureza se relaciona con la resistencia al desgaste. Un material que se utiliza para fragmentar o para moler mineral debe ser muy duro para asegurarse de que no se desgastará o sufrirá abrasión debido a los duros materiales que maneja. De una manera similar, los dientes de los engranes en la transmisión o en el sistema impulsor de un vehículo deberían ser lo suficientemente duros para que no se desgasten. Generalmente se encuentran que los materiales poliméricos son excepcionalmente blandos, los metales son de una dureza intermedia y los cerámicos son excepcionalmente duros.

Conversión de la dureza

Es muy conveniente disponer de métodos para convertir la dureza de una escala a otra. Sin embargo, puesto que la dureza no es una propiedad del material muy bien definida, y debido a las diferencias experimentales de cada técnica, no se ha establecido un método general para convertir las durezas de una escala a otra. Los datos de conversión han sido determinados experimentalmente y se ha encontrado que son dependientes del tipo de material y de las características. La escala de conversión más fiable que existe es la que corresponde a aceros. Estos datos se presentan en la figura 2.14 para las durezas Knoop, Brinell y de las dos escalas Rockwell; también se incluye la escala Mohs. Como resultado de los se dicho

anteriormente debe tenerse mucho cuidado al extrapolar estos datos a otros sistemas de aleaciones [9] [Callister, 2009].

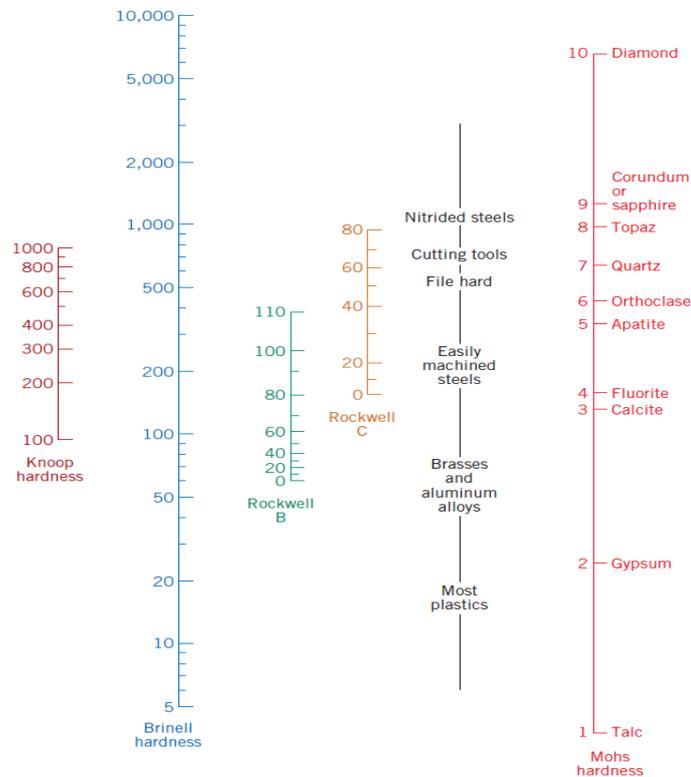


Figura 2.14: Comparación de las varias escalas de dureza

Fuente: Callister, *Materials Science and Engineerig*, (2007)

Correlación entre la dureza y la resistencia a tracción

Tanto la resistencia a tracción como la dureza son indicadores de la resistencia de un metal a la deformación de un metal a la deformación plástica. Por consiguiente, estas propiedades son, a grandes rasgos, proporcionales, para la resistencia a tracción en función de la HB en el caso de la fundición, aceros y latones. Tal como se indica en la figura 2.15, la relación de proporcionalidad no es la misma para todos los metales.

Los ensayos de dureza se realizan con mucha mayor frecuencia que cualquier otro ensayo por varias razones:

Son sencillos y baratos, y ordinariamente no es necesario preparar una muestra especial.

El ensayo no es destructivo, la muestra no es fracturada ni es excesivamente deformada; una pequeña huella es la única deformación.

Otras propiedades mecánicas pueden ser estimadas a partir de los resultados de dureza, tales como la resistencia a tracción (Anexo A.4).

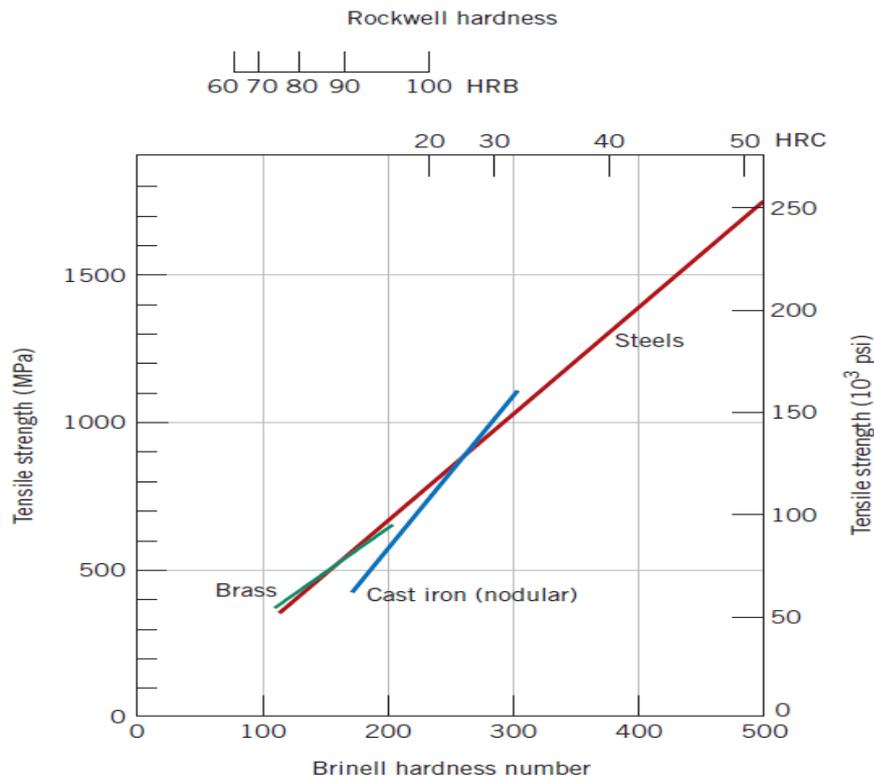


Figura 2.15: Relación entre la dureza y resistencia a tracción para el acero, el latón y la fundición

Fuente: Callister, *Materials Science and Engineerig*, (2007)

Propiedades de impacto

Una fuerza externa aplicada a una estructura o a una parte se llama carga de impacto, el tiempo de aplicación es menor que un tercio del periodo natural de vibración mínimo de la parte o de la estructura. De otro modo, se llama simplemente *carga estática*.

En las pruebas de barras con muestra de Charpy e Izod se emplean barras con geometrías específicas par determinar la fragilidad y la resitencia al impacto. Esta pruebas son útiles para comparar varios materiales y determinar la fragilidad a baja temperatura. En ambas pruebas la pieza se golpea con un péndulo que se suelta desde una altura fija, y la energía abosorbida por la pieza, llamada *valor de*

impacto, puede calcularse a partir de la altura de giro de la fractura, pero se lee en una carátula, que, en esencia, “calcula” el resultado.

En la figura 2.16 se presenta el efecto de la temperatura sobre los valores de impacto de un material que presenta una transición de dúctil a frágil, de tipo astillante, mientras que la apariencia tenaz, de tipo desgarrante por encima de la región de temperatura crítica, la que parece que depende del material y la geometría de la muesca, Por esta razón, los diseñadores no deben basarse sólo en los resultados de los ensayos de barras con muesca.

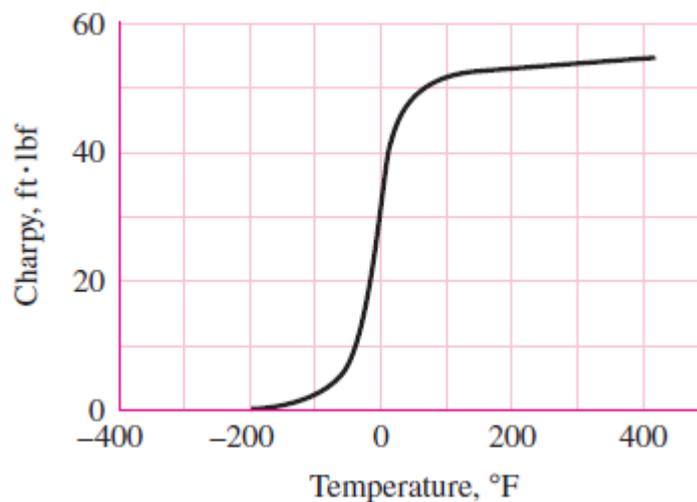


Figura 2.16: El trazo medio muestra el efecto de la temperatura sobre los valores de impacto

Fuentes: [13] Budynas & Nisbett, *Shigley's Mechanical Engineering Design*, (2008)

La rapidez promedio de deformación unitaria que se utiliza para obtener el diagrama esfuerzo-deformación unitaria es aproximadamente 0.001 pulg/ (pulg*s) o menor. Cuando la rapidez de deformación unitaria se incrementa, como sucede en la condiciones de impacto, las resistencias aumentan, como se muestra en la figura 2.17. De hecho a velocidades de deformación unitaria muy altas, la resistencia a la fluencia parece aproximarse a la resistencia última como límite. Sin embargo, observe que la elongación de las curvas muestra poco cambio. Esto significa que la ductilidad permanece más o menos igual. Asimismo, en vista del gran incremento en la resistencia a la fluencia, se podría esperar que un acero dulce se comportara en forma elástica, a través de todo el intervalo de su longitud, bajo condiciones de impacto [6] [Budynas & Nisbett, 2008].

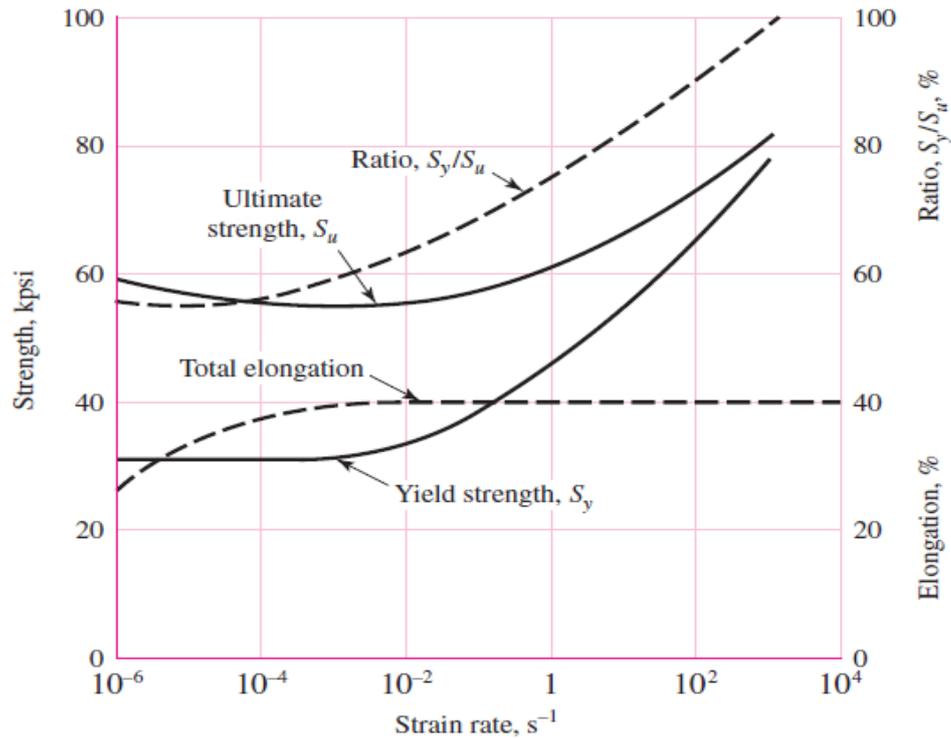


Figura 2.17: Influencia de la rapidez de deformación unitaria en las propiedades de tensión

Fuente: Budynas & Nisbett, *Shigley's Mechanical Engineering Design*, (2008)

2.5 HIPÓTESIS

Al realizar un número consecutivo de revenidos en el acero AISI 1045 templado en aceite de oliva mejorará las propiedades mecánicas.

2.5.1 Unidades de observación o de análisis

2.5.2 Señalamiento de las variables

Variable independiente: Número consecutivo de revenidos en el acero AISI 1045 templado en aceite de oliva

Variable dependiente: Propiedades mecánicas

Término de relación: Mejorará

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE

El presente tema de investigación se realizó con un enfoque cuantitativo, ya que se obtuvo valores de dureza y resistencia a tracción de las probetas de acero AISI 1045 antes de darles el tratamiento térmico y después de haberles aplicado tanto el temple como el revenido, en el cual se tomaron valores para analizar la variación de las propiedades mencionadas anteriormente. Los parámetros de temple a los que fueron sometidas las probetas se mantuvieron constantes durante la investigación. La aplicación del revenido en las probetas de acero AISI 1045 se lo realizó en un horno de mufla, en cual se fue variando el tiempo de permanencia, la temperatura y el número de revenidos. Además esta investigación tuvo un enfoque cualitativo, ya que se realizó un análisis metalográfico para observar la estructura que presenta cada una de las probetas ensayadas y relacionar con los valores de dureza y tracción obtenidos

3.2 MODALIDAD Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.2.1 Modalidad

Las modalidades de investigación que se ajustan al presente proyecto de estudio son las siguientes:

La investigación que se va a realizar es **bibliográfica** porque se va a recurrir a información de documentales, libros, revistas científicas, tesis, el Internet para tener información referente al tema de investigación

Experimental, ya que se va variar tanto el tiempo, temperatura y numero de revenidos para analizar el efecto que se produce la dureza y resistencia a tracción del acero AISI 10145.

3.2.2 Tipo

Exploratoria, ya que consiste en tener un conocimiento general o aproximativo de la realidad de cómo se ven afectadas las propiedades mecánicas: dureza y tracción, ante la aplicación de revenidos consecutivos en un mismo material siendo en este caso el acero AISI 1045

Descriptiva, ya que describirá el problema mediante la observación para comprobar la relación entre las propiedades mecánicas (dureza y tracción) del acero AISI 1045 y el tratamiento térmico de revenido aplicado varias veces.

Explicativa, porque permitirá explicar el comportamiento de la dureza y resistencia a tracción del material ante la aplicación de varios revenidos consecutivos sobre la pieza de acero AISI 1045.

Estudio de casos, los casos se seleccionan aleatoriamente y para este estudio se realizarán 18 casos

Casos: 3 Revenidos x 2 Tiempos x 3 Temperaturas

Casos: 18

Parámetros de temple

Temperatura: 840°C

Medio de Enfriamiento: Aceite de oliva

Tiempo de permanencia: 1 h por pulgada de diámetro

Parámetros de revenido

Temperatura: T₁: 100°C, T₂: 200°C y T₃: 426°C

Tiempo: t₁: 1 hora y t₂: 2 horas

Número de Revenidos: Revenido 1, Revenido 2 y Revenido 3

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1 Población

La presente investigación tendrá como población barras cilíndricas de acero AISI 1045 empleadas en partes de maquinarias sometidas a esfuerzos normales, a las que se les aplicará cada uno de los casos de estudios descritos anteriormente.

3.3.2 Muestra

Tabla 3.1. Casos de estudios

Horas	Revenido 1			Revenidos 2			Revenido 3		
	Temperatura								
t ₁	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃
t ₂	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃	T ₁	T ₂	T ₃

Fuente: Autor

Para el ensayo de tracción se realizaran 3 muestras de cada uno de los casos especificados en la tabla 3.1 resultando un total de 60 probetas para este estudio.

Se realiza 3 muestras de acuerdo a una consulta realizada al Ing. Anibal Viñan Docente de la ESPOCH e integrante del Subcomité Técnico referente a la norma INEN 109: Ensayo de tracción para materiales metálicos a temperatura ambiente. (Anexo A.5).

Y de igual forma ratificar ante otra consulta realizada a la Ing. Cristina Chango Luisa Jefe de calidad de laminación en Novacero Planta Lasso y quién supo manifestar el número mínimo de unidades de muestreo representativo de una partida o de un lote será de dos.

3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.4.1 Variable independiente: Estudio del tiempo y número de revenidos del acero AISI 1045 templado en aceite de oliva

Tabla 3.2. Operacionalización de la variable independiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
El revenido es un tratamiento térmico que sigue al de templado del acero. Llevando al calentamiento de la pieza a una cierta temperatura permaneciendo en el horno durante un cierto tiempo y comúnmente con un enfriamiento al aire. Mejora las características mecánicas, disminuyendo ligeramente la dureza	Calentamiento de la probeta	Temperatura	100 ,200 y 426°C	Observación Catálogos Fichas de observación Horno
	Permanencia en el horno	Tiempo	1 y 2 horas	Observación Fichas de observación
	Revenidos aplicados a una misma probeta	Número de revenidos	1, 2 y 3 veces	Cronómetro Observación Fichas de observación

Fuente: Autor

3.4.2 Variable dependiente: Propiedades mecánicas

Tabla 3.3. Operacionalización de la variable dependiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems ^[1]	Técnicas e Instrumentos
Las propiedades mecánicas indican el comportamiento de un material cuando se encuentra sometido a fuerzas exteriores. Por lo general, la única forma de establecer a cabo el comportamiento de los materiales son cuando están sometidos a cargas, llevando a cabo experimentos en el laboratorio.	Ensayo de dureza	Dureza	50-55 HRC	Experimentación Maquina Universal Durómetro
	Tensión	Resistencia a la tracción	600-800 N/mm ²	Observación, Inspección Deformímetro
	Ductilidad	Porcentaje de Alargamiento	15-17 %	Microscopio Metalográfico
	Análisis Metalográfica	Componentes de la microestructura	0-100 %	Observación Fichas de observación

Fuente: Autor

[1] Anexo A.2

3.5 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Al realizar el estudio de investigación se empleará la siguiente técnica de recolección de la información:

Observación de laboratorio, participante, estructurada, directa, indirecta e individual, por tratarse de una investigación de carácter técnica. Los instrumentos de apoyo utilizados fueron registros, catálogos, internet y material bibliográfico referente al tema.

3.6 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para el procesamiento adecuado de la información se siguieron varios lineamientos entre los cuales podemos mencionar los siguientes:

- Se revisará críticamente la información recogida es decir, escoger la información necesaria y desechar la información impertinente, contradictoria e incompleta, etc.
- Describir los resultados
- Se analizará e interpretará los resultados obtenidos en el estudio
- Analizar la hipótesis en relación con los resultados obtenidos para verificarla o rechazarla

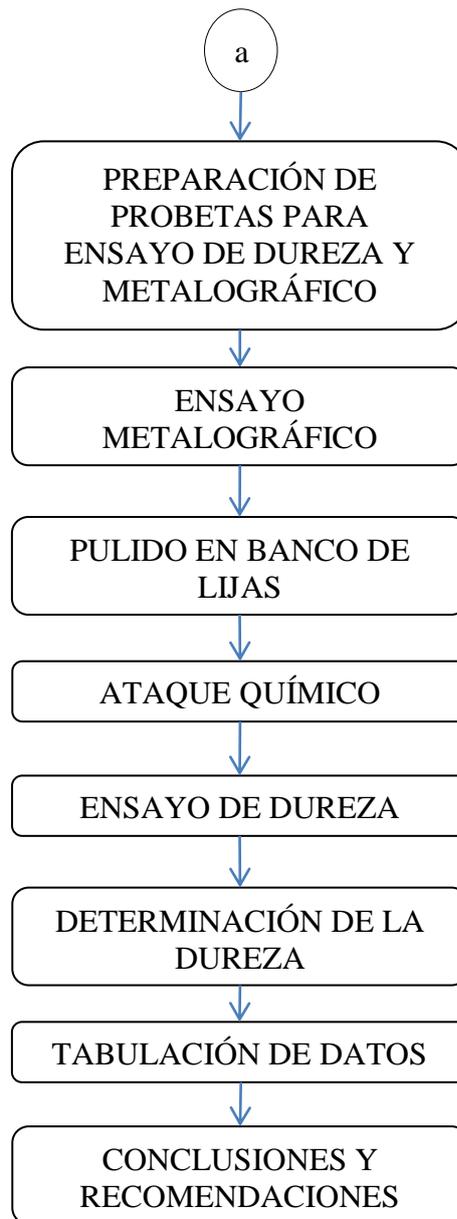
CAPITULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El presente estudio se enfocará en el siguiente organigrama de trabajo





4.2 PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

A continuación se muestra los resultados obtenidos de los diferentes ensayos en formatos establecidos, tanto para ensayo metalográfico, ensayo de dureza y ensayo de tracción.

Tabla 4.1. Denominación de las probetas para los respectivos ensayos

N°	Casos	Ensayo De Tracción			Ensayo Dureza	Ensayo Metalográfico
		1	2	3		
	Probeta Comercial	1	2	3	1D	1M
	Probeta Templada	0.1	0.2	0.3	0.1D	0.1M
1	1° Revenido 100°Cx1h	1.1	1.2	1.3	1.1D	1.1M
	2° Revenido 100°Cx1h	2.1	2.2	2.3	2.1D	2.1 M
	3° Revenido 100°Cx1h	3.1	3.2	3.3	3.1D	3.1 M
2	1° Revenido 100°Cx2h	4.1	4.2	4.3	4.1D	4.1 M
	2° Revenido 100°Cx2h	5.1	5.2	5.3	5.1D	5.1 M
	3° Revenido 100°Cx2h	6.1	6.2	6.3	6.1D	6.1 M
3	1° Revenido 200°Cx1h	7.1	7.2	7.3	7.1D	7.1 M
	2° Revenido 200°Cx1h	8.1	8.2	8.3	8.1D	8.1 M
	3° Revenido 200°Cx1h	9.1	9.2	9.3	9.1D	9.1 M
4	1° Revenido 200°Cx2h	10.1	10.2	10.3	10.1D	10.1 M
	2° Revenido 200°Cx2h	11.1	11.2	11.3	11.1D	11.1 M
	3° Revenido 200°Cx2h	12.1	12.2	12.3	12.1D	12.1 M
5	1° Revenido 426°Cx1h	13.1	13.2	13.3	13.1D	13.1 M
	2° Revenido 426°Cx1h	14.1	14.2	14.3	14.1D	14.1 M
	3° Revenido 426°Cx1h	15.1	15.2	15.3	15.1D	15.1 M
6	1° Revenido 426°Cx2h	16.1	16.2	16.3	16.1D	16.1 M
	2° Revenido 426°Cx2h	17.1	17.2	17.3	17.1D	17.1 M
	3° Revenido 426°Cx2h	18.1	18.2	18.3	18.1D	18.1 M

Fuente: Autor

4.2.1 Especificaciones material utilizado: Acero AISI 1045

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES		
	DATOS INFORMATIVOS		
Autorizado por: Ing. Mg. Segundo Espín		Realizado por: Daniel Villegas	
Probeta: Todas		Fecha de ejecución: 28/06/2013	
Lugar: Laboratorio de materiales		Flujo de aire del medio: Estático.	
Temperatura del lugar: 22 °C			
DENOMINACIONES DEL ACERO UTILIZADO			
Material	Acero	Detalle Referencial 	
Diámetro	1/2 "		
Longitud	5"		
Característica	Eje		
Tipo	AISI 1045		
Resistencia a tracción:	580-700 N/mm ²		
Dureza	180 HB		
Tratamiento térmico	Recocido		
OBSERVACIONES			
Las propiedades principales de material fueron tomadas del manual de aceros BOHLER Acero AISI 1045 como viene de fábrica.			

4.2.2 Especificaciones del tratamiento térmico de temple aplicado a todos los casos de estudio

DATOS INFORMATIVOS	
Autorizado por: Ing. Mg. Segundo Espín	Realizado por: Daniel Villegas
Probetas: Todos los casos de estudio	Lugar: Laboratorio de materiales
Temperatura del lugar: 17-20°C	Flujo de aire del medio: Estático
DETALLES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO	
Tratamiento térmico	Temple
Instrumento	Horno de mufla
Temperatura del temple	840°C
Tiempo de permanencia	30 min
Medio de enfriamiento	Aceite De Oliva
Temperatura del medio	15-17°C
Volumen del medio	8 litros
Densidad	912 kg/m ³
Viscosidad	83.9 mPa.s

4.2.3 Especificaciones del tratamiento térmico de revenido

4.2.3.1 Caso 1: Primer revenido consecutivo a 100°C durante 1 hora

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES					
		DATOS INFORMATIVOS					
Autorizado por: Ing. Mg. Segundo Espín		Realizado por: Daniel Villegas					
Probeta:	1.1	1.2	1.3		Fecha de ejecución: 01/07/2013		
	2.1	2.2	2.3		Lugar: Laboratorio de materiales		
	3.1	3.2	3.3		Flujo de aire del medio: Estático.		
Temperatura lugar: 21 °C							
DETALLES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO							
Material				Probetas AISI 1045 templadas			
Tratamiento térmico				Revenido			
Número de revenidos				Primer revenido consecutivo			
Tiempo de permanencia				1 hora			
Temperatura de permanencia				100°C			
Medio de enfriamiento				Ambiente			
Enfriamiento				Hasta el ambiente: 20°C			

4.2.3.2 Segundo revenido consecutivo a 100°C durante 1 hora

DATOS INFORMATIVOS							
Autorizado por: Ing. Mg. Segundo Espín		Realizado por: Daniel Villegas					
Probeta:	2.1	2.2	2.3		Fecha de ejecución: 01/07/2013		
	3.1	3.2	3.3		Lugar: Laboratorio de materiales		
Temperatura del lugar: 21 °C				Flujo de aire del medio: Estático			
DETALLES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO							
Material				Probetas AISI 1045 1 ^{er} revenido			
Tratamiento térmico				Revenido			
Número de revenidos				Segundo revenido consecutivo			
Tiempo de permanencia				1 hora			
Temperatura de permanencia				100°C			
Medio de enfriamiento				Ambiente			
Enfriamiento				Hasta el ambiente: 21°C			

4.2.3.3 Tercer revenido consecutivo a 100°C durante 1 hora

DATOS INFORMATIVOS				
Autorizado por: Ing. Mg. Segundo Espín			Realizado por: Daniel Villegas	
Probeta:	3.1	3.2	3.3	Fecha de ejecución: 02/07/2013
Lugar: Laboratorio de materiales			Flujo de aire del medio: Estático.	
Temperatura del lugar: 19 °C				
DETALLES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO				
Material			Probetas AISI 1045 1 ^{er} y 2 ^{do} revenido	
Tratamiento térmico			Revenido	
Número de revenidos			Tercer revenido consecutivo	
Tiempo de permanencia			1 hora	
Temperatura de permanencia			100°C	
Medio de enfriamiento			Ambiente	
Enfriamiento			Hasta el ambiente: 19°C	

4.2.3.4 Caso 2: Primer revenido consecutivo a 100°C durante 2 horas

DATOS INFORMATIVOS				
Autorizado por: Ing. Mg. Segundo Espín			Realizado por: Daniel Villegas	
Probeta:	4.1	4.2	4.3	Fecha de ejecución: 10/07/2013
	5.1	5.2	5.3	Lugar: Laboratorio de materiales
	6.1	6.2	6.3	Flujo de aire del medio: Estático.
Temperatura lugar: 21 °C				
DETALLES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO				
Material			Probetas AISI 1045 templadas	
Tratamiento térmico			Revenido	
Número de revenidos			Primer revenido consecutivo	
Tiempo de permanencia			2 horas	
Temperatura de permanencia			100°C	
Medio de enfriamiento			Ambiente	
Enfriamiento			Hasta el ambiente: 20°C	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES



4.2.3.5 Segundo revenido consecutivo a 100°C durante 2 horas

DATOS INFORMATIVOS				
Autorizado por: Ing. Mg. Segundo Espín				Realizado por: Daniel Villegas
Probeta:	5.1	5.2	5.3	Fecha de ejecución: 11/07/2013
	6.1	6.2	6.3	Lugar: Laboratorio de materiales
Temperatura del lugar: 21 °C				Flujo de aire del medio: Estático
DETALLES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO				
Material				Probetas AISI 1045 1 ^{er} revenido
Tratamiento térmico				Revenido
Número de revenidos				Segundo revenido consecutivo
Tiempo de permanencia				2 horas
Temperatura de permanencia				100°C
Medio de enfriamiento				Ambiente
Enfriamiento				Hasta el ambiente: 21°C

4.2.3.6 Tercer revenido consecutivo a 100°C durante 2 horas

DATOS INFORMATIVOS				
Autorizado por: Ing. Mg. Segundo Espín				Realizado por: Daniel Villegas
Probeta:	6.1	6.2	6.3	Fecha de ejecución: 11/07/2013
	Lugar: Laboratorio de materiales			Flujo de aire del medio: Estático.
Temperatura del lugar: 15 °C				
DETALLES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO				
Material				Probetas AISI 1045 1 ^{er} y 2 ^{do} revenido
Tratamiento térmico				Revenido
Número de revenidos				Tercer revenido consecutivo
Tiempo de permanencia				2 horas
Temperatura de permanencia				100°C
Medio de enfriamiento				Ambiente
Enfriamiento				Hasta el ambiente: 15°C

4.2.3.7 Caso 3: Primer revenido consecutivo a 200°C durante 1 hora

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES				
		DATOS INFORMATIVOS				
Autorizado por: Ing. Mg. Segundo Espín		Realizado por: Daniel Villegas				
Probeta:	7.1	7.2	7.3		Fecha de ejecución: 16/07/2013	
	8.1	8.2	8.3		Lugar: Laboratorio de materiales	
	9.1	9.2	9.3		Flujo de aire del medio: Estático.	
Temperatura lugar: 21 °C						
DETALLES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO						
Material				Probetas AISI 1045 templadas		
Tratamiento Térmico				Revenido		
Número de revenidos				Primer revenido consecutivo		
Tiempo de permanencia				1 hora		
Temperatura de permanencia				100°C		
Medio de enfriamiento				Ambiente		
Enfriamiento				Hasta el ambiente: 20°C		

4.2.3.8 Segundo revenido consecutivo a 200°C durante 1 hora

DATOS INFORMATIVOS						
Autorizado por: Ing. Mg. Segundo Espín				Realizado por: Daniel Villegas		
Probeta:	8.1	8.2	8.3		Fecha de ejecución: 16/07/2013	
	9.1	9.2	9.3		Lugar: Laboratorio de materiales	
Temperatura del lugar: 21 °C.				Flujo de aire del medio: Estático		
DETALLES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO						
Material				Probetas AISI 1045 1 ^{er} revenido		
Tratamiento térmico				Revenido		
Número de revenidos				Segundo revenido consecutivo		
Tiempo de permanencia				1 hora		
Temperatura de permanencia				200°C		
Medio de enfriamiento				Ambiente		
Enfriamiento				Hasta el ambiente: 21°C		

4.2.3.9 Tercer revenido consecutivo a 200°C durante 1 hora

DATOS INFORMATIVOS				
Autorizado por: Ing. Mg. Segundo Espín			Realizado por: Daniel Villegas	
Probeta:	9.1	9.2	9.3	Fecha de ejecución: 17/07/2013
Lugar: Laboratorio de materiales			Flujo de aire del medio: Estático.	
Temperatura del lugar: 15 °C				
DETALLES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO				
Material			Probetas AISI 1045 1 ^{er} y 2 ^{do} revenido	
Tratamiento térmico			Revenido	
Número de revenidos			Tercer revenido consecutivo	
Tiempo de permanencia			1 hora	
Temperatura de permanencia			200°C	
Medio de enfriamiento			Ambiente	
Enfriamiento			Hasta el ambiente: 15°C	

4.2.3.10 Caso 4: Primer revenido consecutivo a 200°C durante 2 horas

DATOS INFORMATIVOS				
Autorizado por: Ing. Mg. Segundo Espín			Realizado por: Daniel Villegas	
Probeta:	10.1	10.2	10.3	Fecha de ejecución: 30/07/2013
	11.1	11.2	11.3	Lugar: Laboratorio de materiales
	12.1	12.2	12.3	Flujo de aire del medio: Estático.
Temperatura lugar: 21 °C				
DETALLES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO				
Material			Probetas AISI 1045 templadas	
Tratamiento térmico			Revenido	
Número de revenidos			Primer revenido consecutivo	
Tiempo de permanencia			2 horas	
Temperatura de permanencia			200°C	
Medio de enfriamiento			Ambiente	
Enfriamiento			Hasta el ambiente: 20°C	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES



4.2.3.11 Segundo revenido consecutivo a 200°C durante 2 horas

DATOS INFORMATIVOS				
Autorizado por: Ing. Mg. Segundo Espín				Realizado por: Daniel Villegas
Probeta:	11.1	11.2	11.3	Fecha de ejecución: 30/07/2013
	12.1	12.2	12.3	Lugar: Laboratorio de materiales
Temperatura del lugar: 21 °C.				Flujo de aire del medio: Estático
DETALLES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO				
Material				Probetas AISI 1045 1 ^{er} revenido
Tratamiento térmico				Revenido
Número de revenidos				Segundo revenido consecutivo
Tiempo de permanencia				2 horas
Temperatura de permanencia				200°C
Medio de enfriamiento				Ambiente
Enfriamiento				Hasta el ambiente: 21°C

4.2.3.12 Tercer revenido consecutivo a 200°C durante 2 horas

DATOS INFORMATIVOS				
Autorizado por: Ing. Mg. Segundo Espín				Realizado por: Daniel Villegas
Probeta:	12.1	12.2	12.3	Fecha de ejecución: 31/07/2013
	Lugar: Laboratorio de materiales			Flujo de aire del medio: Estático.
Temperatura del lugar: 15 °C				
DETALLES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO				
Material				Probetas AISI 1045 1 ^{er} y 2 ^{do} revenido
Tratamiento térmico				Revenido
Número de revenidos				Tercer revenido consecutivo
Tiempo de permanencia				2 horas
Temperatura de permanencia				200°C
Medio de enfriamiento				Ambiente
Enfriamiento				Hasta el ambiente: 15°C

4.2.3.13 Caso 5: Primer revenido consecutivo a 426°C durante 1 hora

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES				
	DATOS INFORMATIVOS				
Autorizado por: Ing. Mg. Segundo Espín				Realizado por: Daniel Villegas	
Probeta:	13.1	13.2	13.3	Fecha de ejecución: 21/08/2013	
	14.1	14.2	14.3	Lugar: Laboratorio de materiales	
	15.1	15.2	15.3	Flujo de aire del medio: Estático.	
Temperatura lugar: 21 °C					
DETALLES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO					
Material			Probetas AISI 1045 templadas		
Tratamiento térmico			Revenido		
Número de revenidos			Primer revenido consecutivo		
Tiempo de permanencia			1 hora		
Temperatura de permanencia			426°C		
Medio de enfriamiento			Ambiente		
Enfriamiento			Hasta el ambiente: 20°C		

4.2.3.14 Segundo revenido consecutivo a 426°C durante 1 hora

DATOS INFORMATIVOS					
Autorizado por: Ing. Mg. Segundo Espín				Realizado por: Daniel Villegas	
Probeta:	14.1	14.2	14.3	Fecha de ejecución: 21/08/2013	
	15.1	15.2	15.3	Lugar: Laboratorio de materiales	
Temperatura del lugar: 21 °C.				Flujo de aire del medio: Estático	
DETALLES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO					
Material			Probetas AISI 1045 1 ^{er} revenido		
Tratamiento térmico			Revenido		
Número de revenidos			Segundo revenido consecutivo		
Tiempo de permanencia			1 hora		
Temperatura de permanencia			426°C		
Medio de enfriamiento			Ambiente		
Enfriamiento			Hasta el ambiente: 21°C		

4.2.3.15 Tercer revenido consecutivo a 426°C durante 1 hora

DATOS INFORMATIVOS				
Autorizado por: Ing. Mg. Segundo Espín			Realizado por: Daniel Villegas	
Probeta:	15.1	15.2	15.3	Fecha de ejecución: 22/08/2013
Lugar: Laboratorio de materiales			Flujo de aire del medio: Estático.	
Temperatura del lugar: 15 °C				
DETALLES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO				
Material			Probetas AISI 1045 1 ^{er} y 2 ^{do} revenido	
Tratamiento térmico			Revenido	
Número de revenidos			Tercer revenido consecutivo	
Tiempo de permanencia			1 hora	
Temperatura de permanencia			100°C	
Medio de enfriamiento			Ambiente	
Enfriamiento			Hasta el ambiente: 15°C	

4.2.3.16 Caso 6: Primer revenido consecutivo a 426°C durante 2 horas

DATOS INFORMATIVOS				
Autorizado por: Ing. Mg. Segundo Espín			Realizado por: Daniel Villegas	
Probeta:	16.1	16.2	16.3	Fecha de ejecución: 27/08/2013
	17.1	17.2	17.3	Lugar: Laboratorio de materiales
	18.1	18.2	18.3	Flujo de aire del medio: Estático.
Temperatura lugar: 21 °C				
DETALLES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO				
Material			Probetas AISI 1045 templadas	
Tratamiento térmico			Revenido	
Número de revenidos			Primer revenido consecutivo	
Tiempo de permanencia			2 horas	
Temperatura de permanencia			426°C	
Medio de enfriamiento			Ambiente	
Enfriamiento			Hasta el ambiente: 20°C	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES



4.2.3.17 Segundo revenido consecutivo a 426°C durante 2 horas

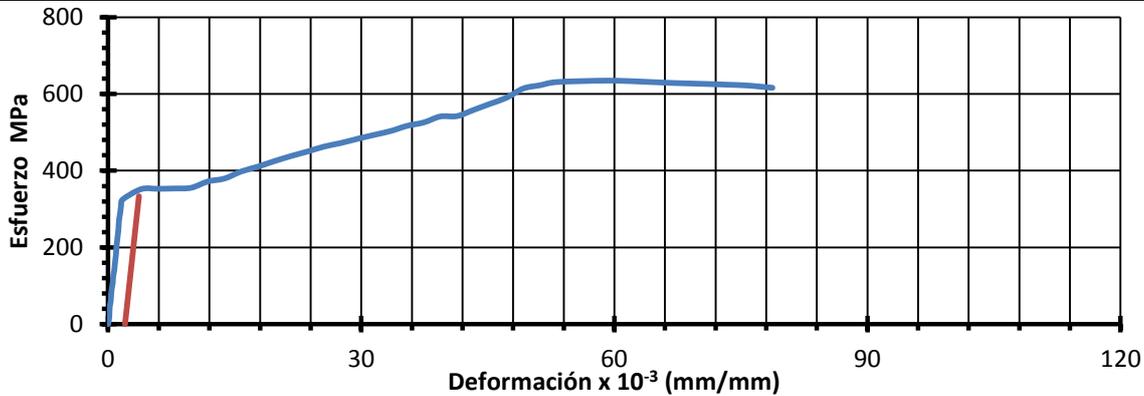
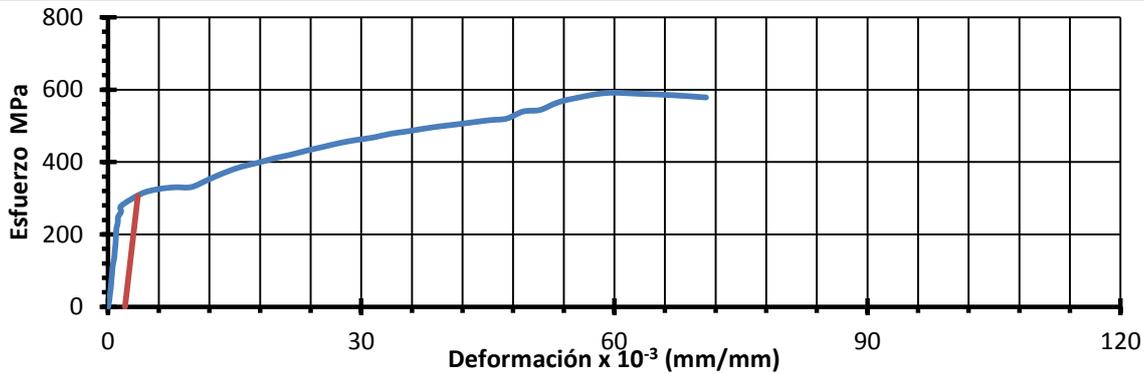
DATOS INFORMATIVOS				
Autorizado por: Ing. Mg. Segundo Espín			Realizado por: Daniel Villegas	
Probeta:	17.1	17.2	17.3	Fecha de ejecución: 27/08/2013
	18.1	18.2	18.3	Lugar: Laboratorio de materiales
Temperatura del lugar: 21 °C.			Flujo de aire del medio: Estático	
DETALLES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO				
Material			Probetas AISI 1045 1 ^{er} revenido	
Tratamiento térmico			Revenido	
Número de revenidos			Segundo revenido consecutivo	
Tiempo de permanencia			2 horas	
Temperatura de permanencia			426°C	
Medio de enfriamiento			Ambiente	
Enfriamiento			Hasta el ambiente: 21°C	

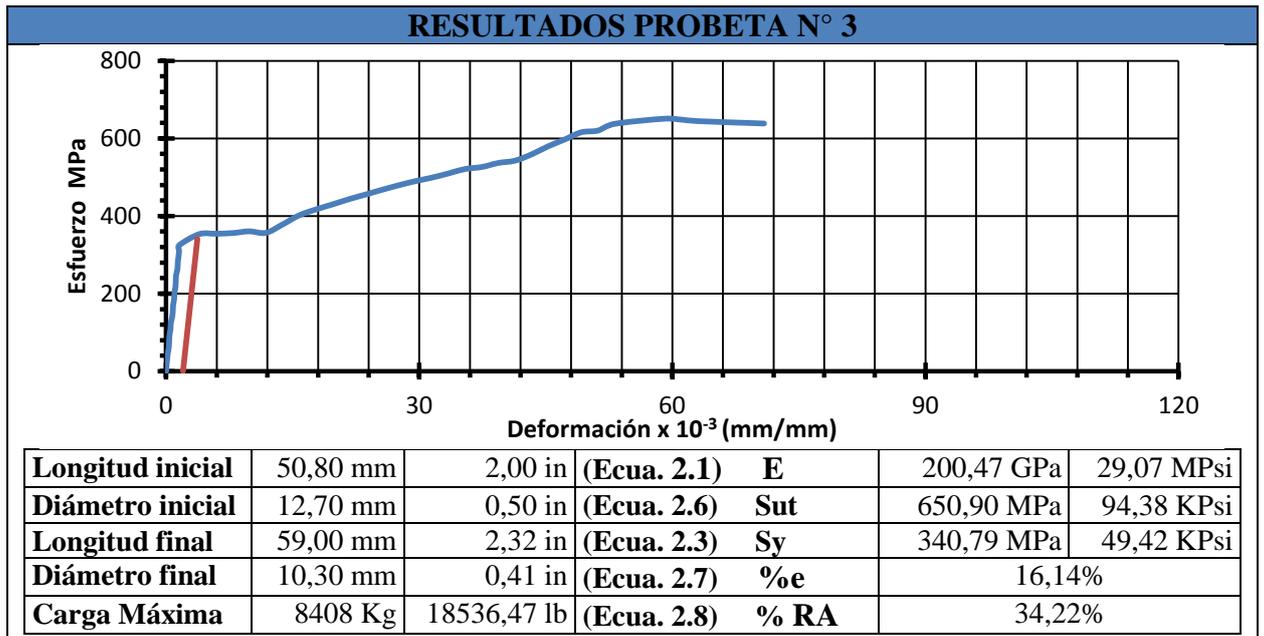
4.2.3.18 Tercer revenido consecutivo a 426°C durante 2 horas

DATOS INFORMATIVOS				
Autorizado por: Ing. Mg. Segundo Espín			Realizado por: Daniel Villegas	
Probeta:	18.1	18.2	18.3	Fecha de ejecución: 28/08/2013
	Lugar: Laboratorio de materiales			Flujo de aire del medio: Estático.
Temperatura del lugar: 15 °C				
DETALLES DEL TRATAMIENTO TÉRMICO				
Material			Probetas AISI 1045 1 ^{er} y 2 ^{do} revenido	
Tratamiento térmico			Revenido	
Número de revenidos			Tercer revenido consecutivo	
Tiempo de permanencia			2 horas	
Temperatura de permanencia			426°C	
Medio de enfriamiento			Ambiente	
Enfriamiento			Hasta el ambiente: 15°C	

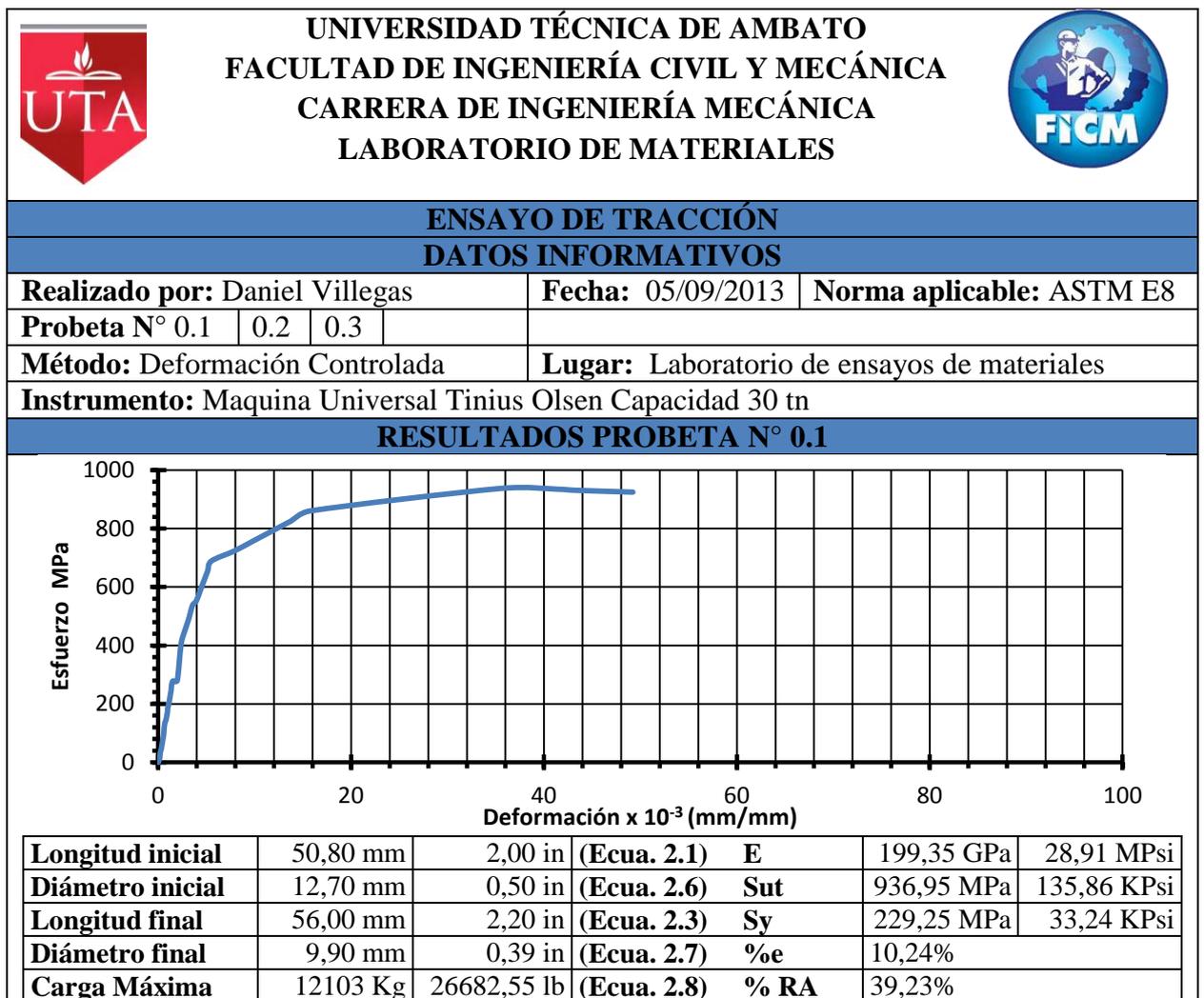
4.2.4 Evaluación del ensayo de tracción

4.2.4.1 Probetas de acero AISI 1045 de fábrica

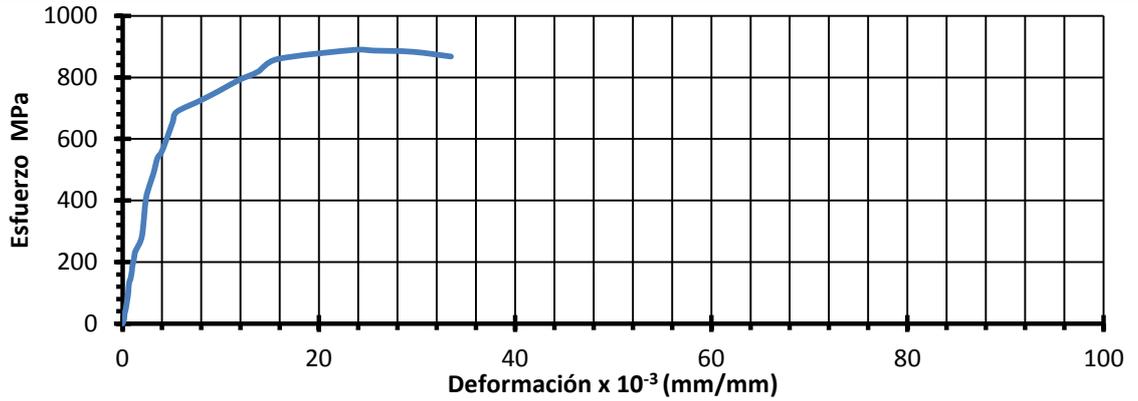
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES					
ENSAYO DE TRACCIÓN							
DATOS INFORMATIVOS							
Realizado por: Daniel Villegas			Fecha: 04/09/2013		Norma aplicable: ASTM E 8		
Probeta N° 1 2 3							
Método: Deformación Controlada				Lugar: Laboratorio de ensayos de materiales			
Instrumento: Maquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 tn							
RESULTADOS PROBETA N° 1							
							
Longitud inicial	50,80 mm	2,00 in	(Ecu. 2.1)	E	202,01 GPa	29,29 MPsi	
Diámetro inicial	12,70 mm	0,50 in	(Ecu. 2.6)	Sut	634,80 MPa	92,05 KPsi	
Longitud final	58,60 mm	2,31 in	(Ecu. 2.3)	Sy	333,32 MPa	48,33 KPsi	
Diámetro final	9,60 mm	0,38 in	(Ecu. 2.7)	%e	15,35%		
Carga Máxima	8200 Kg	18077,91 lb	(Ecu. 2.8)	% RA	42,86%		
RESULTADOS PROBETA N° 2							
							
Longitud inicial	50,80 mm	2,00 in	(Ecu. 2.1)	E	201,45 GPa	29,21 MPsi	
Diámetro inicial	12,70 mm	0,50 in	(Ecu. 2.6)	Sut	590,83 MPa	85,67 KPsi	
Longitud final	58,20 mm	2,29 in	(Ecu. 2.3)	Sy	306,20 MPa	44,40 KPsi	
Diámetro final	9,53 mm	0,38 in	(Ecu. 2.7)	%e	14,57%		
Carga Máxima	7632 Kg	16825,68 lb	(Ecu. 2.8)	% RA	43,69%		



4.2.4.2 Probetas de acero AISI 1045 sometidas al temple

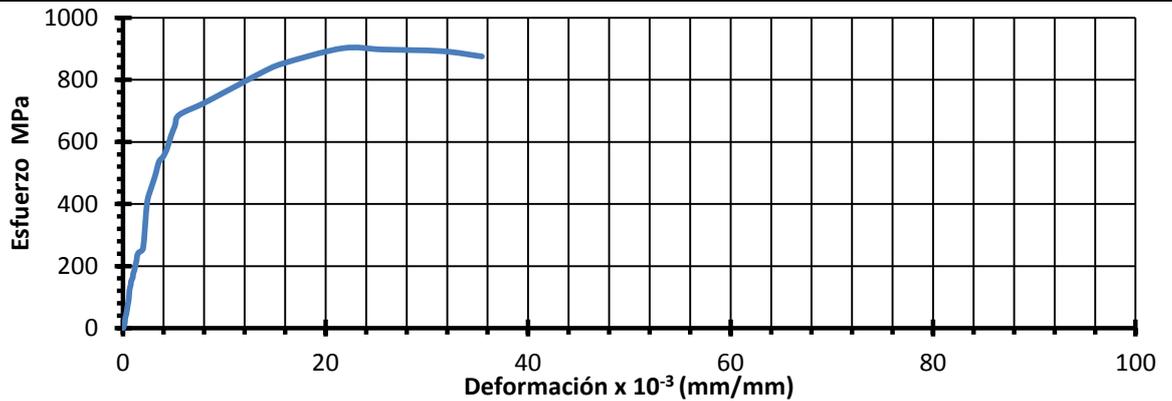


RESULTADOS PROBETA N° 0.2



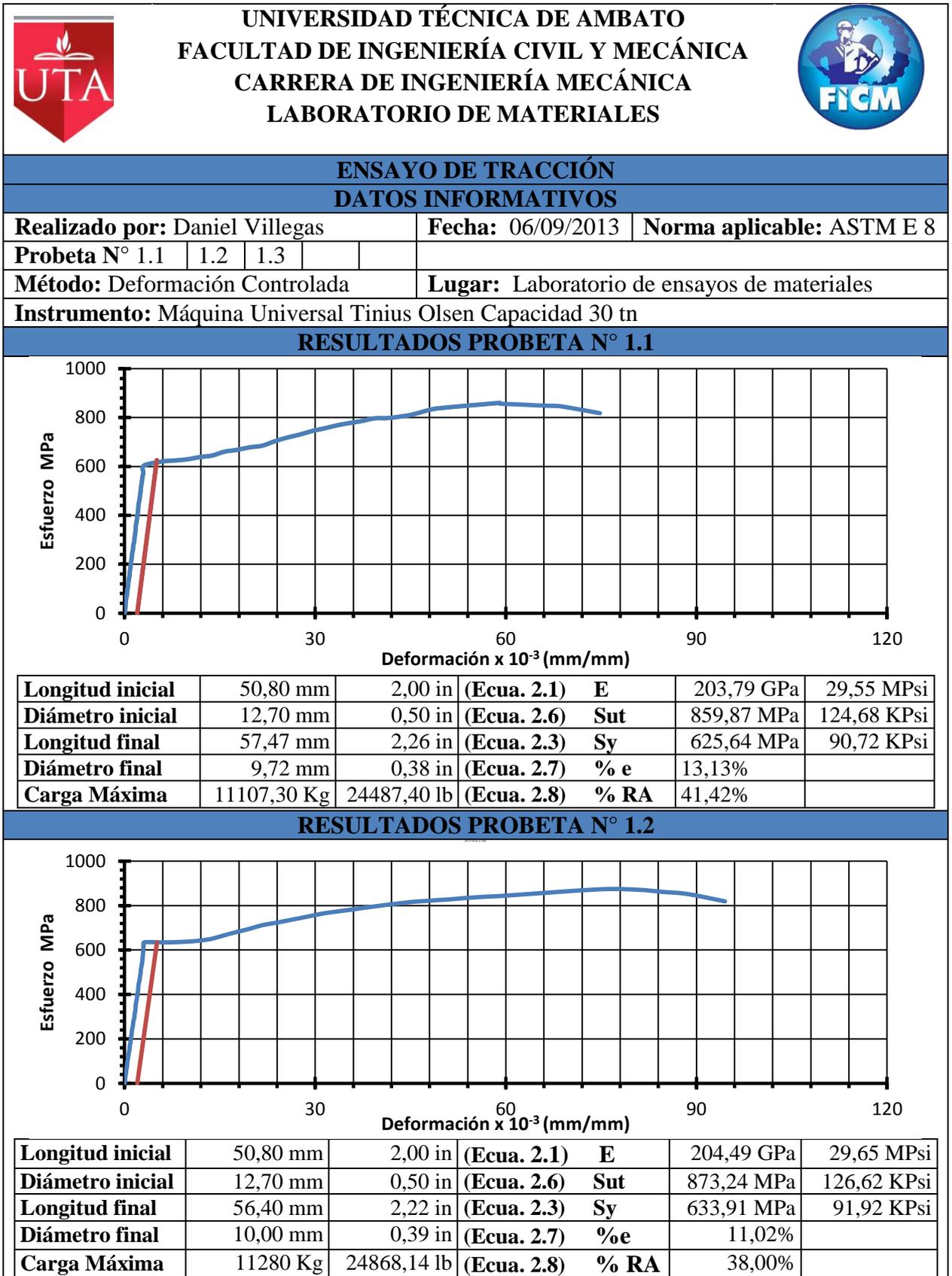
Longitud inicial	50,80 mm	2,00 in	(Ecu. 2.1)	E	200,70 GPa	29,10 MPsi
Diámetro inicial	12,70 mm	0,50 in	(Ecu. 2.6)	Sut	889,54 MPa	128,98 KPsi
Longitud final	56,00 mm	2,20 in	(Ecu. 2.3)	Sy	230,80 MPa	33,47 KPsi
Diámetro final	10,40 mm	0,41 in	(Ecu. 2.7)	%e	10,24%	
Carga Máxima	11491 Kg	25332,44 lb	(Ecu. 2.8)	% RA	32,94%	

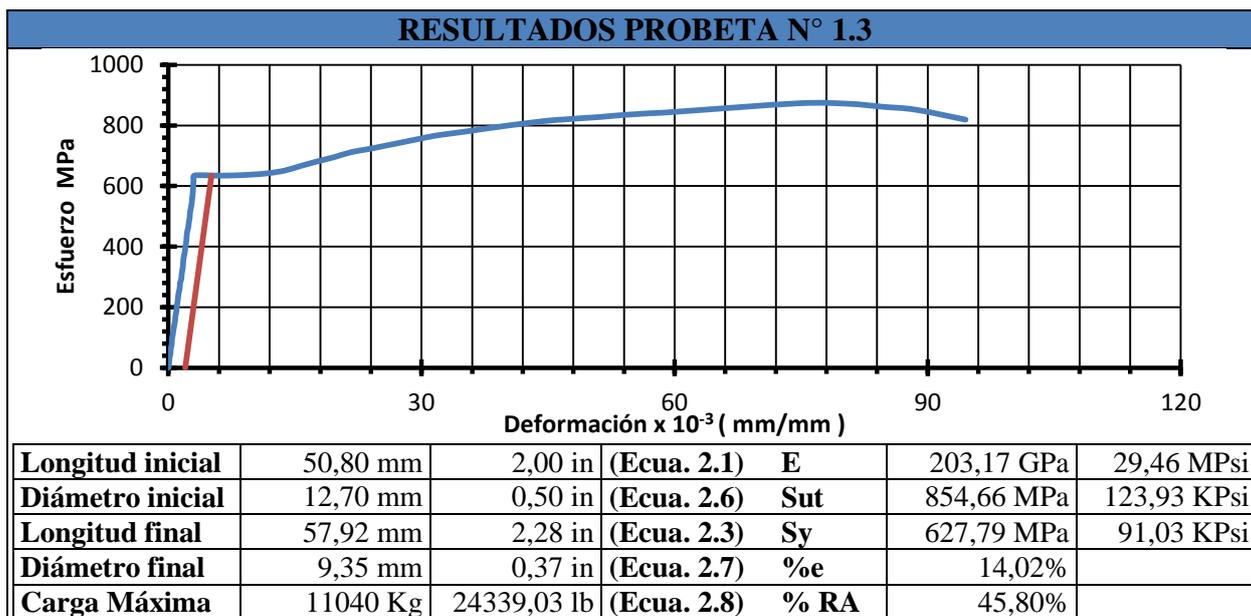
RESULTADOS PROBETA N° 0.3



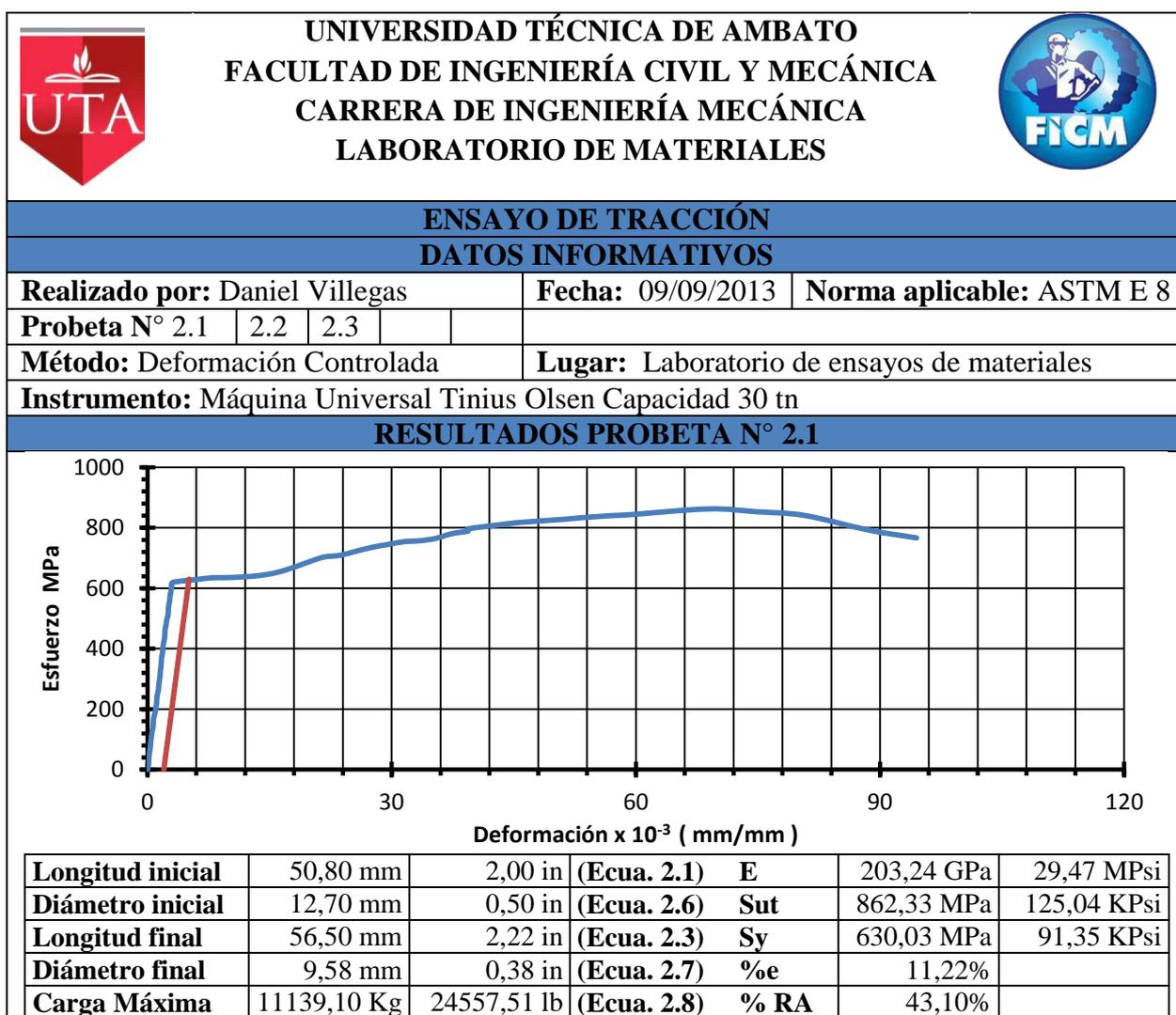
Longitud inicial	50,80 mm	2,00 in	(Ecu. 2.1)	E	195,97 GPa	28,42 MPsi
Diámetro inicial	12,70 mm	0,50 in	(Ecu. 2.6)	Sut	901,64 MPa	130,74 KPsi
Longitud final	56,30 mm	2,22 in	(Ecu. 2.3)	Sy	215,57 MPa	31,26 KPsi
Diámetro final	9,70 mm	0,38 in	(Ecu. 2.7)	%e	10,83%	
Carga Máxima	11647 Kg	25677,02 lb	(Ecu. 2.8)	% RA	41,66%	

4.2.4.3 Caso 1: Primer revenido consecutivo a 100°C durante 1 hora

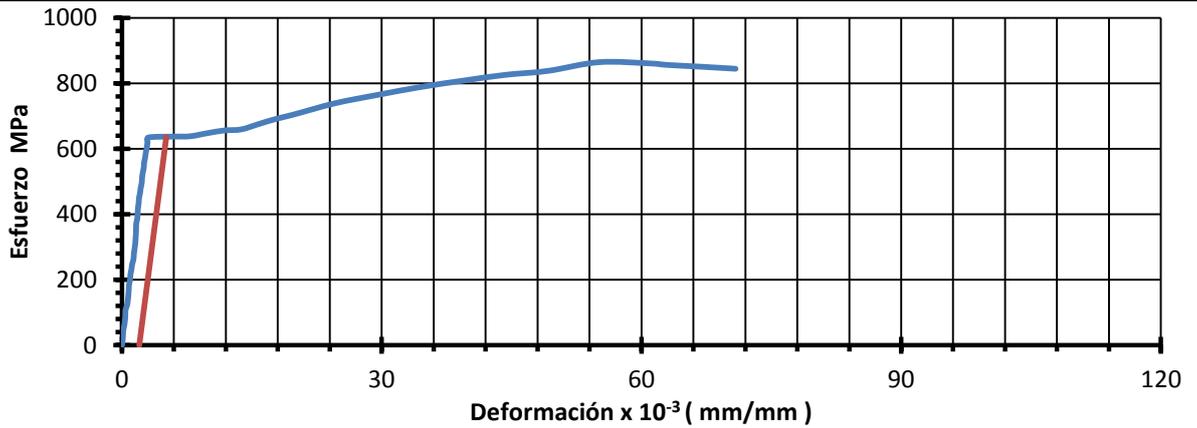




4.2.4.4 Segundo revenido consecutivo a 100°C durante 1 hora

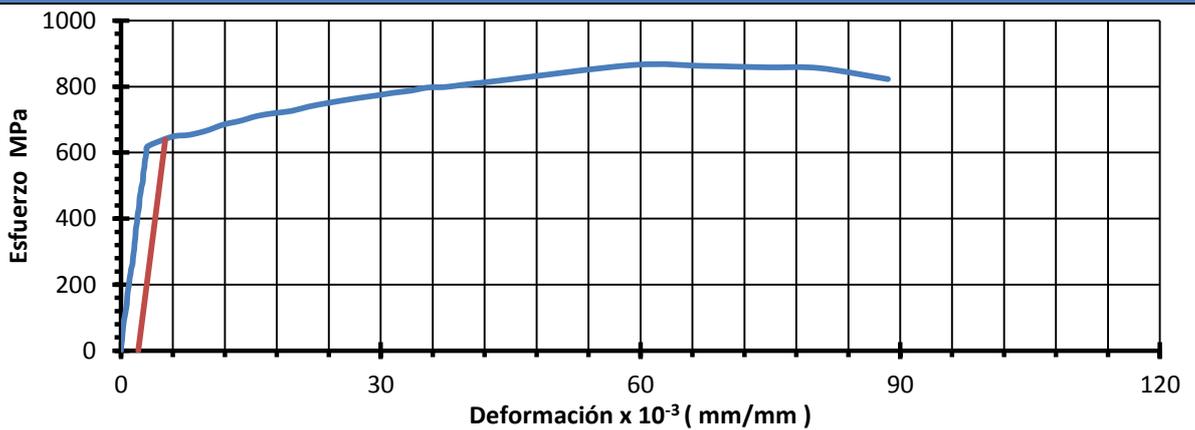


RESULTADOS PROBETA N° 2.2



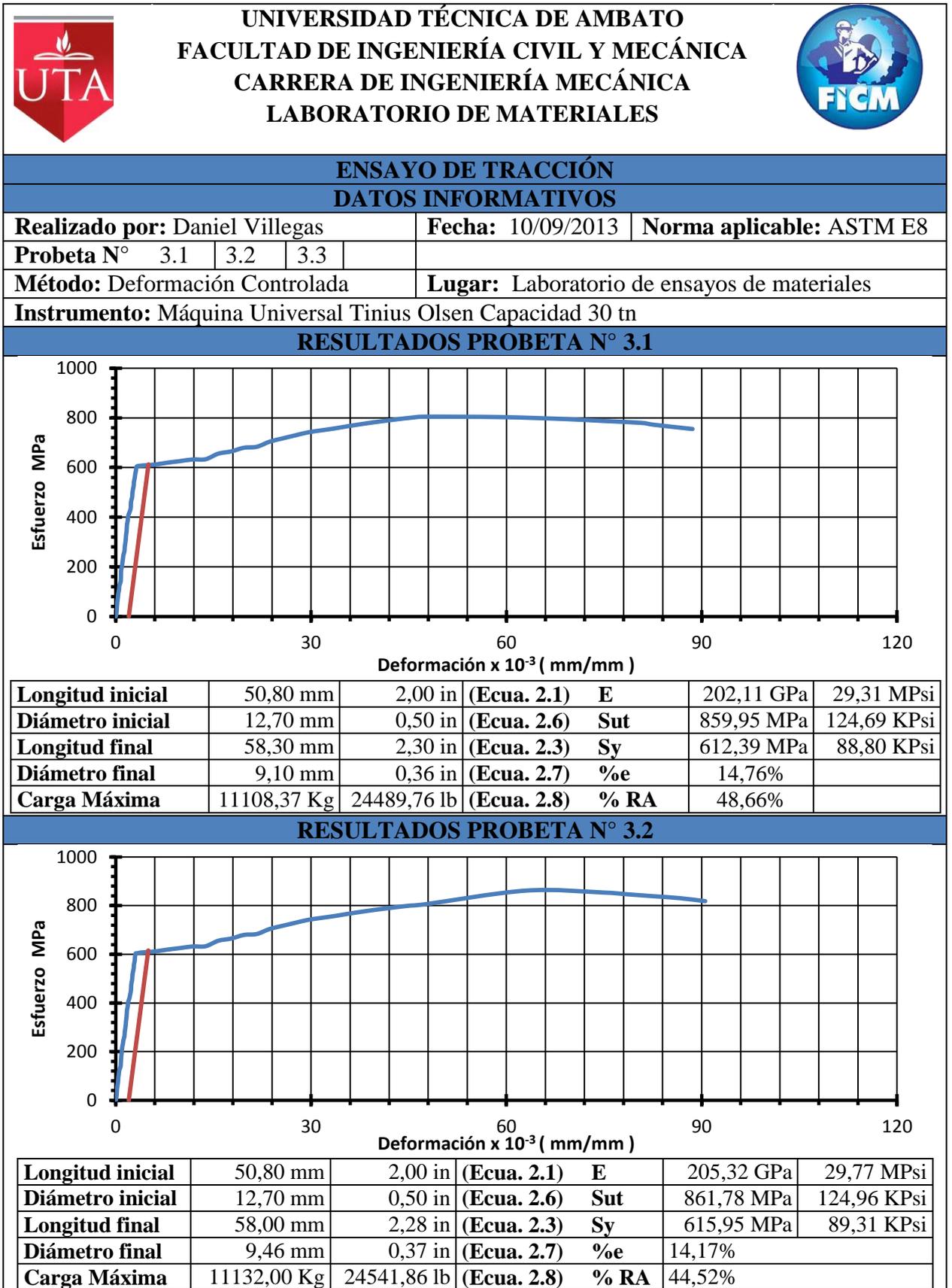
Longitud inicial	50,80 mm	2,00 in	(Ecu. 2.1)	E	203,65 GPa	29,53 MPsi
Diámetro inicial	12,70 mm	0,50 in	(Ecu. 2.6)	Sut	864,71 MPa	125,38 KPsi
Longitud final	58,58 mm	2,31 in	(Ecu. 2.3)	Sy	635,38 MPa	92,13 KPsi
Diámetro final	9,40 mm	0,37 in	(Ecu. 2.7)	%e	15,31%	
Carga Máxima	11169,80 Kg	24625,19 lb	(Ecu. 2.8)	% RA	45,22%	

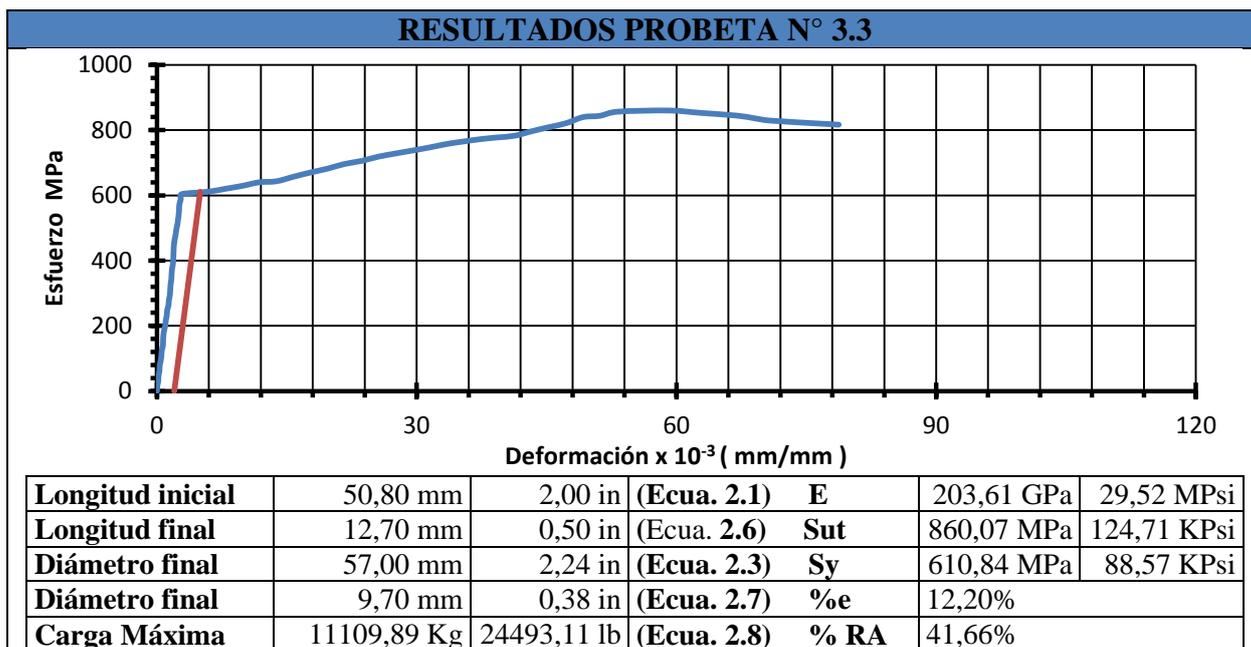
RESULTADOS PROBETA N° 2.3



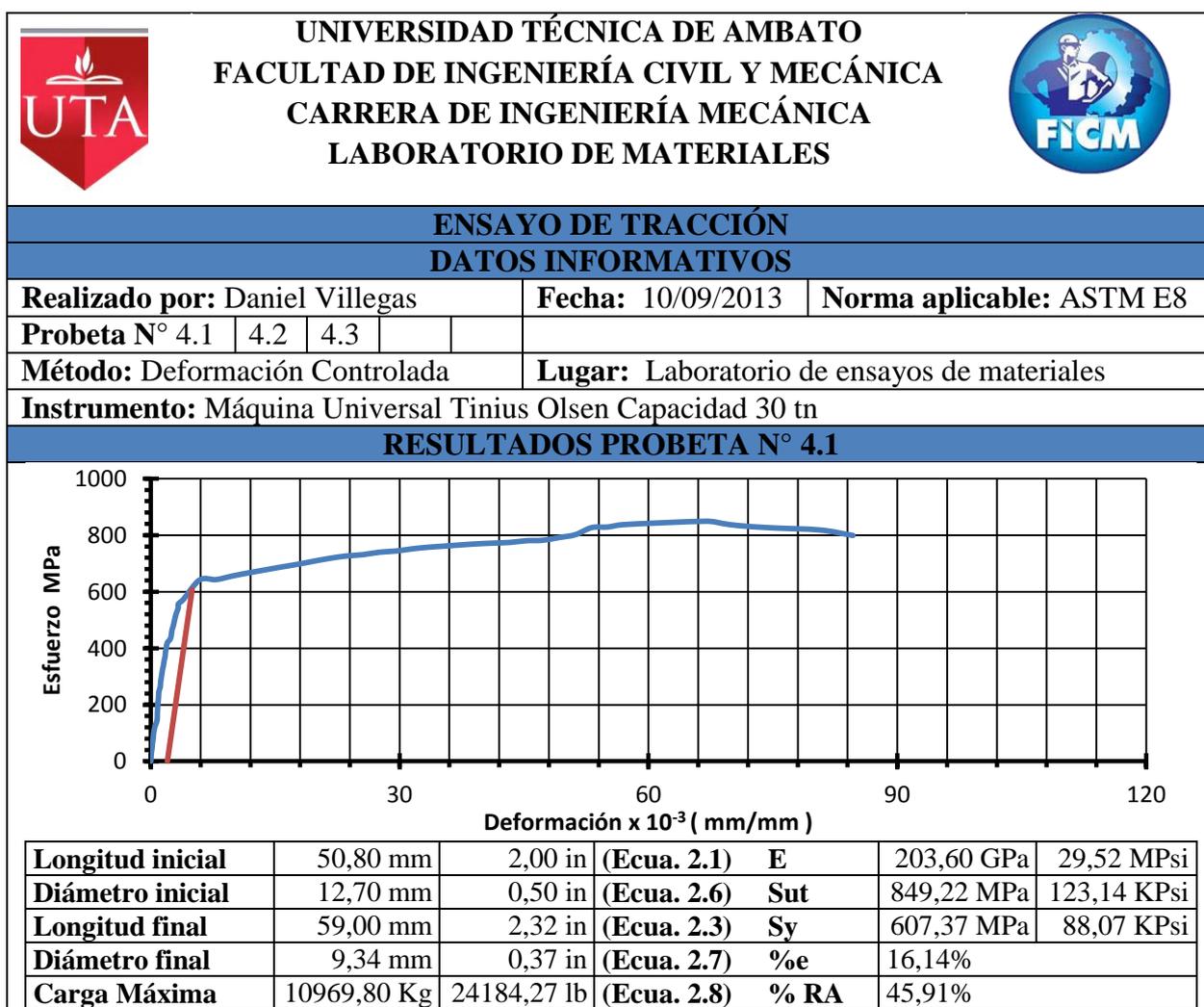
Longitud inicial	50,80 mm	2,00 in	(Ecu. 2.1)	E	204,85 GPa	29,70 MPsi
Diámetro inicial	12,70 mm	0,50 in	(Ecu. 2.6)	Sut	865,19 MPa	125,45 KPsi
Longitud final	57,70 mm	2,27 in	(Ecu. 2.3)	Sy	639,14 MPa	92,68 KPsi
Diámetro final	9,53 mm	0,38 in	(Ecu. 2.7)	%e	13,58%	
Carga Máxima	11176,00 Kg	24638,86 lb	(Ecu. 2.8)	% RA	43,69%	

4.2.4.5 Tercer revenido consecutivo a 100°C durante 1 hora

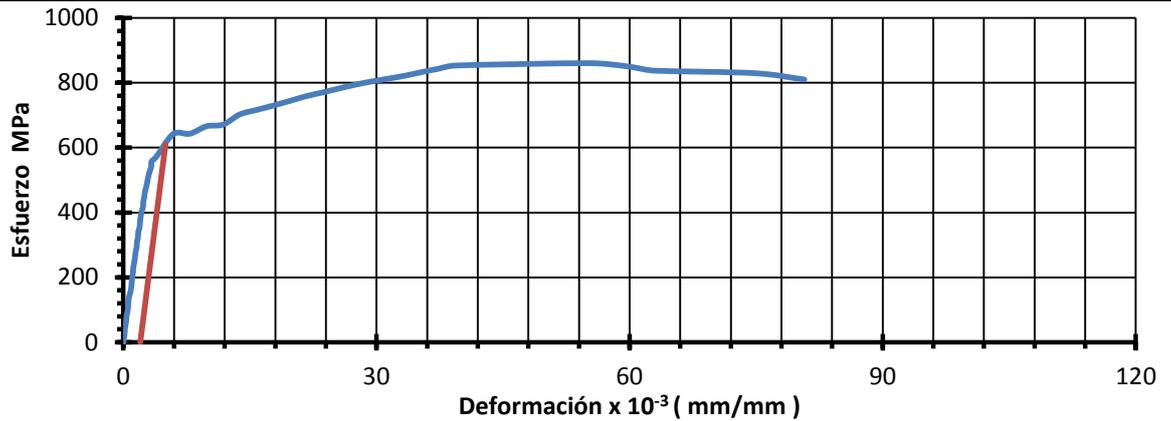




4.2.4.6 Caso 2: Primer revenido consecutivo a 100°C durante 2 horas



RESULTADOS PROBETA N° 4.2



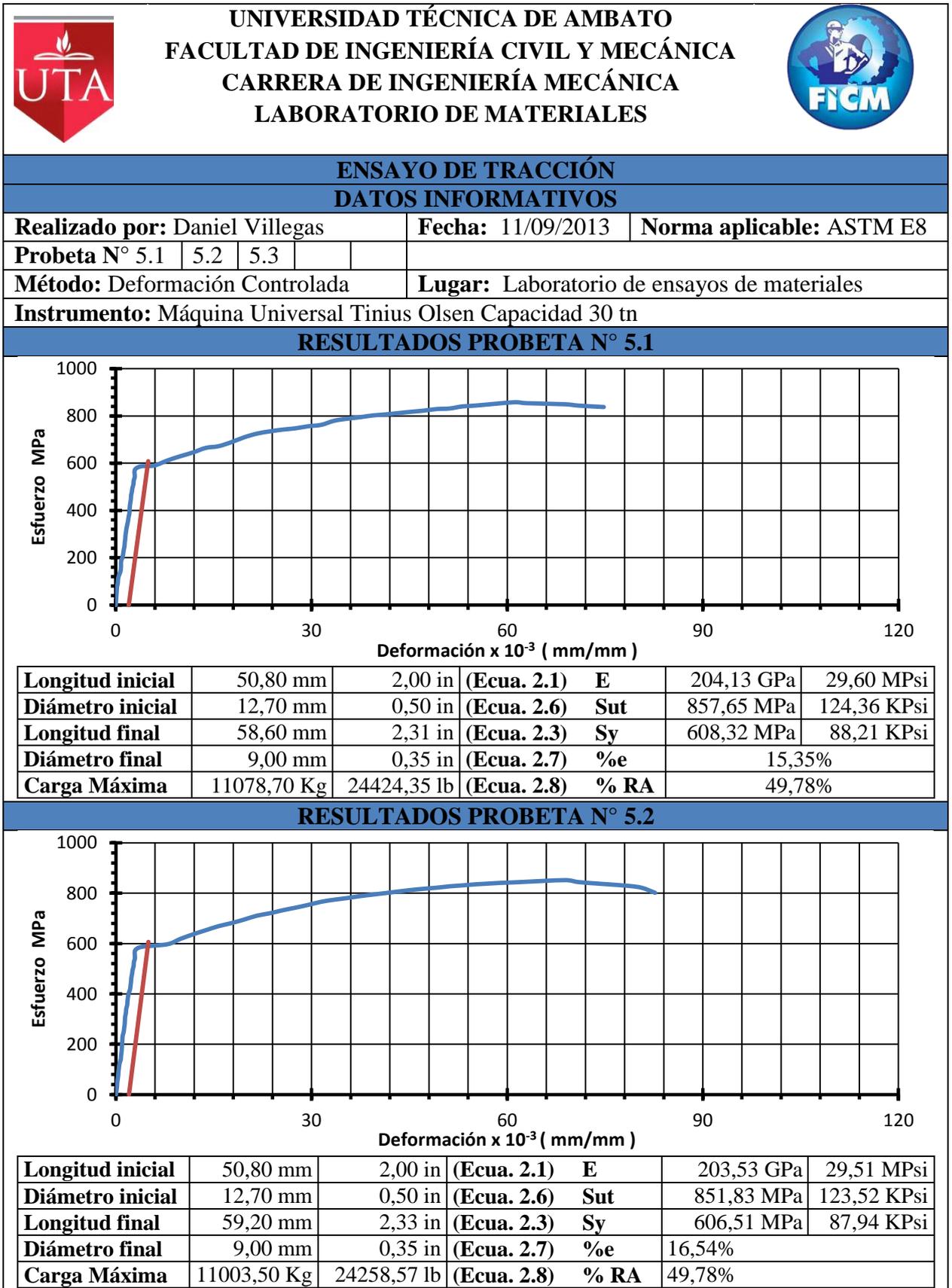
Longitud inicial	50,80 mm	2,00 in	(Ecu. 2.1)	E	204,21 GPa	29,61 MPsi
Diámetro inicial	12,70 mm	0,50 in	(Ecu. 2.6)	Sut	860,37 MPa	124,75 KPsi
Longitud final	56,48 mm	2,22 in	(Ecu. 2.3)	Sy	608,42 MPa	88,22 KPsi
Diámetro final	9,44 mm	0,37 in	(Ecu. 2.7)	%e	11,18%	
Carga Máxima	11113,76 Kg	24501,65 lb	(Ecu. 2.8)	% RA	44,75%	

RESULTADOS PROBETA N° 4.3

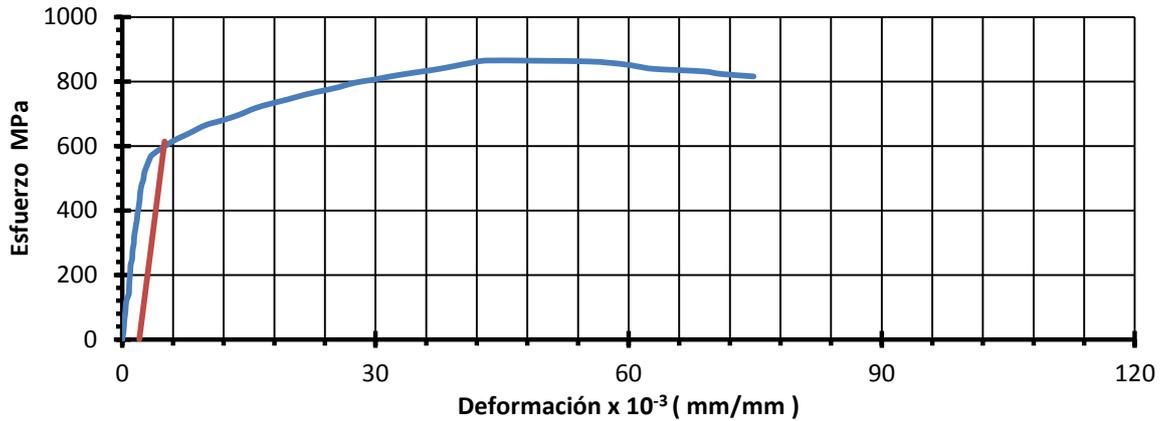


Longitud inicial	50,80 mm	2,00 in	(Ecu. 2.1)	E	204,01 GPa	29,58 MPsi
Diámetro inicial	12,70 mm	0,50 in	(Ecu. 2.6)	Sut	856,35 MPa	124,17 KPsi
Longitud final	58,30 mm	2,30 in	(Ecu. 2.3)	Sy	607,84 MPa	88,14 KPsi
Diámetro final	9,46 mm	0,37 in	(Ecu. 2.7)	%e	14,76%	
Carga Máxima	11061,80 Kg	24387,09 lb	(Ecu. 2.8)	% RA	44,52%	

4.2.4.7 Segundo revenido consecutivo a 100°C durante 2 horas



RESULTADOS PROBETA N° 5.3



Longitud inicial	50,80 mm	2,00 in	(Ecu. 2.1)	E	204,68 GPa	29,68 MPsi
Diámetro inicial	12,70 mm	0,50 in	(Ecu. 2.6)	Sut	862,36 MPa	125,04 KPsi
Longitud final	57,50 mm	2,26 in	(Ecu. 2.3)	Sy	614,05 MPa	89,04 KPsi
Diámetro final	9,27 mm	0,36 in	(Ecu. 2.7)	%e	13,19%	
Carga Máxima	11139,50 Kg	24558,39 lb	(Ecu. 2.8)	% RA	46,72%	

4.2.4.8 Tercer revenido consecutivo a 100°C durante 2 horas



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES

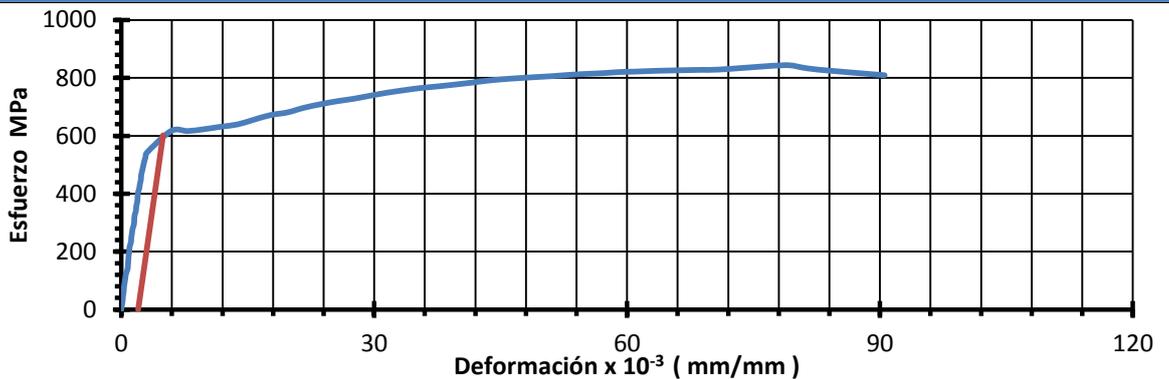


ENSAYO DE TRACCIÓN

DATOS INFORMATIVOS

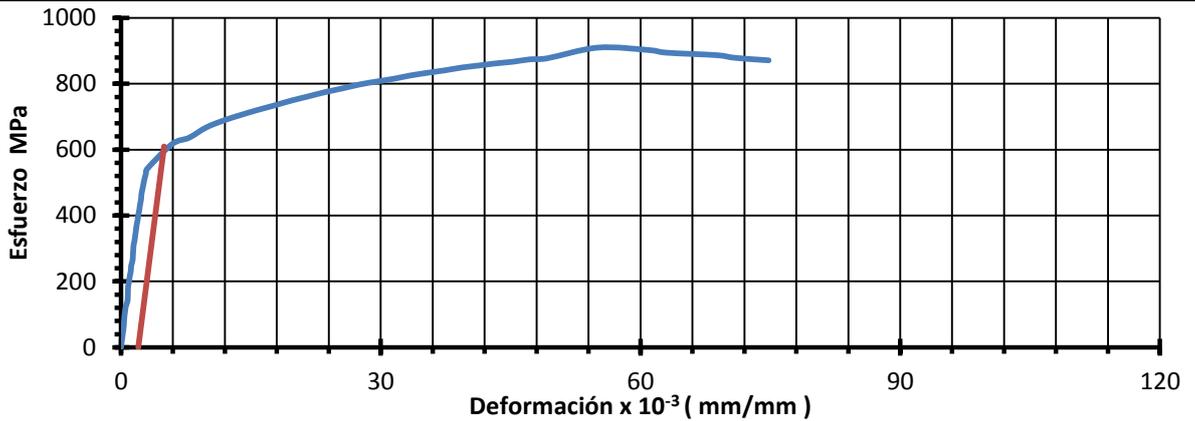
Realizado por: Daniel Villegas	Fecha: 12/09/2013	Norma aplicable: ASTM E8
Probeta N° 6.1 6.2 6.3		
Método: Deformación Controlada	Lugar: Laboratorio de ensayos de materiales	
Instrumento: Máquina Universal Tinius Olsen Capacidad 30 tn		

RESULTADOS PROBETA N° 6.1



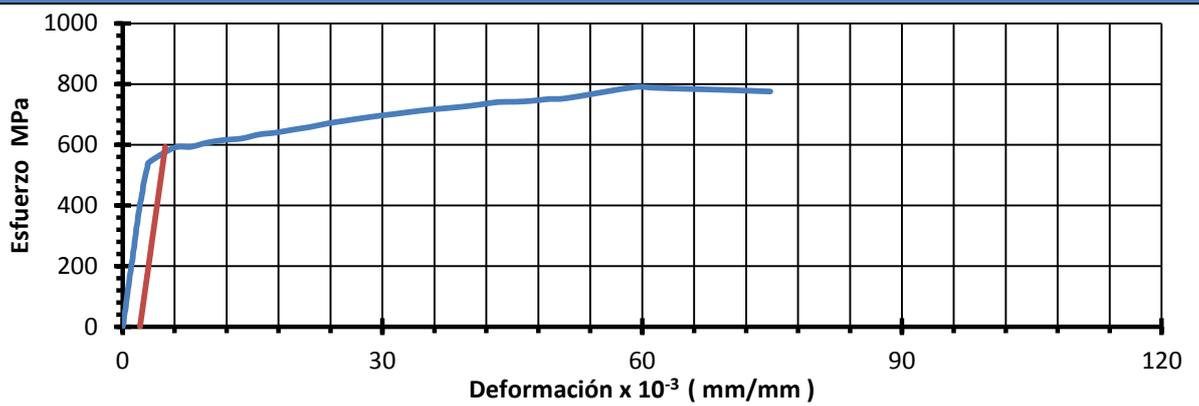
Longitud inicial	50,80 mm	2,00 in	(Ecu. 2.1)	E	203,93 GPa	29,57 MPsi
Diámetro inicial	12,70 mm	0,50 in	(Ecu. 2.6)	Sut	843,97 MPa	122,38 KPsi
Longitud final	58,70 mm	2,31 in	(Ecu. 2.3)	Sy	601,61 MPa	87,23 KPsi
Diámetro final	8,96 mm	0,35 in	(Ecu. 2.7)	%e	15,55%	
Carga Máxima	10902,00 Kg	24034,80 lb	(Ecu. 2.8)	% RA	50,23%	

RESULTADOS PROBETA N° 6.2



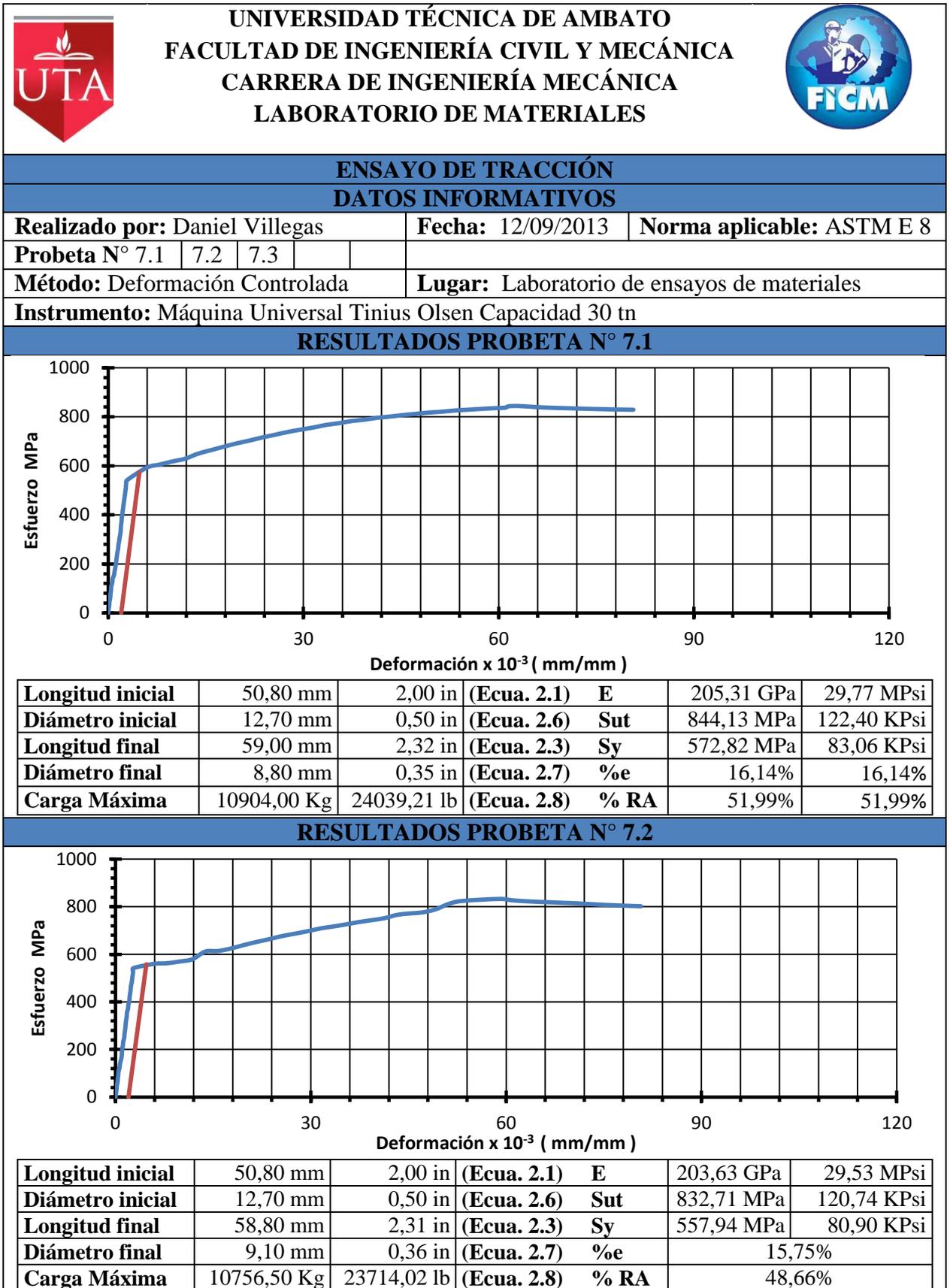
Longitud inicial	50,80 mm	2,00 in	(Ecu. 2.1)	E	204,57 GPa	29,66 MPsi
Diámetro inicial	12,70 mm	0,50 in	(Ecu. 2.6)	Sut	909,78 MPa	131,92 KPsi
Longitud final	59,00 mm	2,32 in	(Ecu. 2.3)	Sy	609,61 MPa	88,39 KPsi
Diámetro final	8,69 mm	0,34 in	(Ecu. 2.7)	%e	16,14%	
Carga Máxima	11752,00 Kg	25908,73 lb	(Ecu. 2.8)	% RA	53,18%	

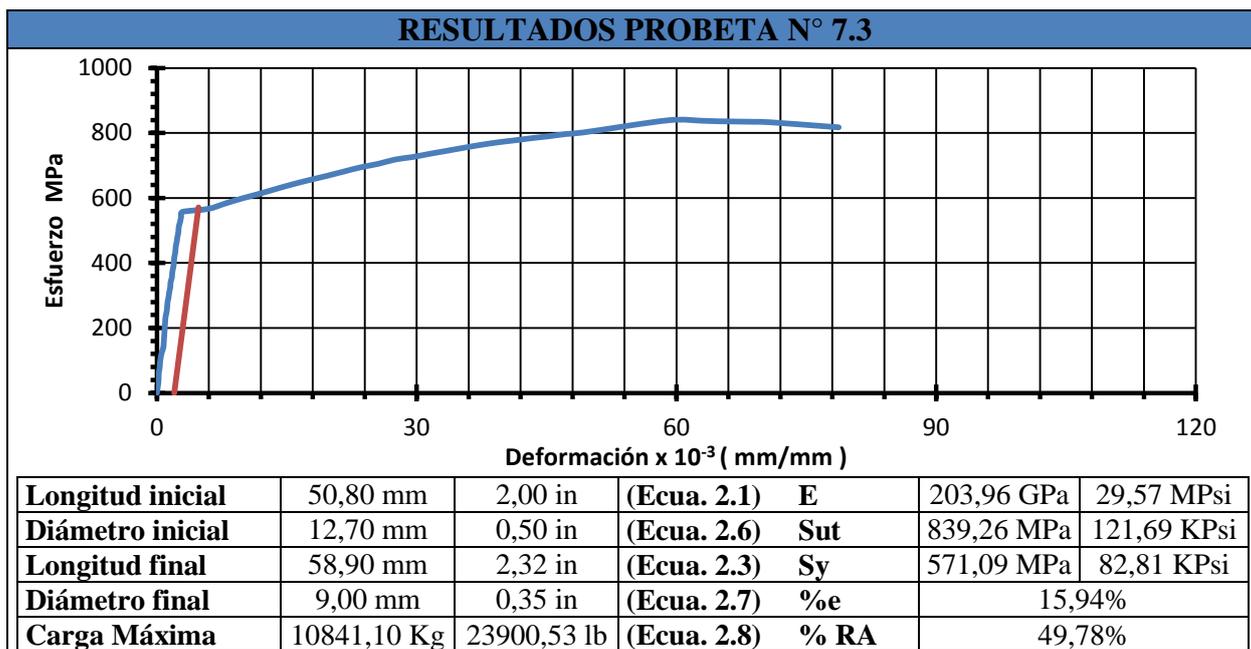
RESULTADOS PROBETA N° 6.3



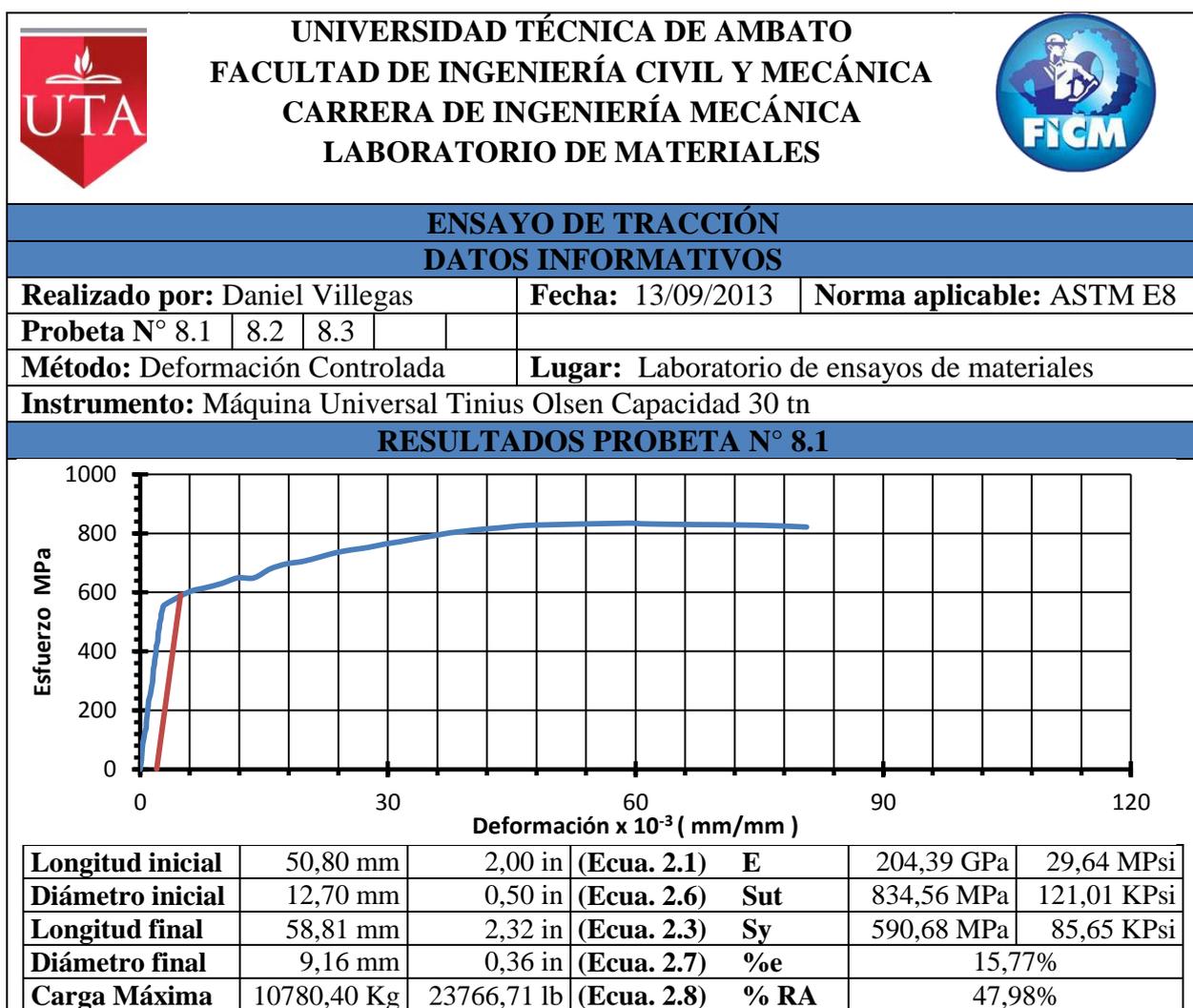
Longitud inicial	50,80 mm	2,00 in	(Ecu. 2.1)	E	203,25 GPa	29,47 MPsi
Diámetro inicial	12,70 mm	0,50 in	(Ecu. 2.6)	Sut	789,92 MPa	114,54 KPsi
Longitud final	58,20 mm	2,29 in	(Ecu. 2.3)	Sy	592,68 MPa	85,94 KPsi
Diámetro final	9,35 mm	0,37 in	(Ecu. 2.7)	%e	14,57%	
Carga Máxima	10203,80 Kg	22495,53 lb	(Ecu. 2.8)	% RA	45,80%	

4.2.4.9 Caso: Primer revenido consecutivo a 200°C durante 1 hora

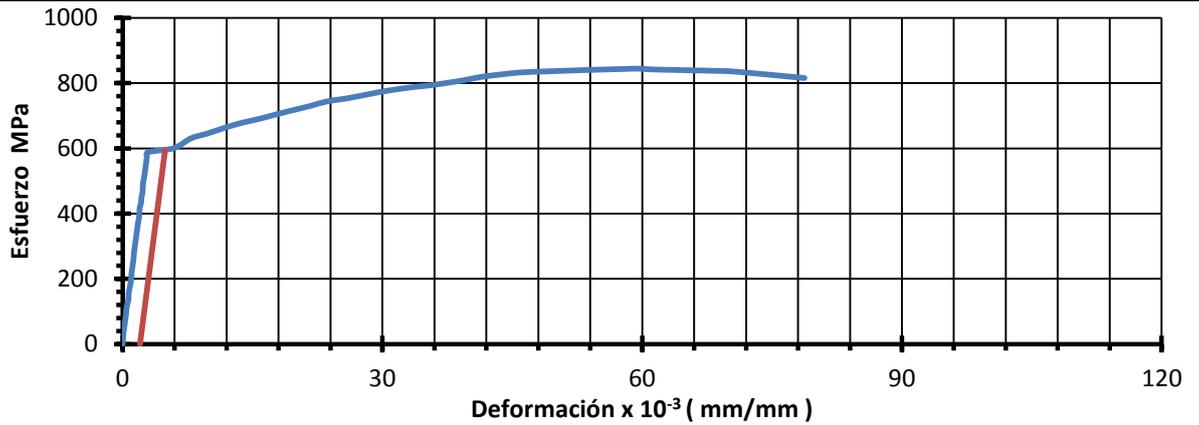




4.2.4.10 Segundo revenido consecutivo a 200°C durante 1 hora



RESULTADOS PROBETA N° 8.2



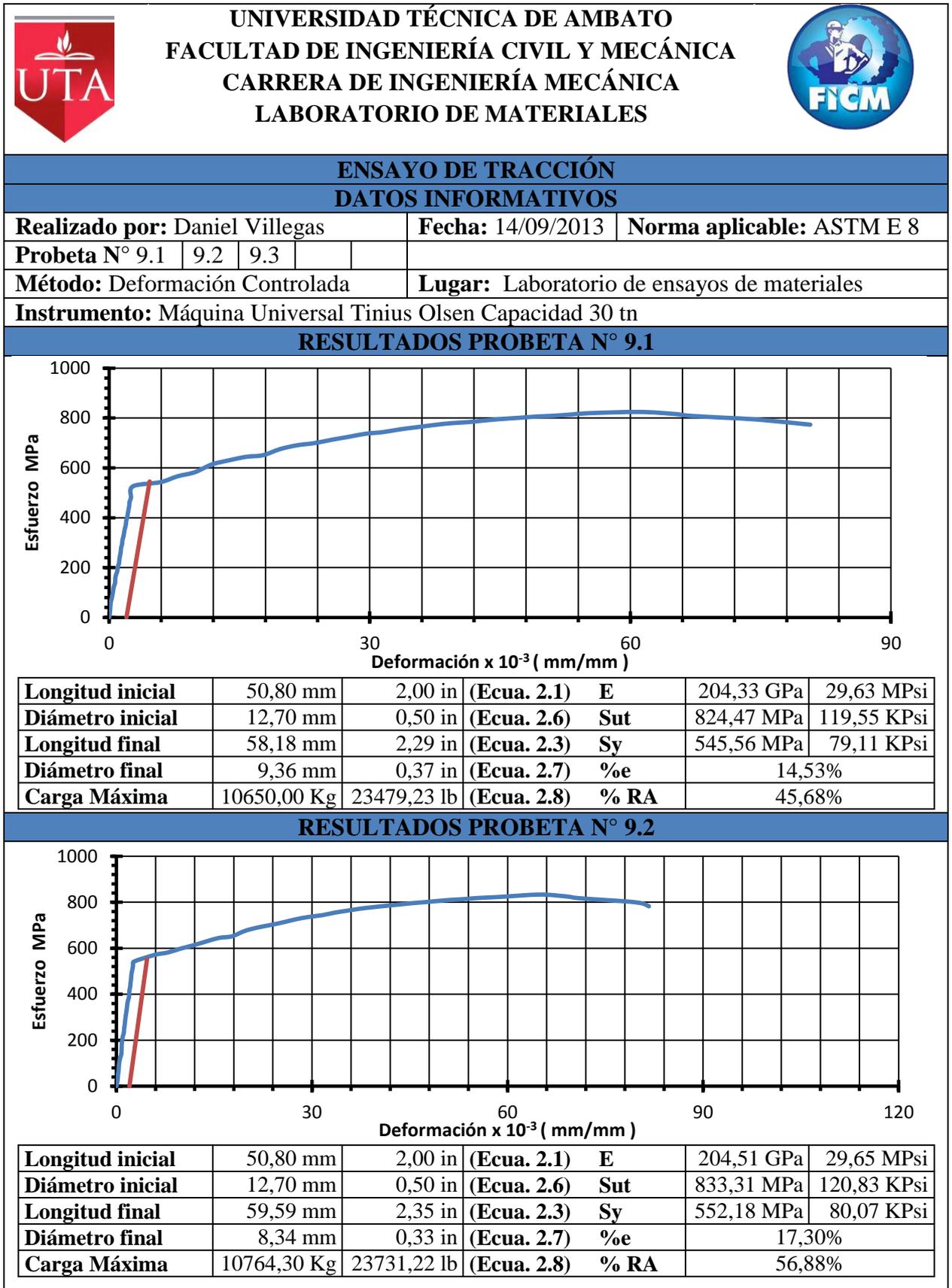
Longitud inicial	50,80 mm	2,00 in	(Ecu. 2.1)	E	205,09 GPa	29,74 MPsi
Diámetro inicial	12,70 mm	0,50 in	(Ecu. 2.6)	Sut	844,28 MPa	122,42 KPsi
Longitud final	58,30 mm	2,30 in	(Ecu. 2.3)	Sy	594,76 MPa	86,24 KPsi
Diámetro final	9,10 mm	0,36 in	(Ecu. 2.7)	%e	14,76%	
Carga Máxima	10906 Kg	24043,39 lb	(Ecu. 2.8)	% RA	48,66%	

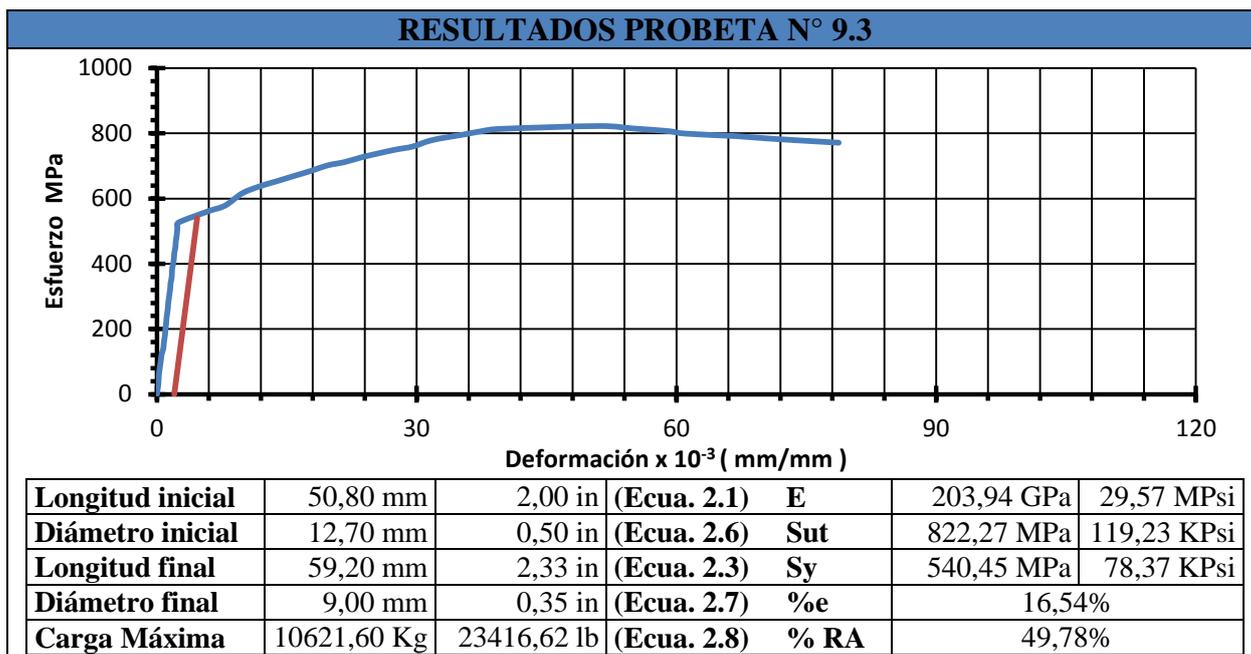
RESULTADOS PROBETA N° 8.3



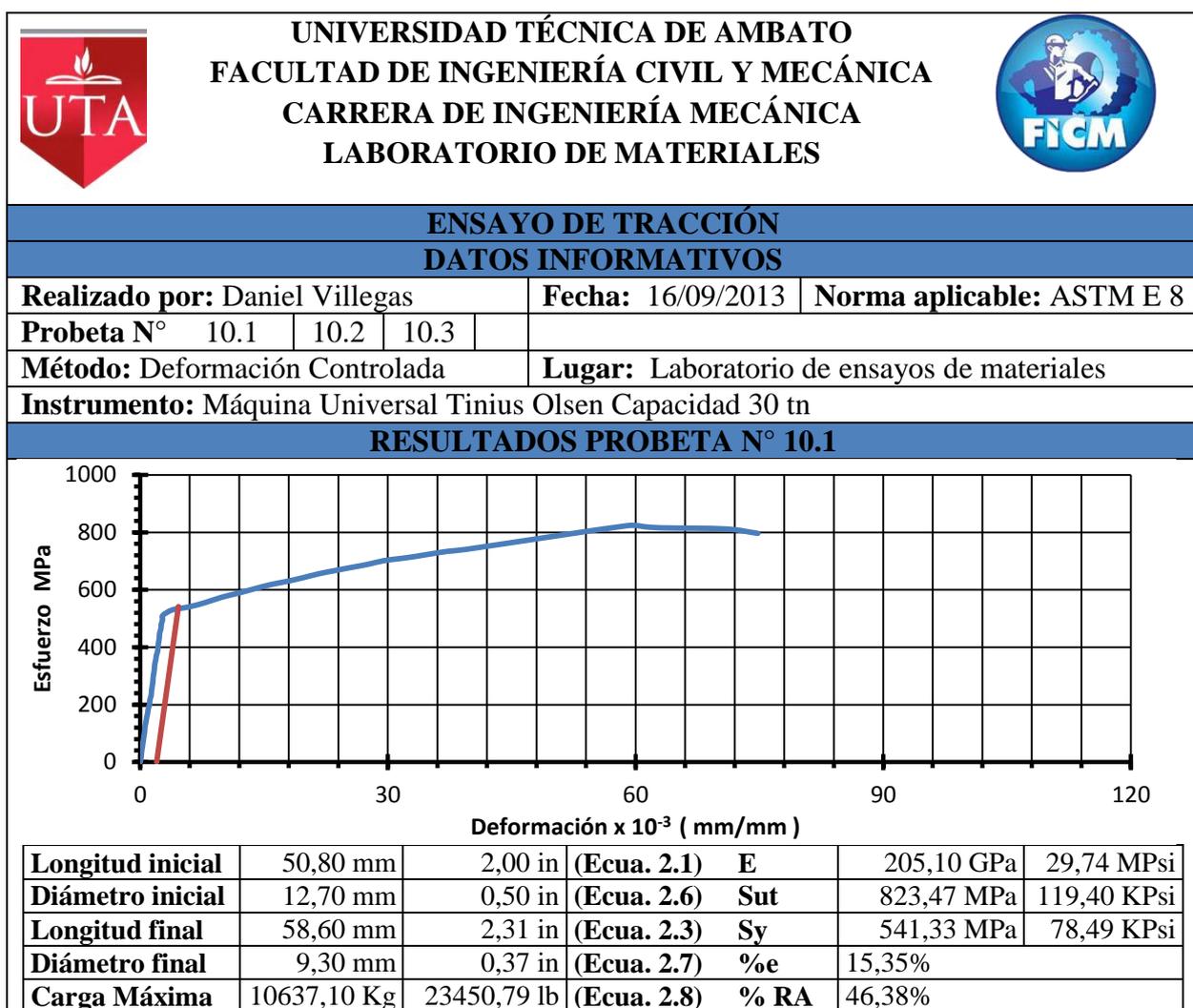
Longitud inicial	50,80 mm	2,00 in	(Ecu. 2.1)	E	204,21 GPa	29,61 MPsi
Diámetro inicial	12,70 mm	0,50 in	(Ecu. 2.6)	Sut	838,94 MPa	121,65 KPsi
Longitud final	59,80 mm	2,35 in	(Ecu. 2.3)	Sy	551,36 MPa	79,95 KPsi
Diámetro final	8,50 mm	0,33 in	(Ecu. 2.7)	%e	17,72%	
Carga Máxima	10837 Kg	23891,50 lb	(Ecu. 2.8)	% RA	55,20%	

4.2.4.11 Tercer revenido consecutivo a 200°C durante 1 hora

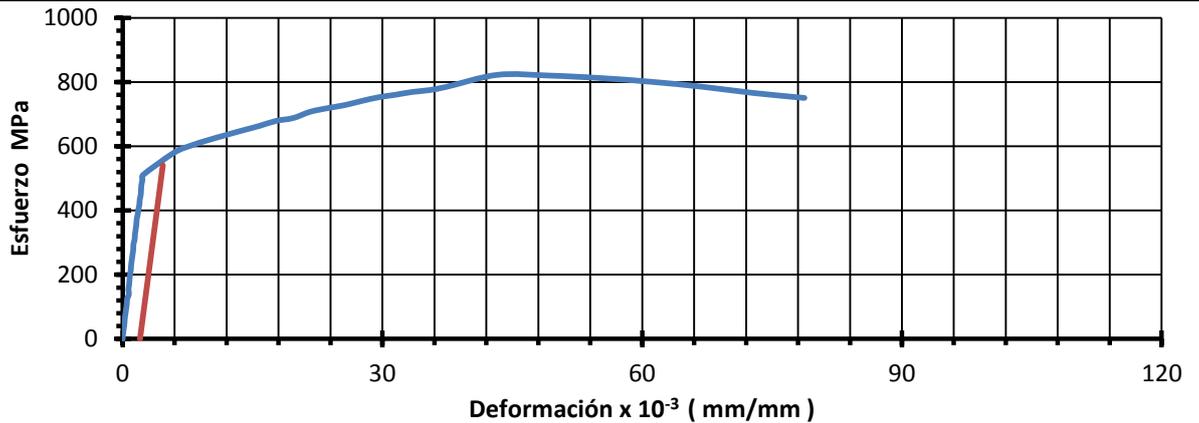




4.2.4.12 Caso 4: Primer revenido consecutivo a 200°C durante 2 horas

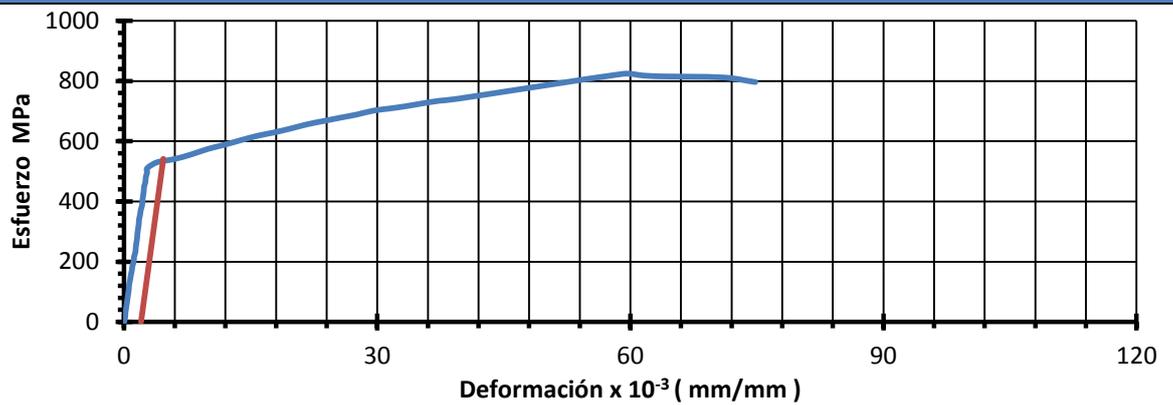


RESULTADOS PROBETA N° 10.2



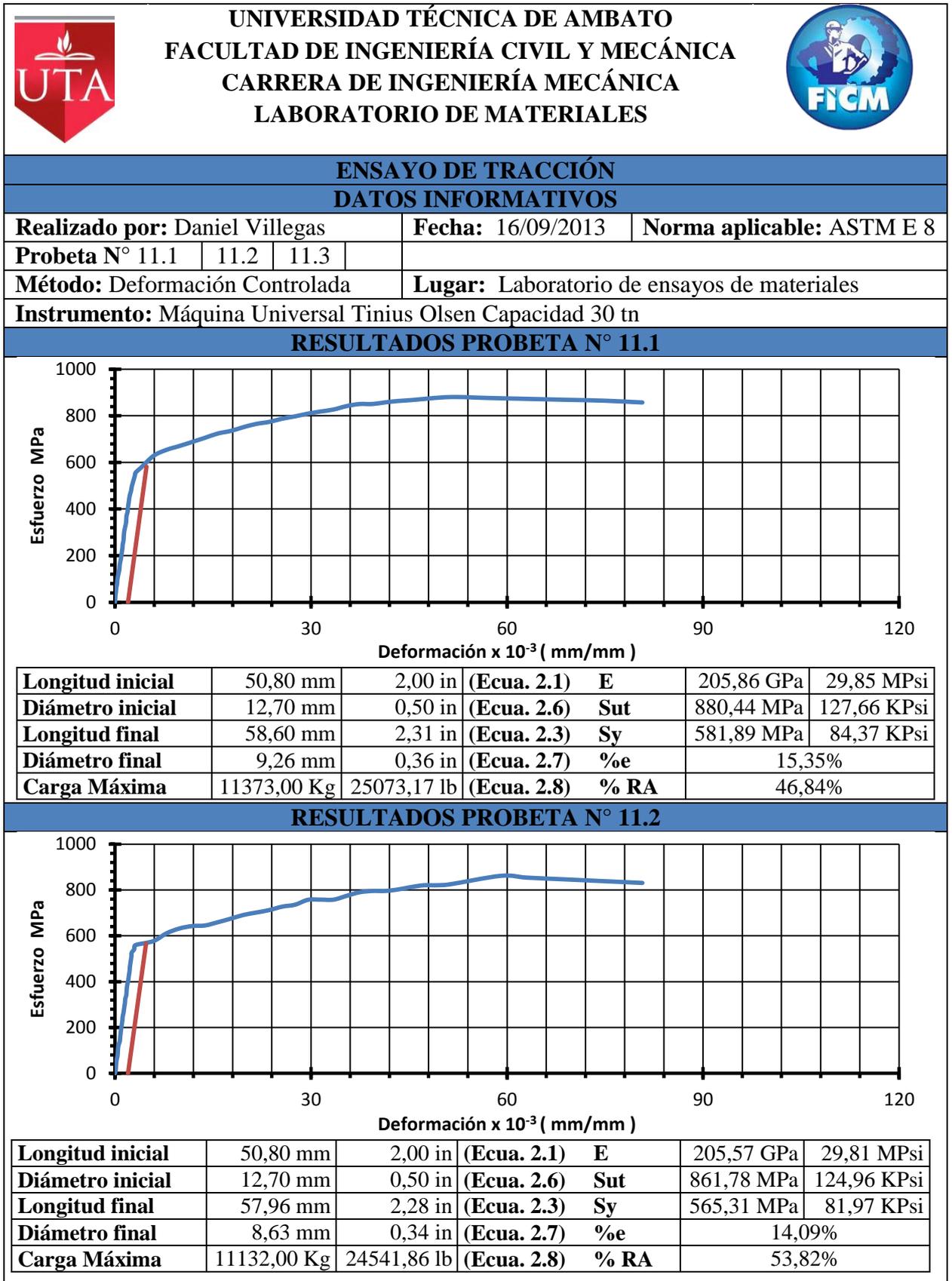
Longitud inicial	50,80 mm	2,00 in	(Ecu. 2.1)	E	204,95 GPa	29,72 MPsi
Diámetro inicial	12,70 mm	0,50 in	(Ecu. 2.6)	Sut	822,61 MPa	119,28 KPsi
Longitud final	59,50 mm	2,34 in	(Ecu. 2.3)	Sy	541,07 MPa	78,45 KPsi
Diámetro final	8,65 mm	0,34 in	(Ecu. 2.7)	%e	17,13%	
Carga Máxima	10626,00 Kg	23426,32 lb	(Ecu. 2.8)	% RA	53,61%	

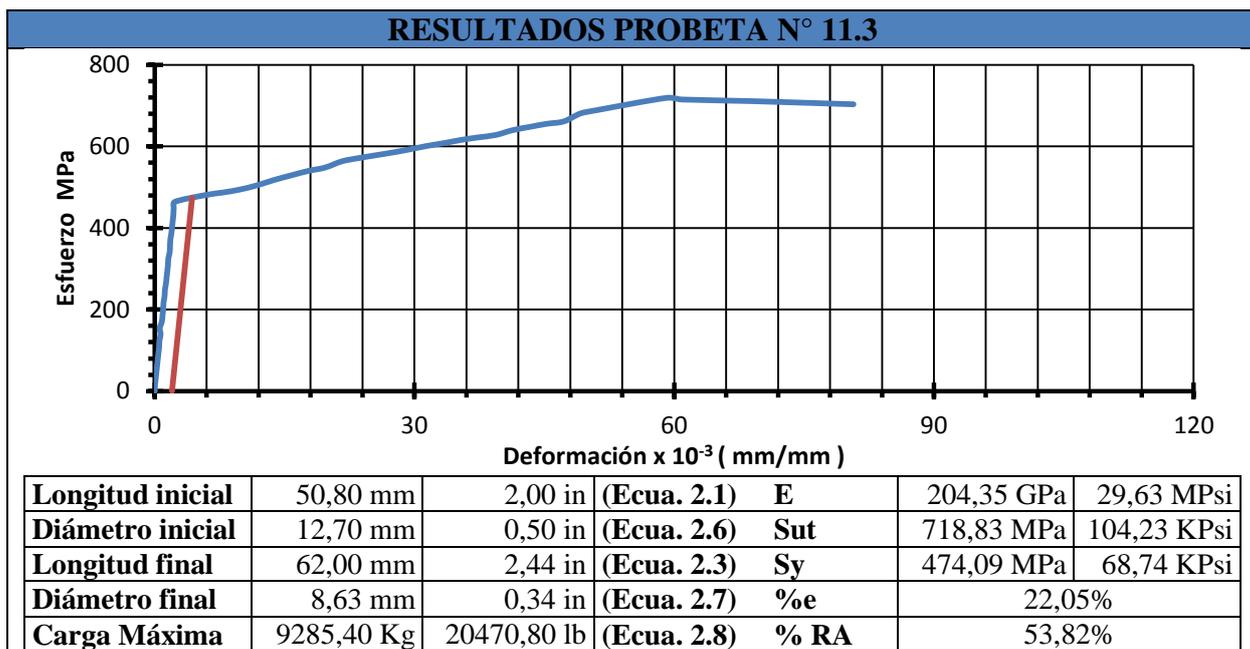
RESULTADOS PROBETA N° 10.3



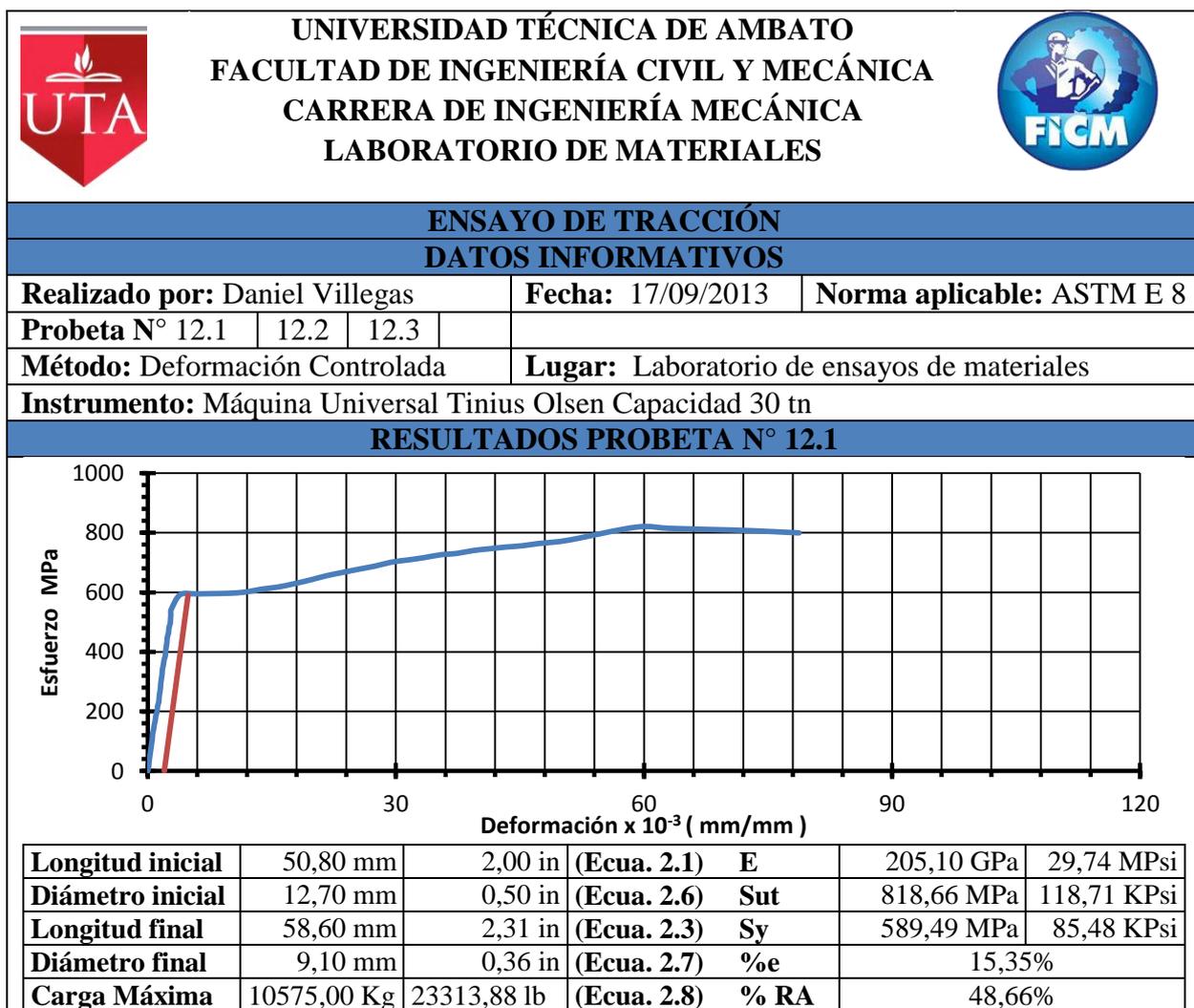
Longitud inicial	50,80 mm	2,00 in	(Ecu. 2.1)	E	205,15 GPa	29,75 MPsi
Diámetro inicial	12,70 mm	0,50 in	(Ecu. 2.6)	Sut	824,14 MPa	119,50 KPsi
Longitud final	59,00 mm	2,32 in	(Ecu. 2.3)	Sy	545,70 MPa	79,13 KPsi
Diámetro final	8,65 mm	0,34 in	(Ecu. 2.7)	%e	16,14%	
Carga Máxima	10645,80 Kg	23469,97 lb	(Ecu. 2.8)	% RA	53,61%	

4.2.4.13 Segundo revenido consecutivo a 200°C durante 2 horas

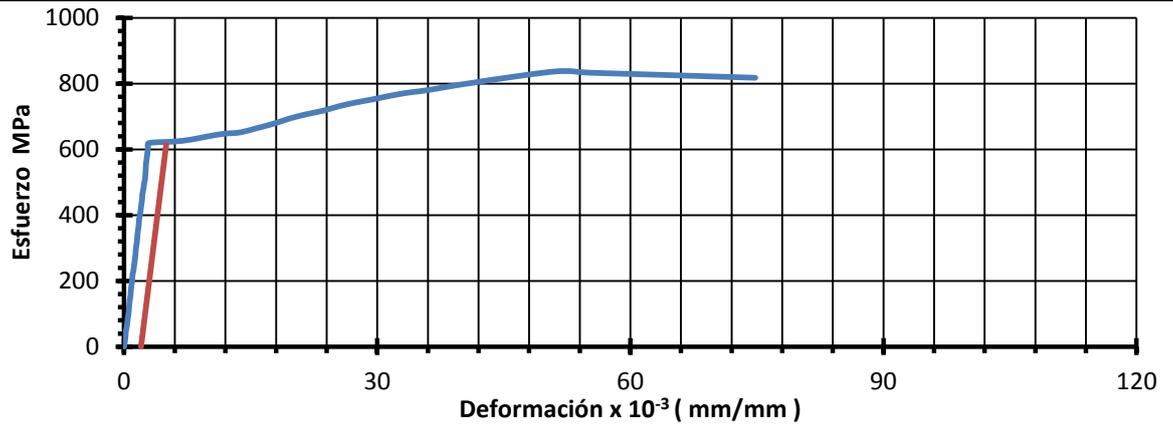




4.2.4.14 Tercer revenido consecutivo a 200°C durante 2 horas

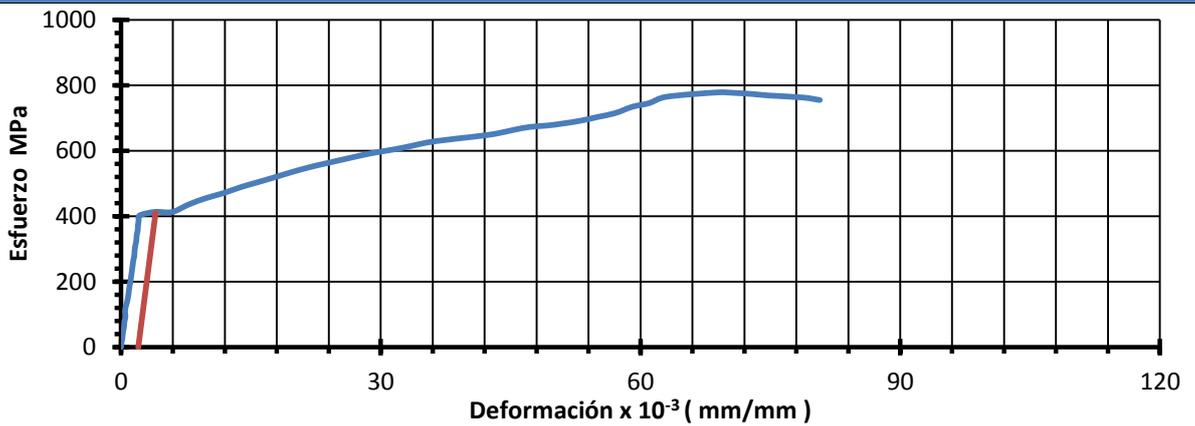


RESULTADOS PROBETA N° 12.2



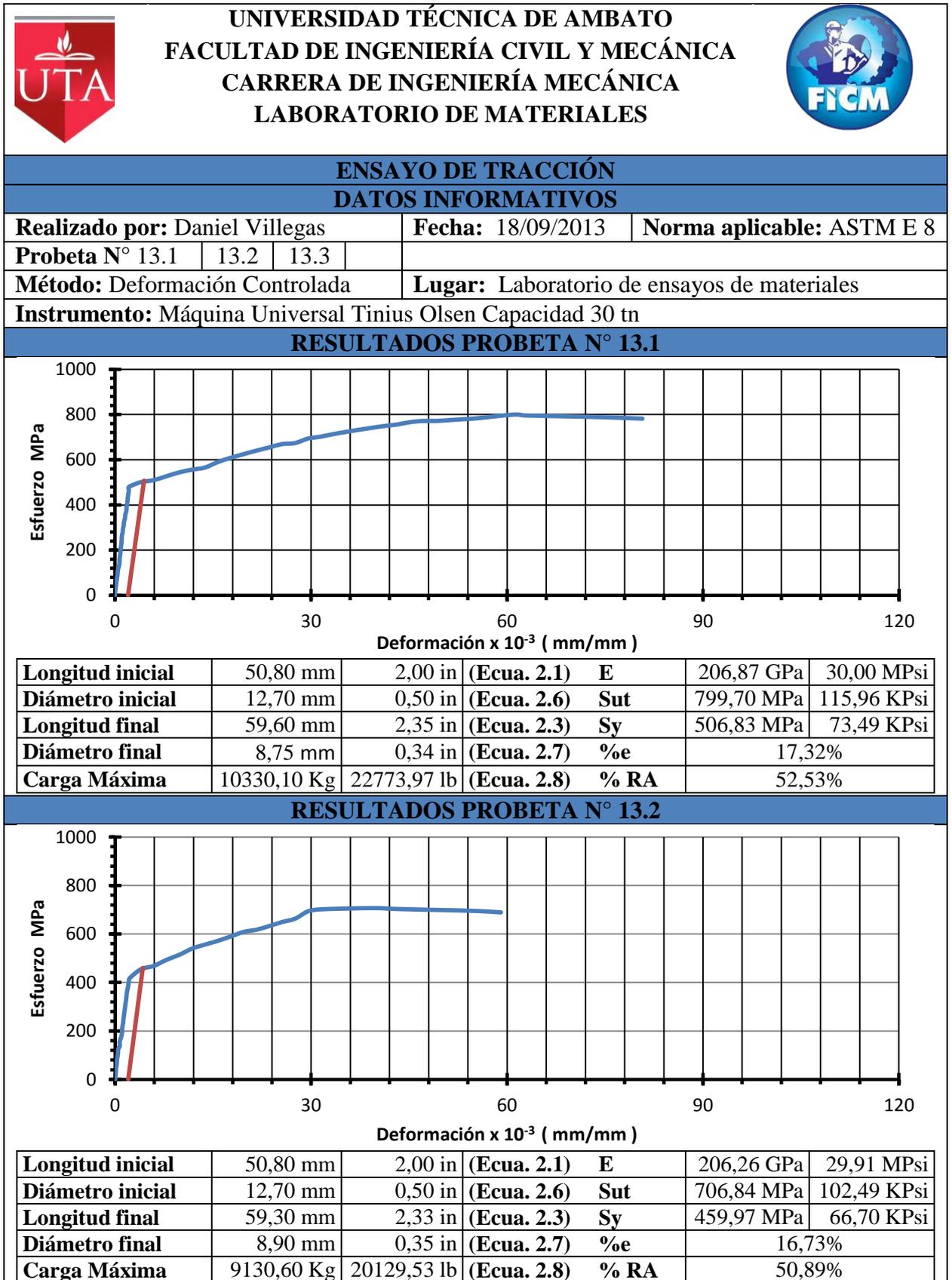
Longitud inicial	50,80 mm	2,00 in	(Ecu. 2.1)	E	205,79 GPa	29,84 MPsi
Diámetro inicial	12,70 mm	0,50 in	(Ecu. 2.6)	Sut	837,16 MPa	121,39 KPsi
Longitud final	59,80 mm	2,35 in	(Ecu. 2.3)	Sy	613,25 MPa	88,92 KPsi
Diámetro final	8,78 mm	0,35 in	(Ecu. 2.7)	%e	17,72%	
Carga Máxima	10814,00 Kg	23840,79 lb	(Ecu. 2.8)	% RA	52,21%	

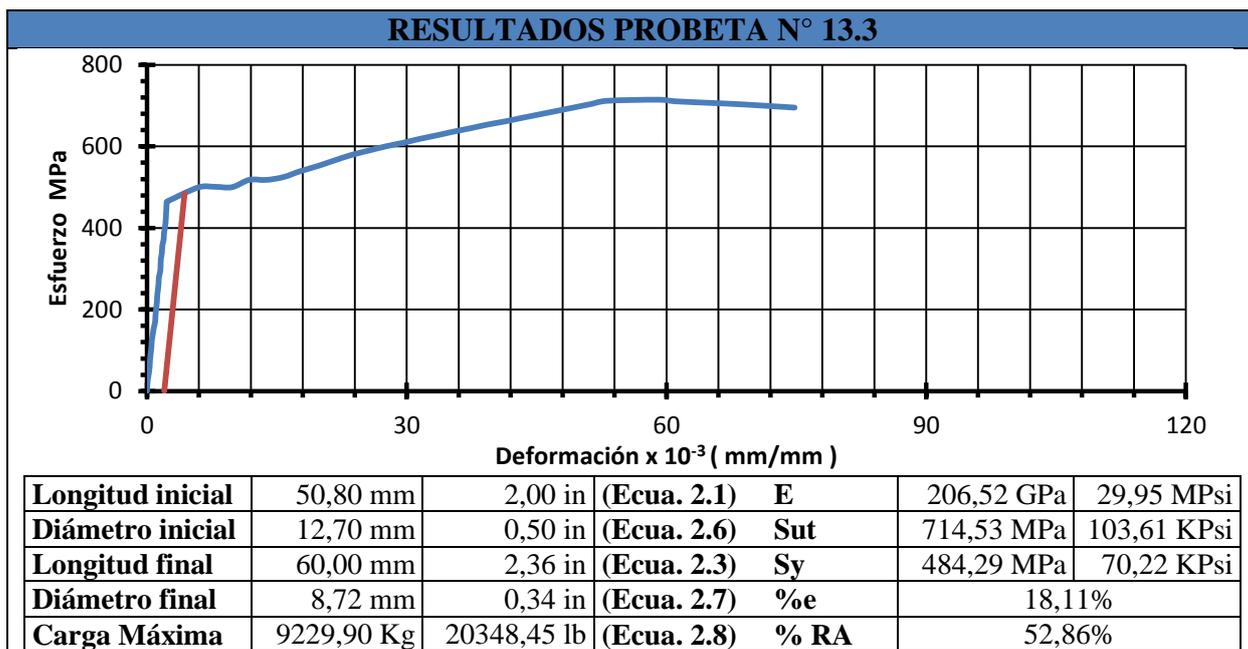
RESULTADOS PROBETA N° 12.3



Longitud inicial	50,80 mm	2,00 in	(Ecu. 2.1)	E	205,33 GPa	29,77 MPsi
Diámetro inicial	12,70 mm	0,50 in	(Ecu. 2.6)	Sut	778,25 MPa	112,85 KPsi
Longitud final	60,30 mm	2,37 in	(Ecu. 2.3)	Sy	410,66 MPa	59,55 KPsi
Diámetro final	8,59 mm	0,34 in	(Ecu. 2.7)	%e	18,70%	
Carga Máxima	10053 Kg	22163,07 lb	(Ecu. 2.8)	% RA	54,25%	

4.2.4.15 Caso 5: Primer revenido consecutivo a 426°C durante 1 hora

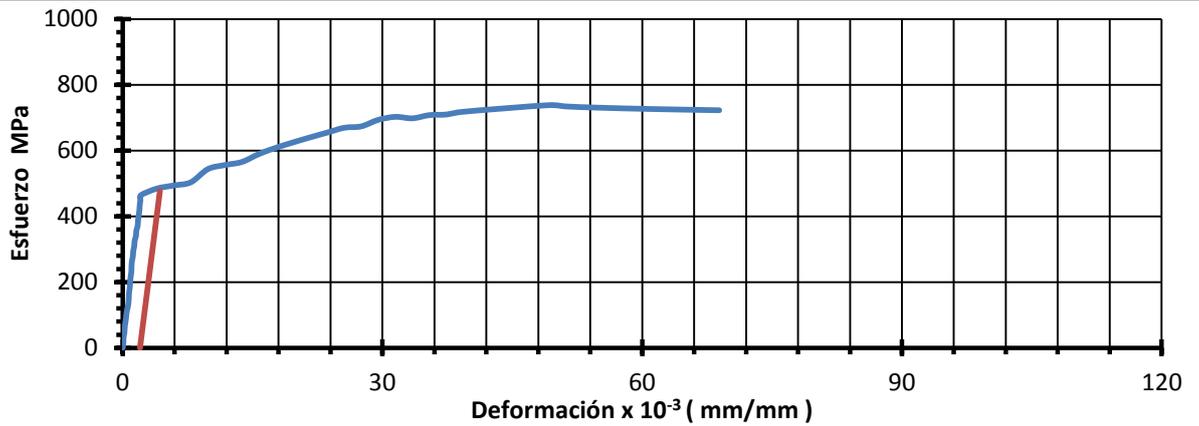




4.2.4.16 Segundo revenido consecutivo a 426°C durante 1 hora

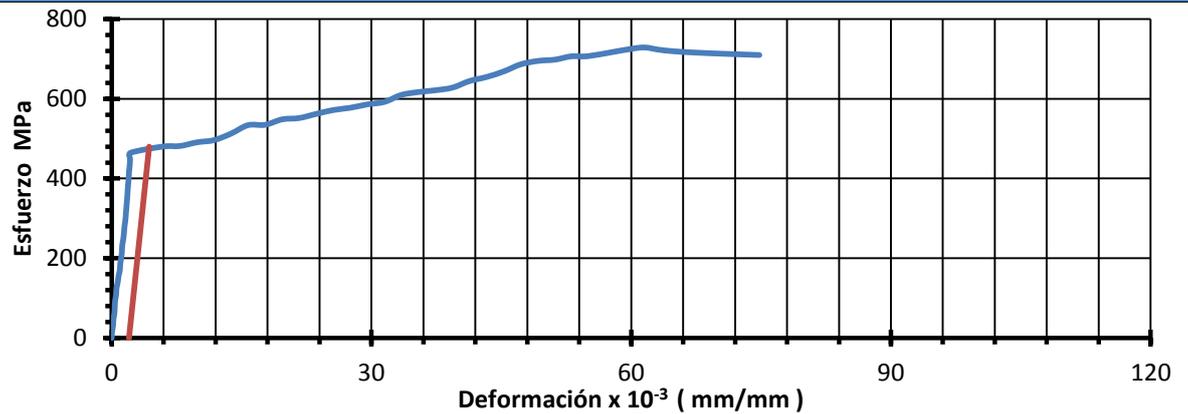


RESULTADOS PROBETA N° 14.2



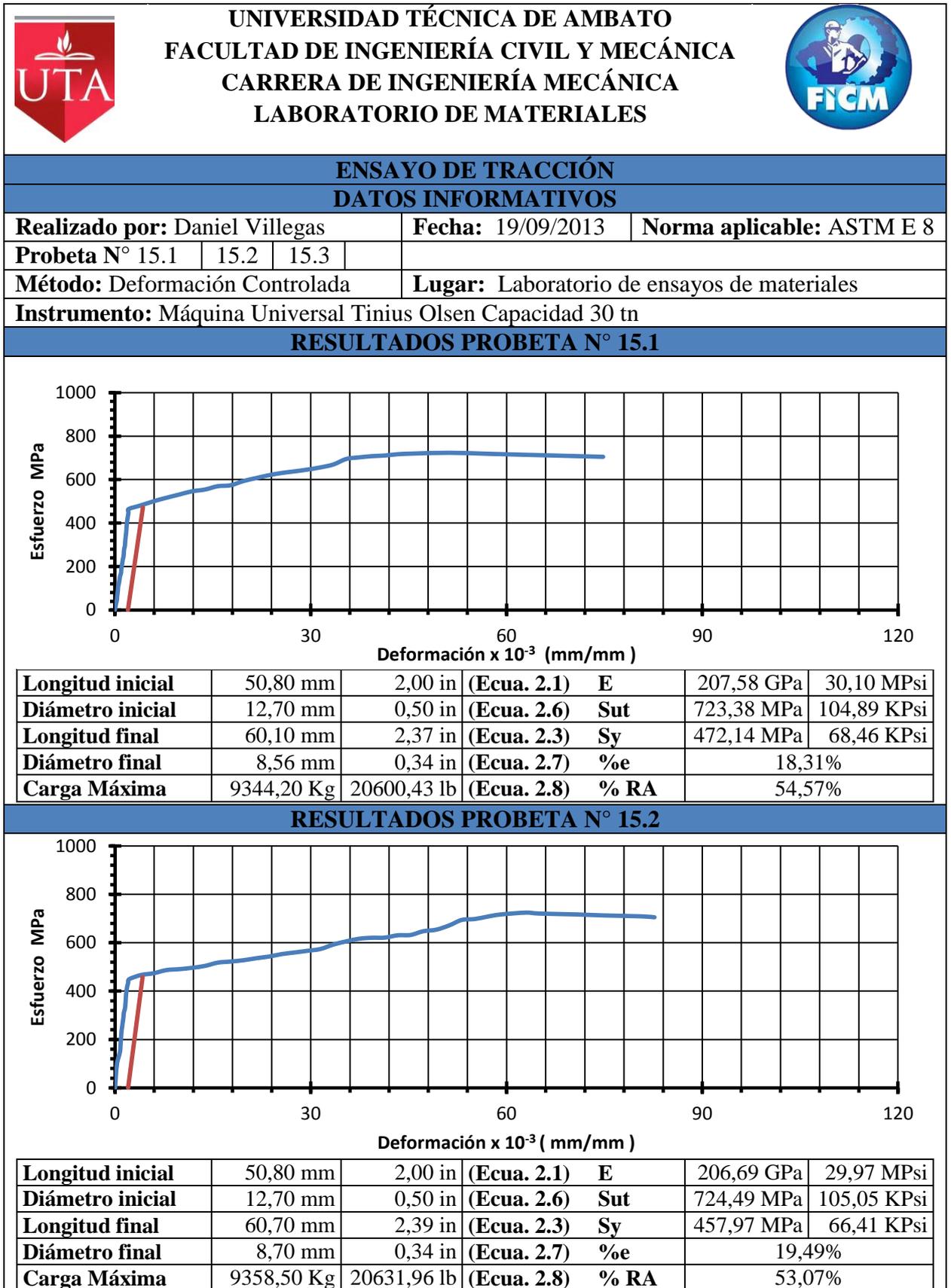
Longitud inicial	50,80 mm	2,00 in	(Ecu. 2.1)	E	207,32 GPa	30,06 MPsi
Diámetro inicial	12,70 mm	0,50 in	(Ecu. 2.6)	Sut	738,12 MPa	107,03 KPsi
Longitud final	60,20 mm	2,37 in	(Ecu. 2.3)	Sy	476,83 MPa	69,14 KPsi
Diámetro final	8,90 mm	0,35 in	(Ecu. 2.7)	%e	18,50%	
Carga Máxima	9534,60 Kg	21020,19 lb	(Ecu. 2.8)	% RA	50,89%	

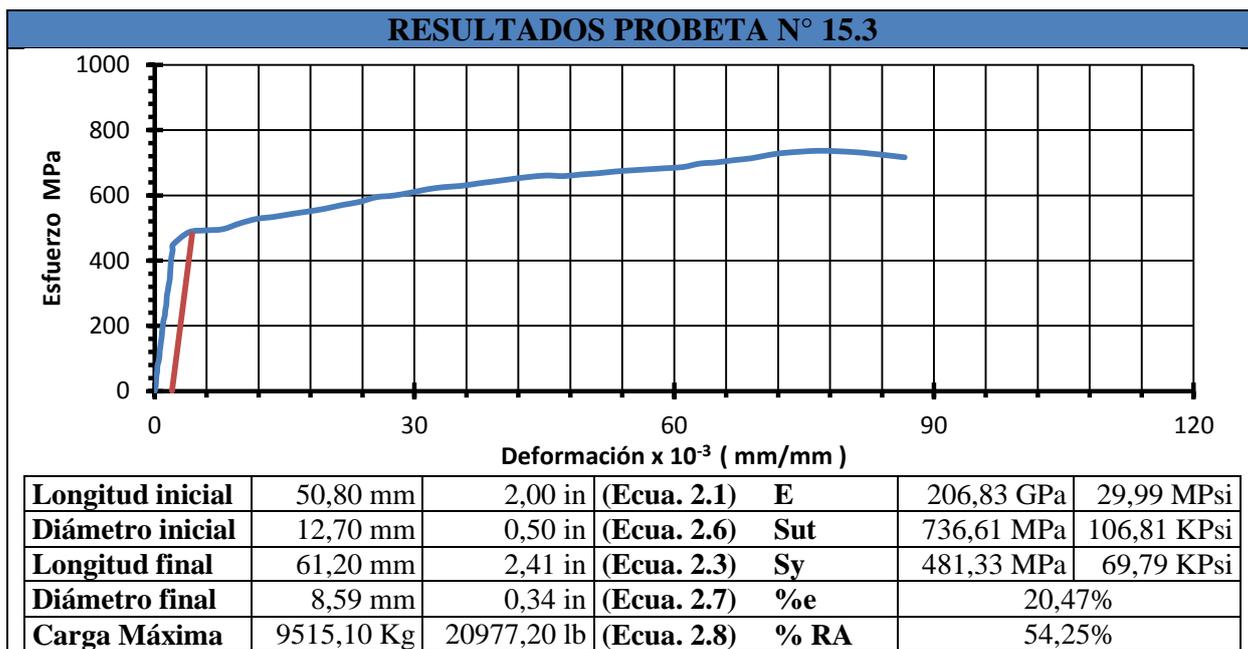
RESULTADOS PROBETA N° 14.3



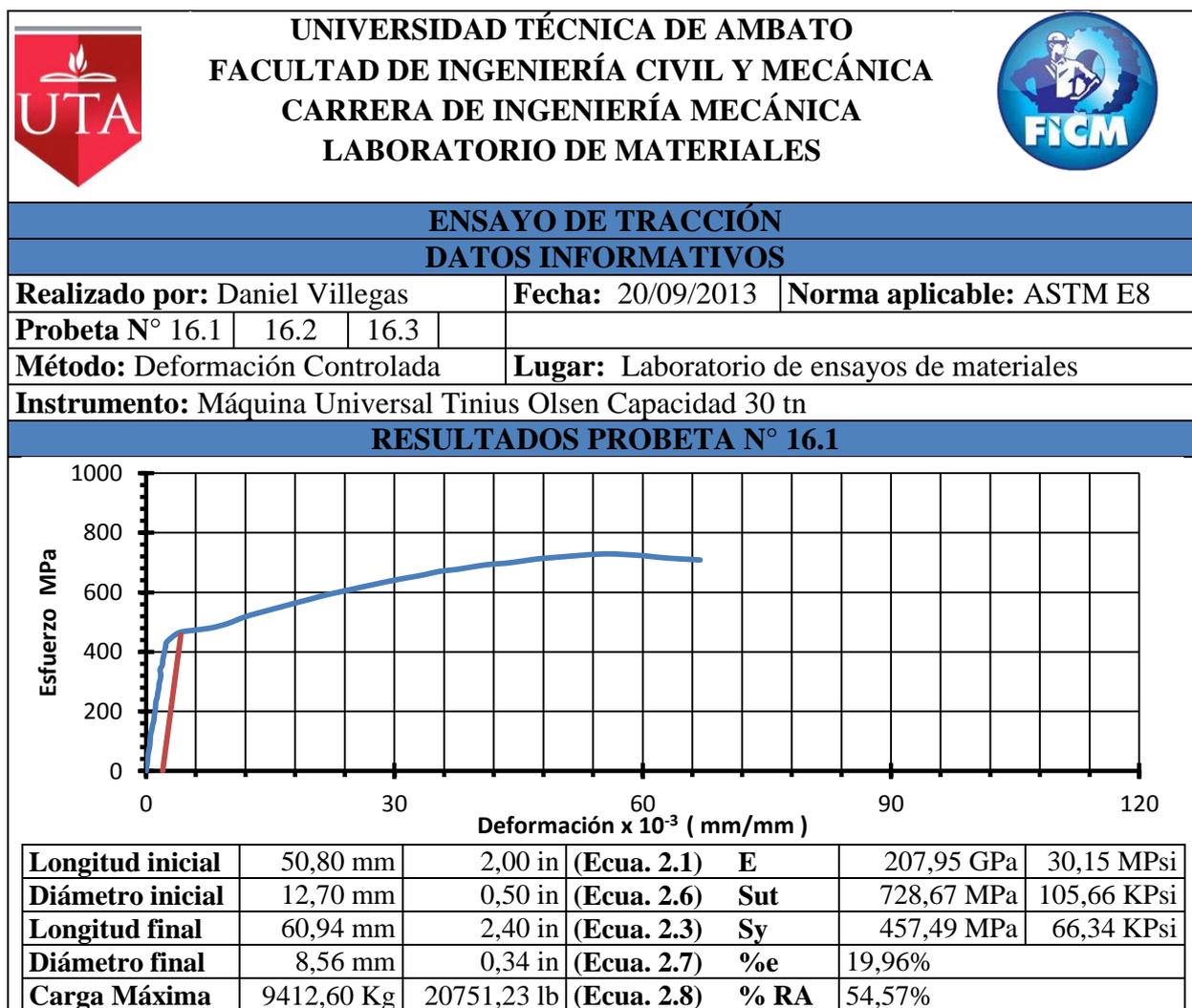
Longitud inicial	50,80 mm	2,00 in	(Ecu. 2.1)	E	205,91 GPa	29,86 MPsi
Diámetro inicial	12,70 mm	0,50 in	(Ecu. 2.6)	Sut	728,25 MPa	105,60 KPsi
Longitud final	61,00 mm	2,40 in	(Ecu. 2.3)	Sy	479,76 MPa	69,57 KPsi
Diámetro final	8,70 mm	0,34 in	(Ecu. 2.7)	%e	20,08%	
Carga Máxima	9407,10 mm	20739,11 lb	(Ecu. 2.8)	% RA	53,07%	

4.2.4.17 Tercer revenido consecutivo a 426°C durante 1 hora

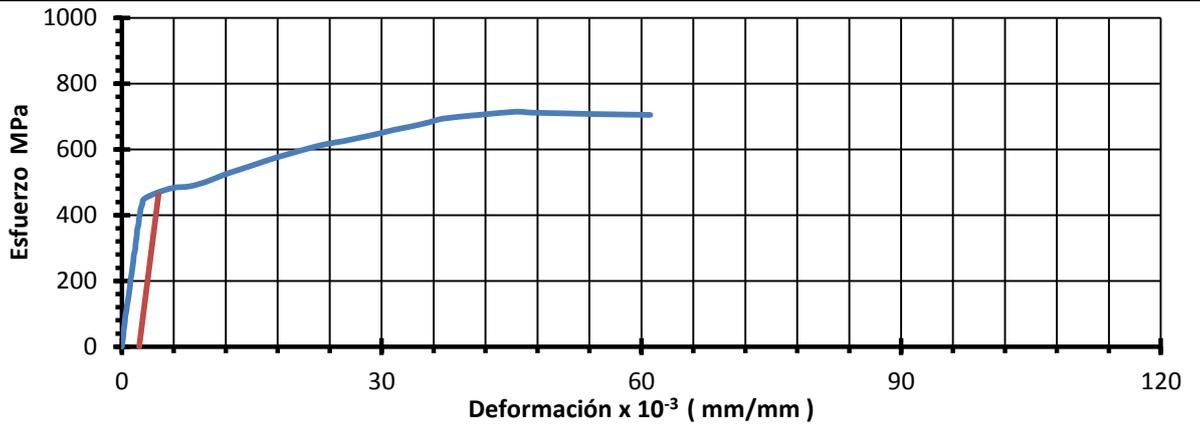




4.2.4.18 Caso 6: Primer revenido consecutivo a 426°C durante 2 horas

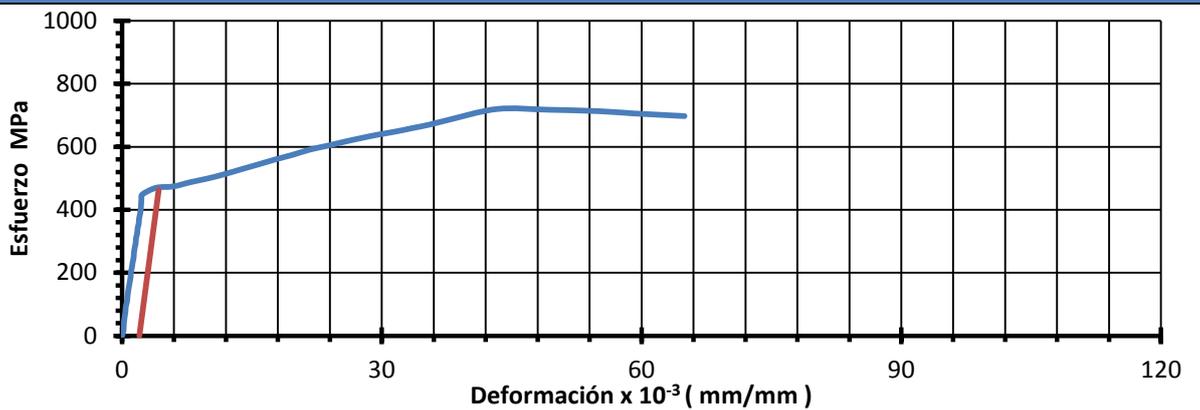


RESULTADOS PROBETA N° 16.2



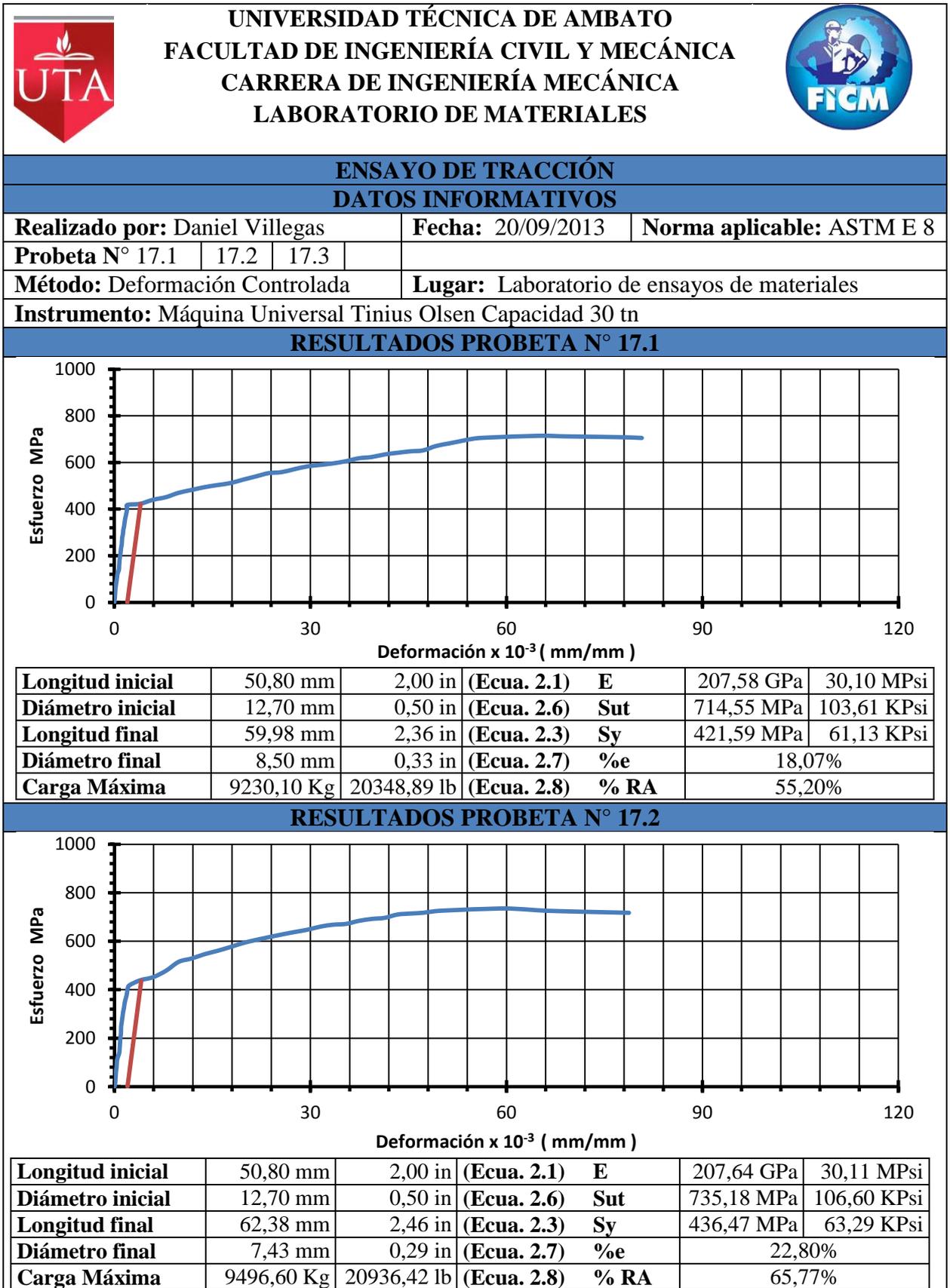
Longitud inicial	50,80 mm	2,00 in	(Ecu. 2.1)	E	207,18 GPa	30,04 MPsi
Diámetro inicial	12,70 mm	0,50 in	(Ecu. 2.6)	Sut	714,17 MPa	103,56 KPsi
Longitud final	60,80 mm	2,39 in	(Ecu. 2.3)	Sy	461,39 MPa	66,90 KPsi
Diámetro final	8,70 mm	0,34 in	(Ecu. 2.7)	%e	19,69%	
Carga Máxima	9225,30 Kg	20338,31 lb	(Ecu. 2.8)	% RA	53,07%	

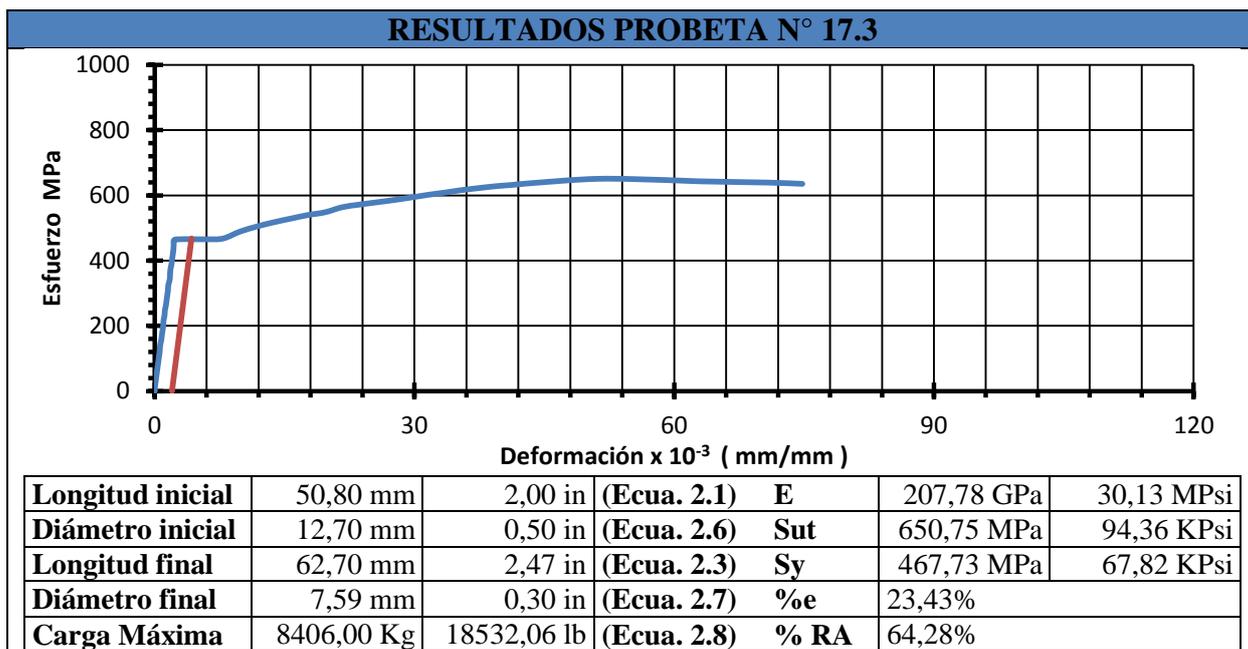
RESULTADOS PROBETA N° 16.3



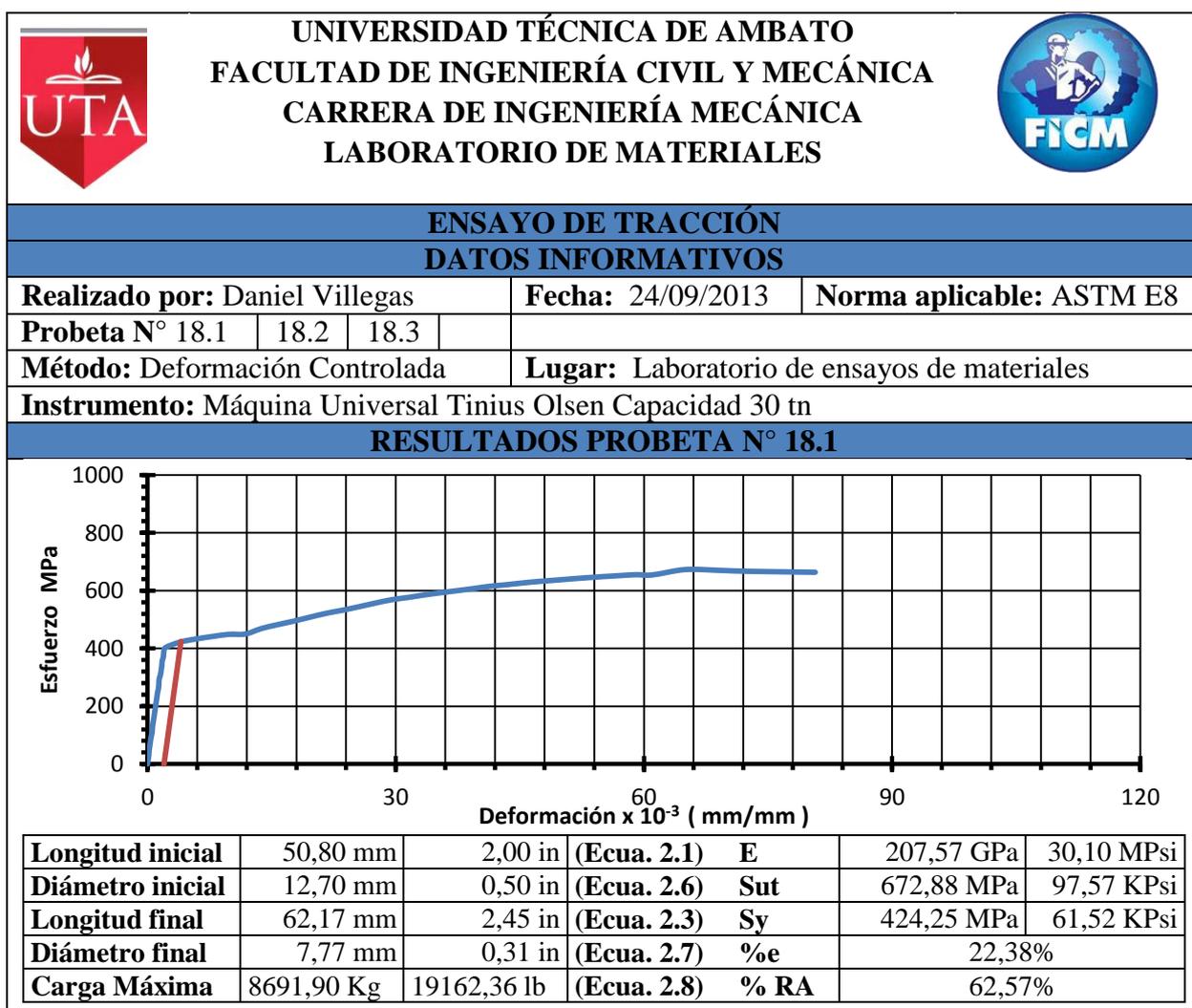
Longitud inicial	50,80 mm	2,00 in	(Ecu. 2.1)	E	207,37 GPa	30,07 MPsi
Diámetro inicial	12,70 mm	0,50 in	(Ecu. 2.6)	Sut	719,83 MPa	104,38 KPsi
Longitud final	62,00 mm	2,44 in	(Ecu. 2.3)	Sy	462,44 MPa	67,05 KPsi
Diámetro final	8,50 mm	0,33 in	(Ecu. 2.7)	%e	22,05%	
Carga Máxima	9298,40 Kg	20499,46 lb	(Ecu. 2.8)	% RA	55,20%	

4.2.4.19 Segundo revenido consecutivo a 426°C durante 2 horas

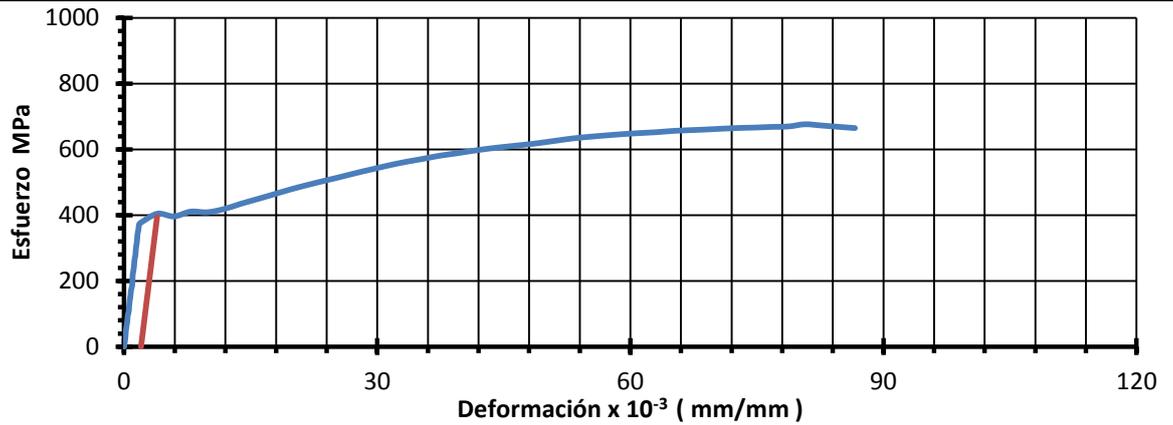




4.2.4.20 Tercer revenido consecutivo a 426°C durante 2 horas

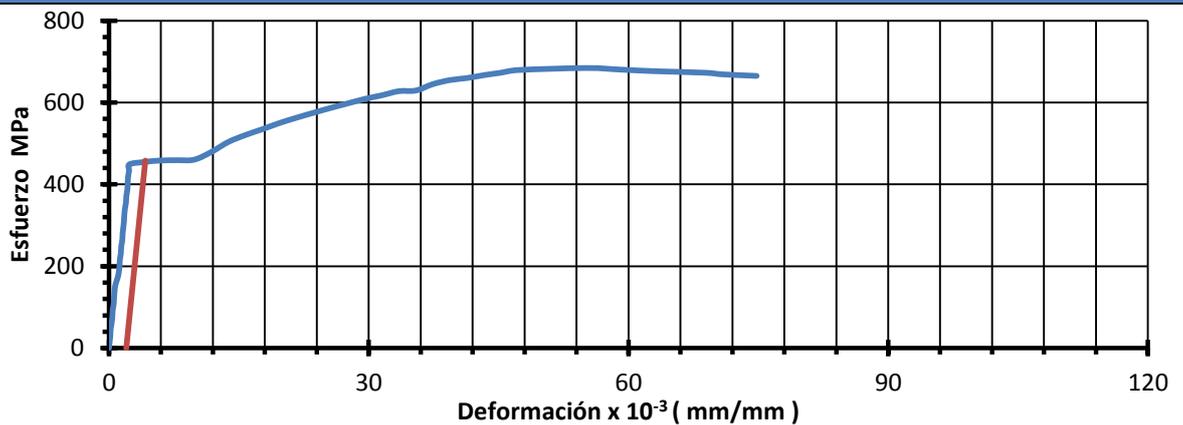


RESULTADOS PROBETA N° 18.2



Longitud inicial	50,80 mm	2,00 in	(Ecu. 2.1)	E	207,71 GPa	30,12 MPsi
Diámetro inicial	12,70 mm	0,50 in	(Ecu. 2.6)	Sut	676,43 MPa	98,08 KPsi
Longitud final	61,12 mm	2,41 in	(Ecu. 2.3)	Sy	393,89 MPa	57,11 KPsi
Diámetro final	7,68 mm	0,30 in	(Ecu. 2.7)	%e	20,31%	
Carga Máxima	8737,80 Kg	19263,55 lb	(Ecu. 2.8)	% RA	63,43%	

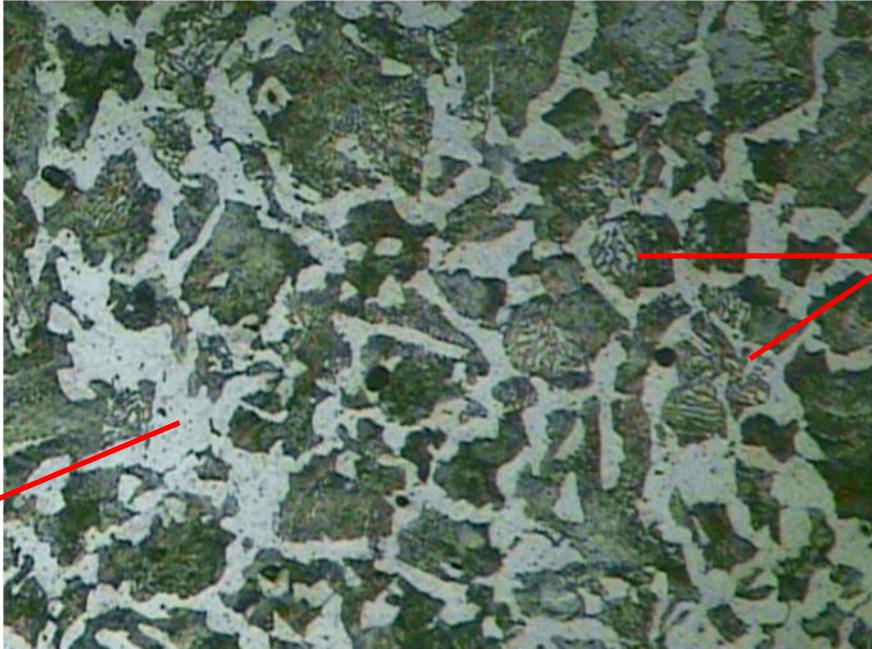
RESULTADOS PROBETA N° 18.3



Longitud inicial	50,80 mm	2,00 in	(Ecu. 2.1)	E	208,26 GPa	30,20 MPsi
Diámetro inicial	12,70 mm	0,50 in	(Ecu. 2.6)	Sut	684,49 MPa	99,25 KPsi
Longitud final	64,77 mm	2,55 in	(Ecu. 2.3)	Sy	458,17 MPa	66,43 KPsi
Diámetro final	7,67 mm	0,30 in	(Ecu. 2.7)	%e	27,50%	
Carga Máxima	8842 Kg	19493,05 lb	(Ecu. 2.8)	% RA	63,53%	

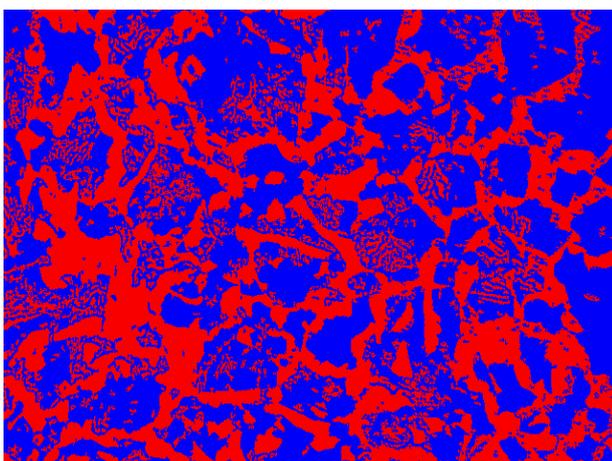
4.2.5 Análisis del ensayo metalográfico

4.2.5.1 Muestra acero AISI 1045 de fábrica

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES	
DATOS INFORMATIVOS		
Realizado por: Daniel Villegas	Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín	
Fecha: 07/10/2013	Tipo de estudio: De laboratorio	
Probeta: 1M	Lugar: Laboratorio de materiales	
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO		
Acondicionamiento de superficie	Pulido mecánico	Superficie Preparada en: 2 h
Temperatura durante el pulido	18°C	
Ataque químico de la superficie	Nital 2 , durante 3 s	
RESULTADO		
		
Microestructura acero AISI 1045 comercial, 200 X, 3 seg, Nital 2		



EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCURA



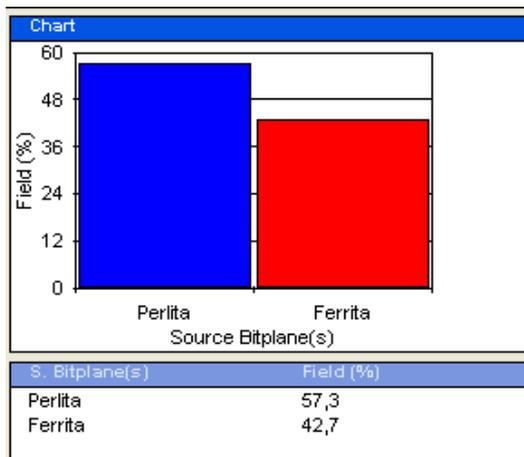
TAMAÑO DE GRANO :

Norma ASTM E112-96



Microestructura acero AISI 1045 comercial,
200X, 3 seg, Nital 2.

**COMPONENTES
MICROESTRUCURALES**



CÁLCULOS

$$\%C = \frac{\%Perlita}{130}$$

$$\%C = \frac{57,3\%}{130}$$

$$\%C = 0,441\%$$

$$R.T.A = \frac{28*(\% ferrita)+84*(\% perlita)}{100}$$

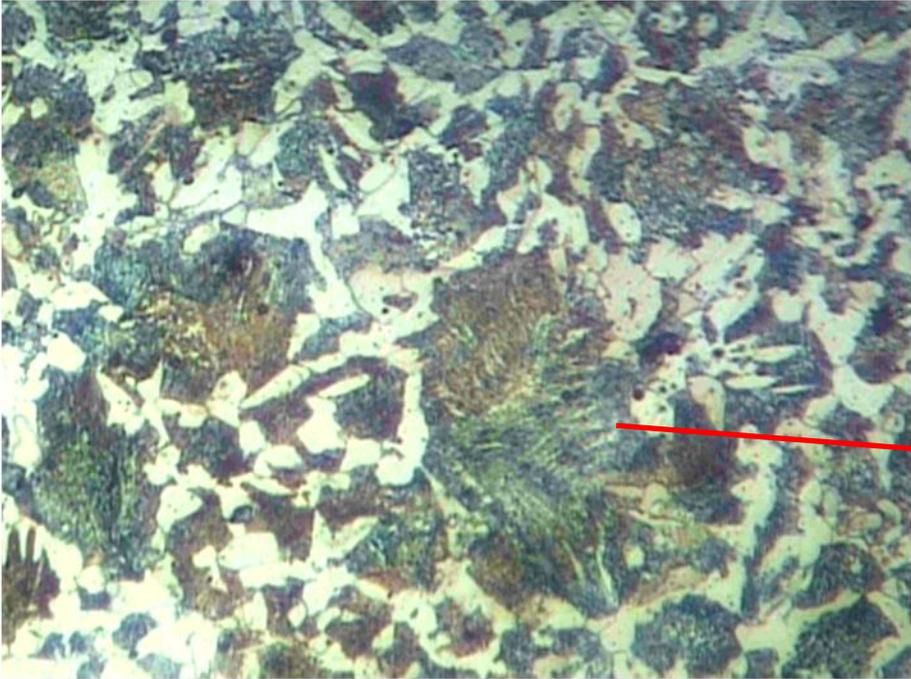
$$R.T.A = \frac{28*(42,7)+84*(57,3)}{100}$$

$$R.T.A = 60,09 \text{ Kgf/mm}^2$$

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

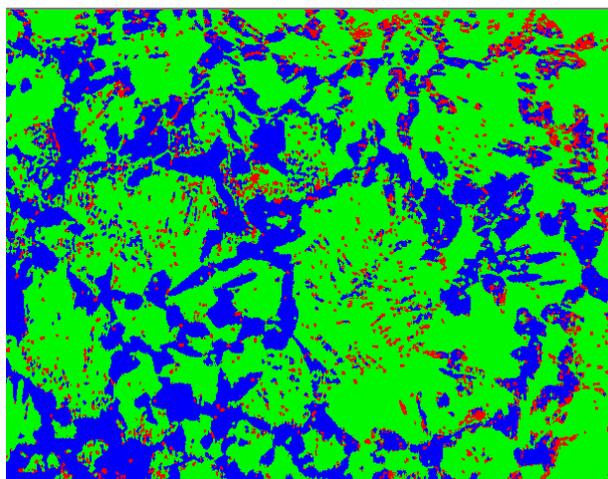
La microestructura del acero AISI 1045 analizada como viene de fábrica, tiene un tamaño de grano ASTM G = 5,27 constituida por 57,3 % de perlita y 42,7 % de ferrita, una resistencia a tracción teórica de 60,09 Kgf/mm² y un porcentaje de carbono de 0.441 % C.

4.2.5.2 Muestra acero AISI 1045 de templado en aceite de oliva

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES		
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por: Daniel Villegas	Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín		
Fecha: 07/10/2013	Tipo de estudio: De laboratorio		
Probeta: 0.1M	Lugar: Laboratorio de materiales		
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO			
Acondicionamiento de superficie	Pulido mecánico	Superficie Preparada en: 3 h	
Temperatura durante el pulido	18°C		
Ataque químico de la superficie	Prical , durante 3 segundos		
RESULTADO			
			
Microestructura acero AISI 1045 templado, 200 X, 3seg, Prical.			

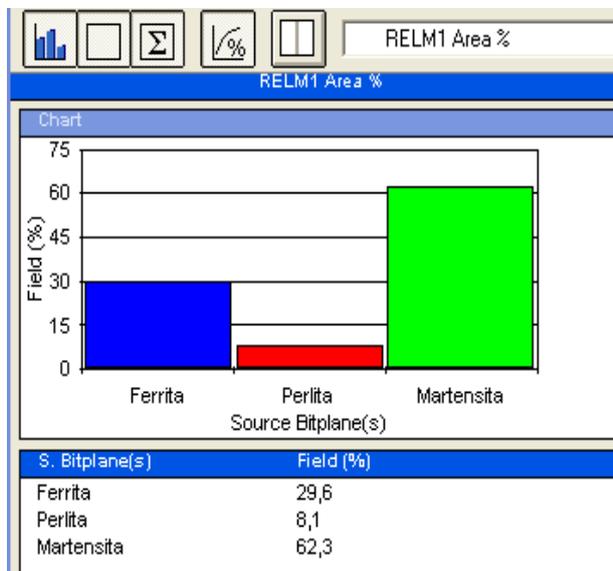


EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCURA



Microestructura acero AISI 1045 templado, 200X, 3seg, Prical.

COMPONENTES MICROESTRUCURALES



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La microestructura está constituida por 29,6% de ferrita y 8,1% de perlita y 62,3 de martensita

4.2.5.3 Muestra Primer revenido consecutivo a 100°C durante 1 hora

	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES</p>	
---	--	---

DATOS INFORMATIVOS

Realizado por: Daniel Villegas	Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín
Fecha: 08/10/2013	Tipo de estudio: De laboratorio
Probeta: 1.1M	Lugar: Laboratorio de materiales

PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO

Acondicionamiento de superficie	Pulido mecánico	Superficie Preparada en: 3 h
Temperatura durante el pulido	18°C	
Ataque químico de la superficie	Nital 2 , durante 3 segundos	

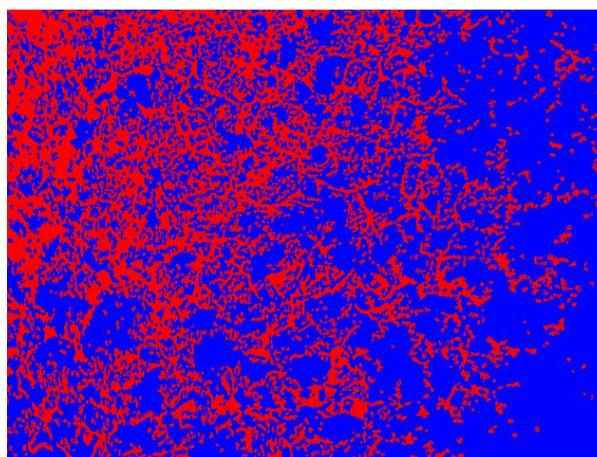
RESULTADO



Microestructura muestra 1.1M, 200 X, 3seg, Nital 2.

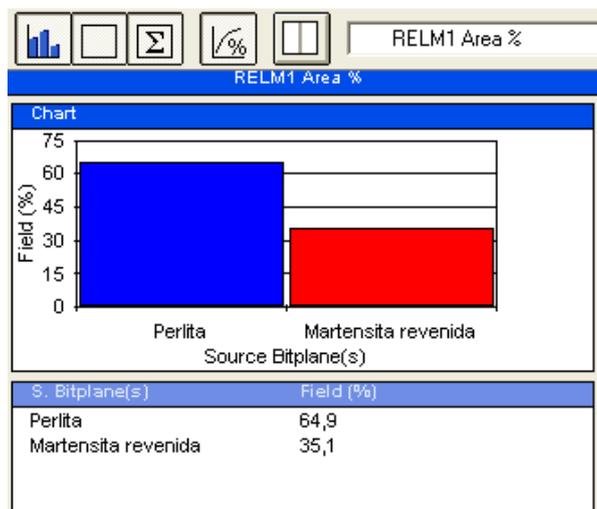


EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCURA

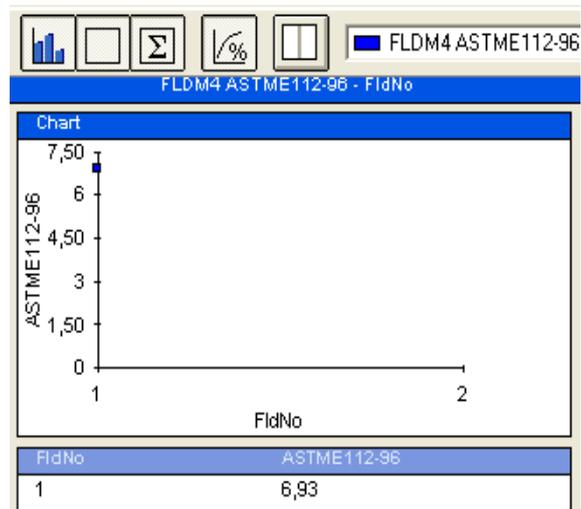


Microestructura muestra 1.1M, 200 X, 3seg, Nital 2.

COMPONENTES MICROESTRUCURALES



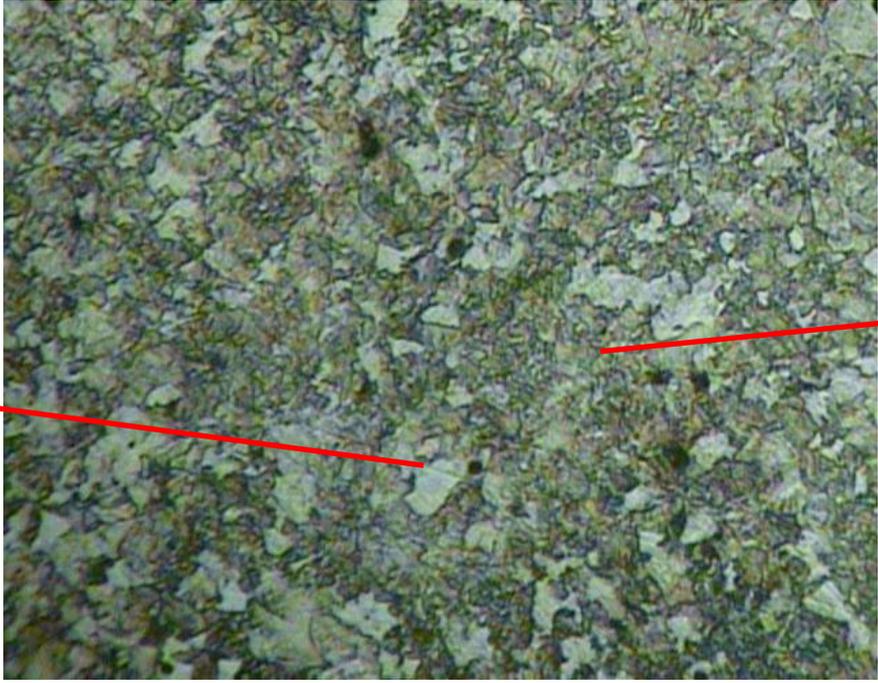
TAMAÑO DE GRANO: Norma ASTM E112-96



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

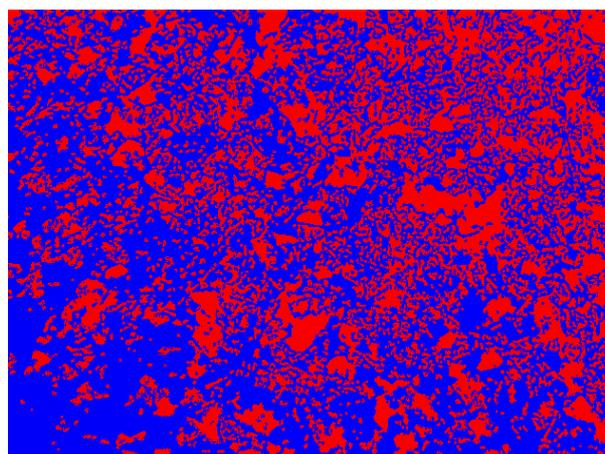
La microestructura del primer revenido consecutivo a 100°C por 1 hora del tiene un tamaño de grano ASTM G = 6,93 constituida por 64,9 % de perlita y 35,1 % de martensita revenida.

4.2.5.4 Muestra segundo revenido consecutivo a 100°C durante 1 hora

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES		
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por: Daniel Villegas	Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín		
Fecha: 08/10/2013	Tipo de estudio: De laboratorio		
Probeta: 2.1M	Lugar: Laboratorio de materiales		
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO			
Acondicionamiento de superficie	Pulido mecánico	Superficie Preparada en: 3 h	
Temperatura durante el pulido	18°C		
Ataque químico de la superficie	Nital 2 , durante 3 segundos		
RESULTADO			
			
Microestructura muestra 2.1M, 200 X, 3seg, Nital 2.			

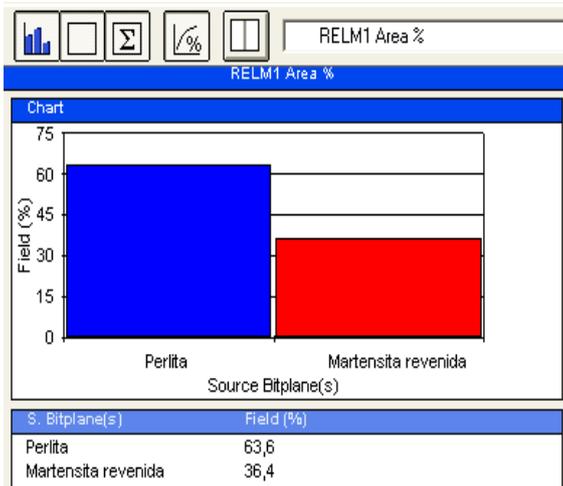


EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCURA

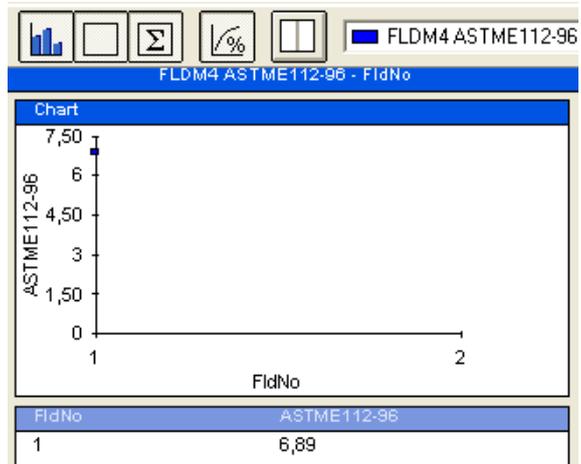


Microestructura muestra 2.1M, 200 X, 3seg, Nital 2.

COMPONENTES MICROESTRUCURALES



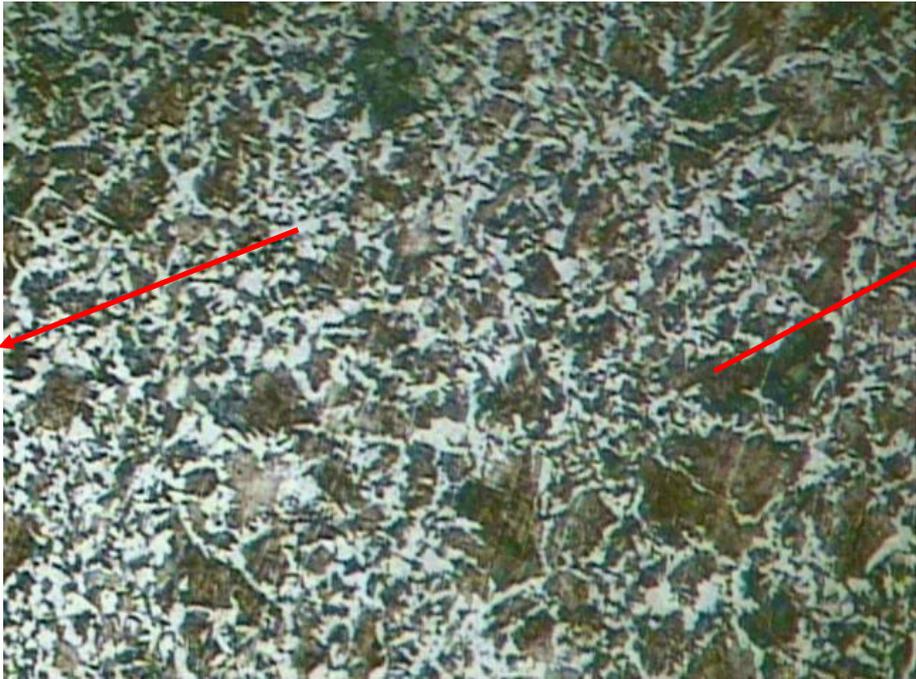
TAMAÑO DE GRANO: Norma ASTM E112-96



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

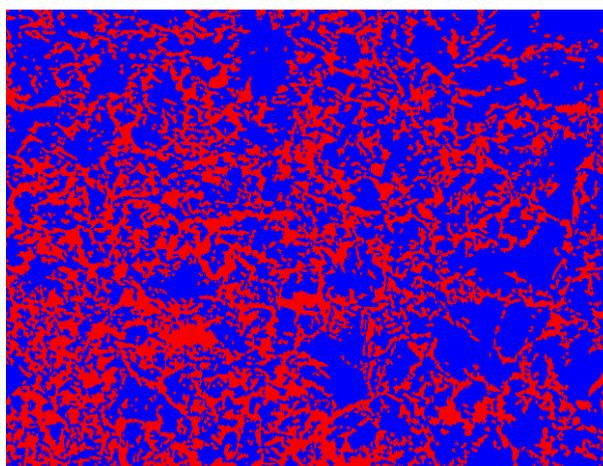
La microestructura del segundo revenido consecutivo a 100°C por 1 hora tiene un tamaño de grano ASTM G = 6,89 constituida por 63,6 % de perlita y 36,4 % de martensita revenida.

4.2.5.5 Muestra tercer revenido consecutivo a 100°C durante 1 hora

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES		
	DATOS INFORMATIVOS		
Realizado por: Daniel Villegas	Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín		
Fecha: 10/10/2013	Tipo de estudio: De laboratorio		
Probeta: 3.1M	Lugar: Laboratorio de materiales		
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO			
Acondicionamiento de superficie	Pulido mecánico	Superficie Preparada en: 3 h	
Temperatura durante el pulido	18°C		
Ataque químico de la superficie	Nital 2, durante 3 segundos		
RESULTADO			
			
Microestructura muestra 3.1M a 200 X, 3 seg, Nital 2.			

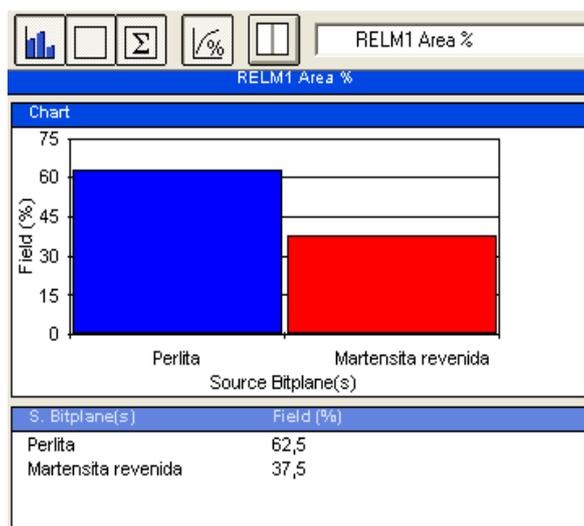


EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCURA

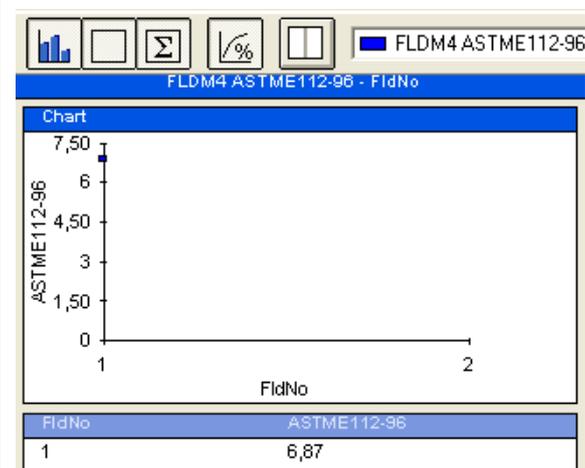


Microestructura muestra 3.1M a 200 X, 3 seg, Nital 2.

COMPONENTES MICROESTRUCURALES



TAMAÑO DE GRANO: Norma ASTM E112-96



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

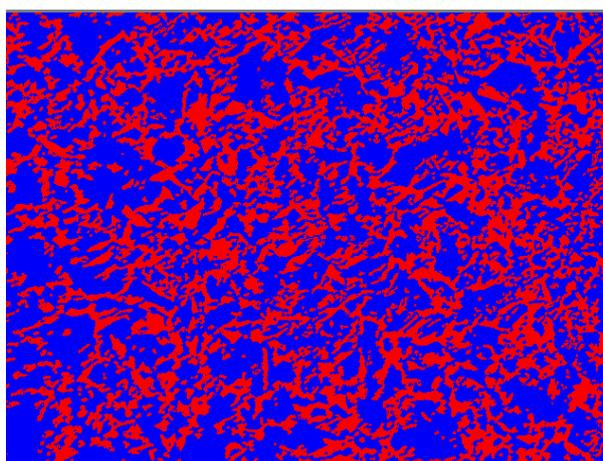
La microestructura del tercer revenido consecutivo a 100°C por 1 hora tiene un tamaño de grano ASTM G = 6,87 constituida por 62,5 % de perlita y 37,5 % de martensita revenida.

4.2.5.6 Muestra Primer revenido consecutivo a 100°C durante 2 horas

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES		
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por: Daniel Villegas	Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín		
Fecha: 10/10/2013	Tipo de estudio: De laboratorio		
Probeta: 4.1M	Lugar: Laboratorio de materiales		
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO			
Acondicionamiento de superficie	Pulido mecánico	Superficie Preparada en: 3 h	
Temperatura durante el pulido	18°C		
Ataque químico de la superficie	Nital 2, durante 3 segundos		
RESULTADO			
			
Martensita Revenida	Perlita		
Microestructura muestra 4.1M, 200 X, 3 seg, Nital 2.			

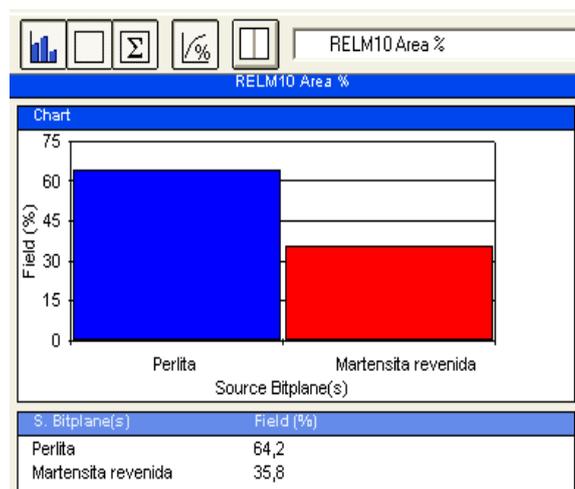


EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCURA

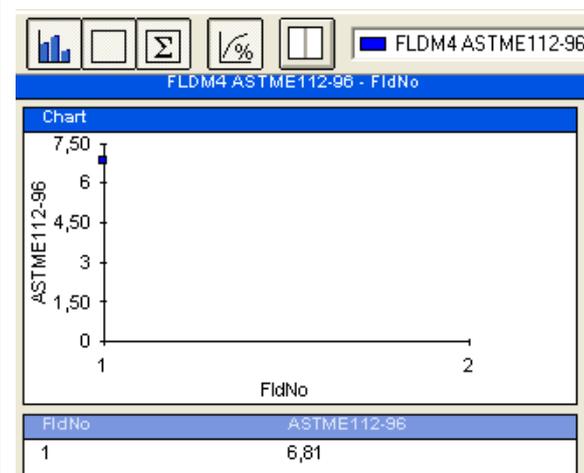


Microestructura muestra 4.1M, 200 X, 3 seg, Nital 2.

COMPONENTES MICROESTRUCURALES



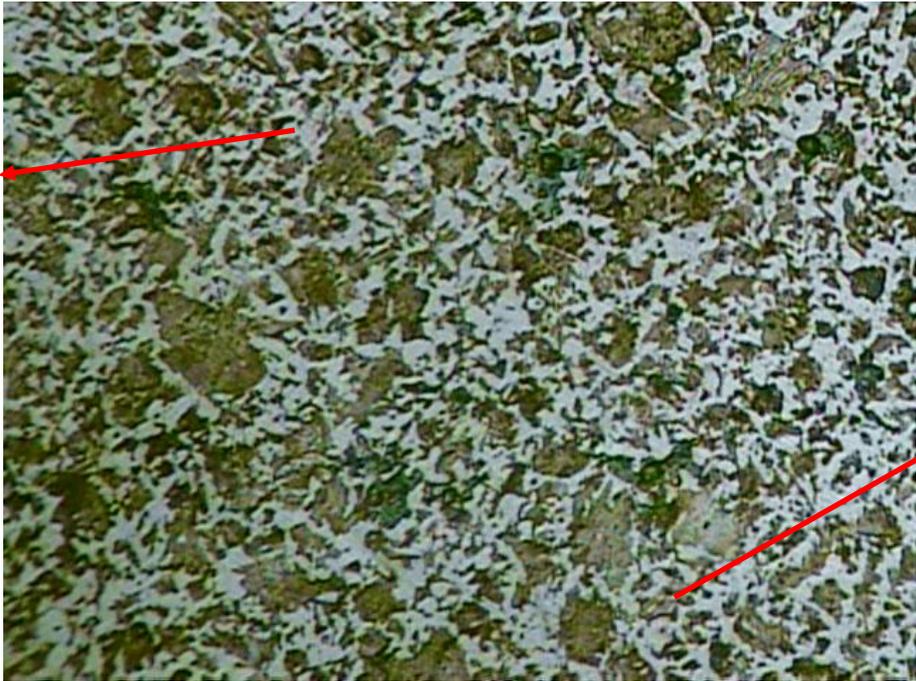
TAMAÑO DE GRANO: Norma ASTM E112-96



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

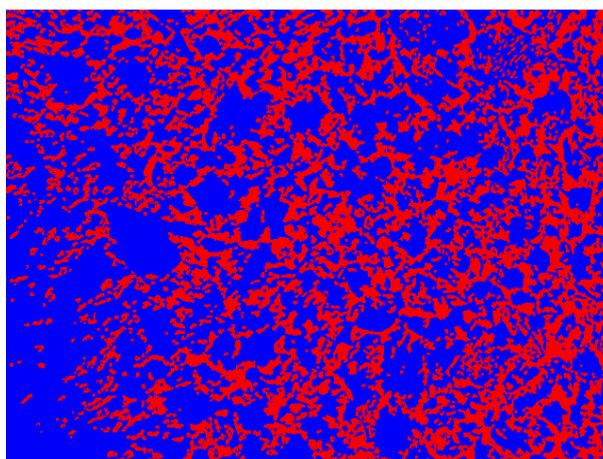
La microestructura del primer revenido consecutivo a 100°C por 2 horas tiene un tamaño de grano ASTM G = 6,81 constituida por 64,2 % de perlita y 35,8 % de martensita revenida.

4.2.5.7 Muestra segundo revenido consecutivo a 100°C durante 2 horas

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES		
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por: Daniel Villegas	Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín		
Fecha: 14/10/2013	Tipo de estudio: De laboratorio		
Probeta: 5.1M	Lugar: Laboratorio de materiales		
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO			
Acondicionamiento de superficie	Pulido mecánico	Superficie Preparada en: 3 h	
Temperatura durante el pulido	18°C		
Ataque químico de la superficie	Nital 2, durante 3 segundos		
RESULTADO			
Martensita Revenida			
Microestructura muestra 5.1M, 200 X, 3 seg, Nital 2.			

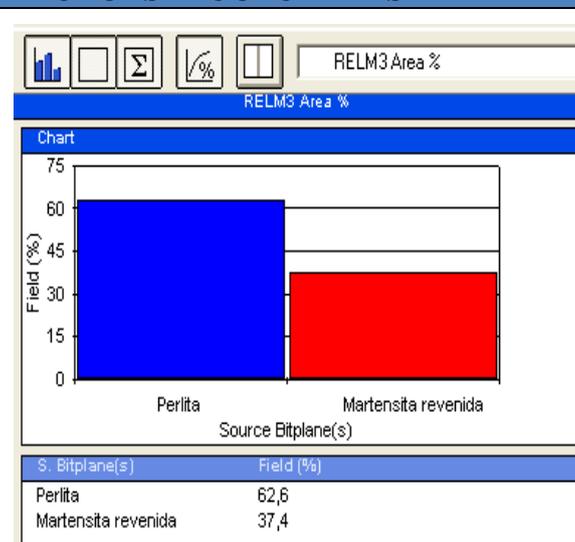


EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCURA

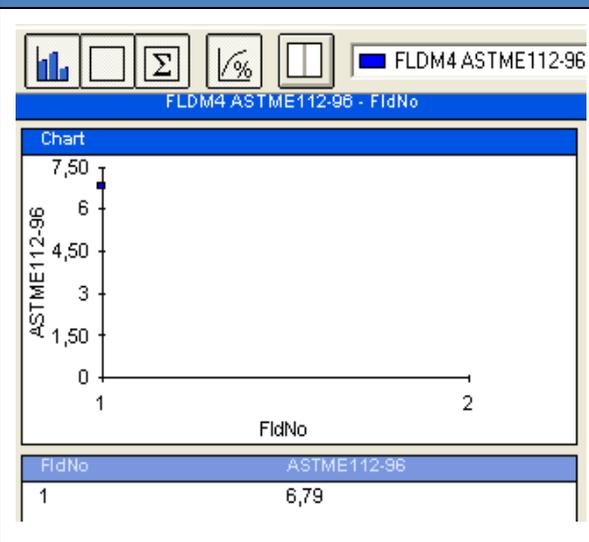


Microestructura muestra 5.1M a 200 X, 3 seg, Nital 2.

COMPONENTES MICROESTRUCURALES



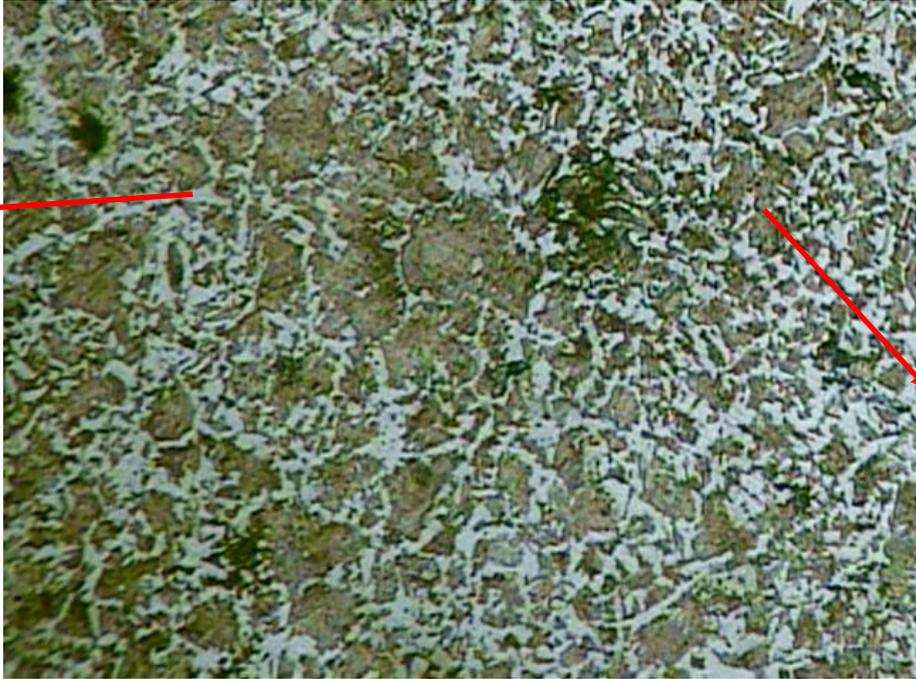
TAMAÑO DE GRANO: Norma ASTM E112-96



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

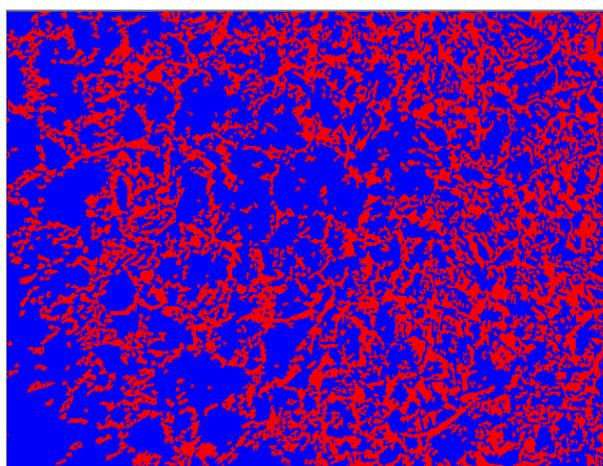
La microestructura del segundo revenido consecutivo a 100°C por 2 horas tiene un tamaño de grano ASTM $G = 6,79$ constituida por 62,6 % de perlita y 37,4 % de martensita revenida.

4.2.5.8 Muestra tercer revenido consecutivo a 100°C durante 2 horas

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES		
	DATOS INFORMATIVOS		
Realizado por: Daniel Villegas	Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín		
Fecha: 14/10/2013	Tipo de estudio: De laboratorio		
Probeta: 6.1M	Lugar: Laboratorio de materiales		
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO			
Acondicionamiento de superficie	Pulido mecánico	Superficie Preparada en: 3 h	
Temperatura durante el pulido	18°C		
Ataque químico de la superficie	Nital 2, durante 3 segundos		
RESULTADO			
			
Microestructura muestra 6.1M a 200 X, 3 seg, Nital 2.			

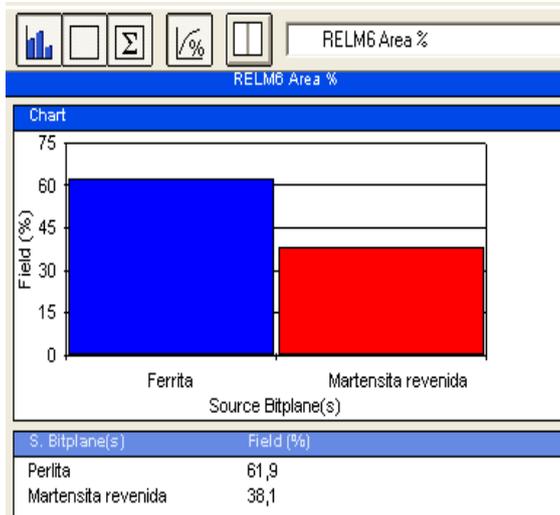


EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCURA

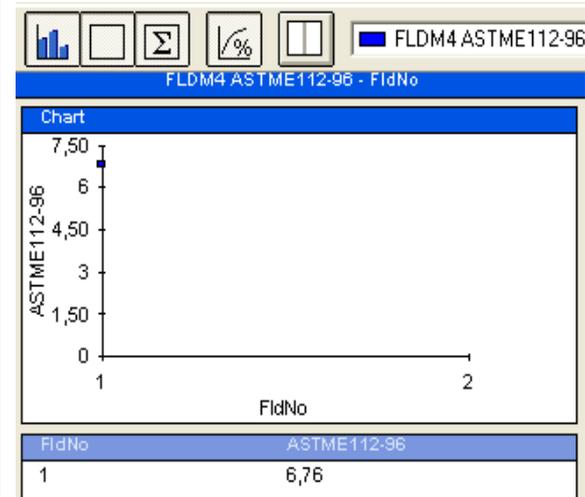


Microestructura muestra 6.1M a 200 X, 3 seg, Nital 2.

COMPONENTES MICROESTRUCURALES



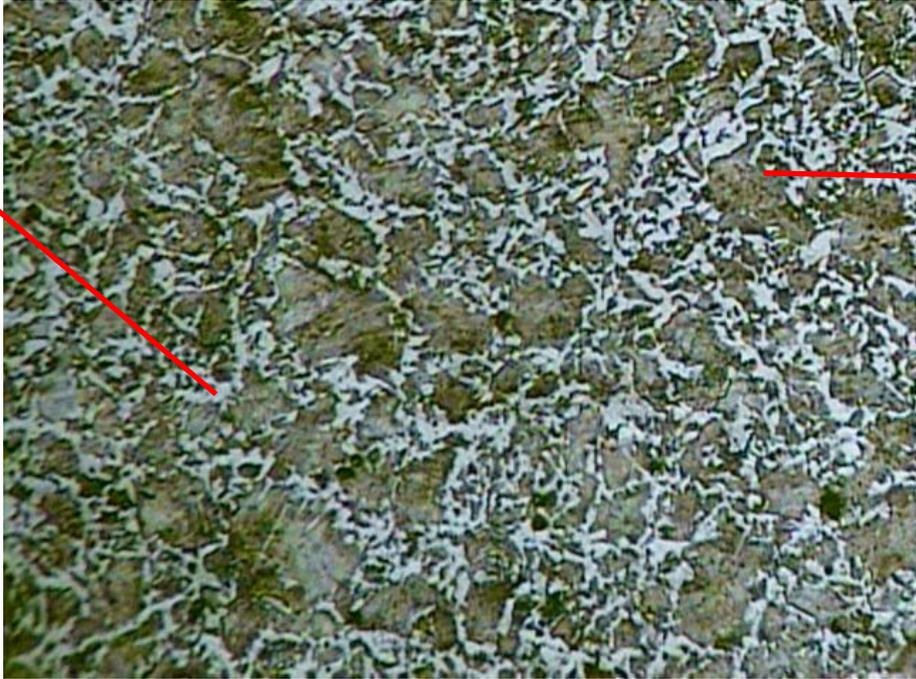
TAMAÑO DE GRANO: Norma ASTM E112-96



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

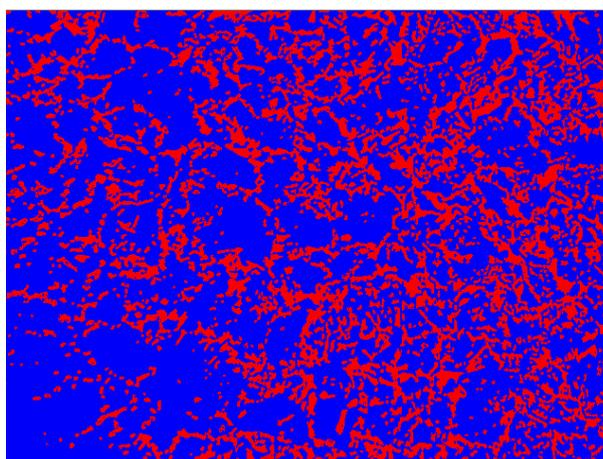
La microestructura del tercer revenido consecutivo a 100°C por 2 horas tiene un tamaño de grano ASTM G = 6,76 constituida por 61,9 % de perlita, 38,1 % de martensita revenida.

4.2.5.9 Muestra Primero Revenido Consecutivo a 200°C durante 1 hora

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES		
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por: Daniel Villegas	Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín		
Fecha: 15/10/2013	Tipo de estudio: De laboratorio		
Probeta: 7.1M	Lugar: Laboratorio de materiales		
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO			
Acondicionamiento de superficie	Pulido mecánico	Superficie Preparada en: 3 h	
Temperatura durante el pulido	18°C		
Ataque químico de la superficie	Nital 2, durante 3 segundos		
RESULTADO			
			
Microestructura muestra 7.1M a 200 X, 3 seg, Nital 2.			

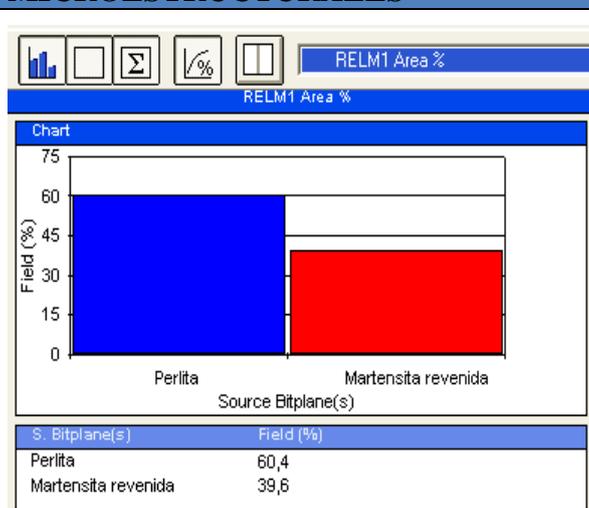


EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCURA

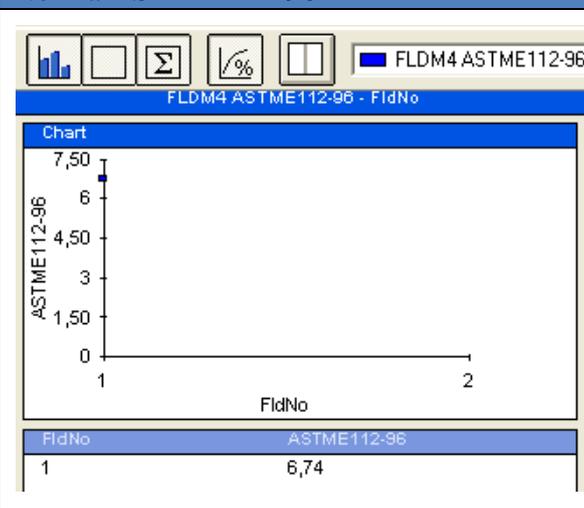


Microestructura muestra 7.1M a 200 X, 3 seg, Nital 2.

COMPONENTES MICROESTRUCURALES



TAMAÑO DE GRANO: Norma ASTM E112-96



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

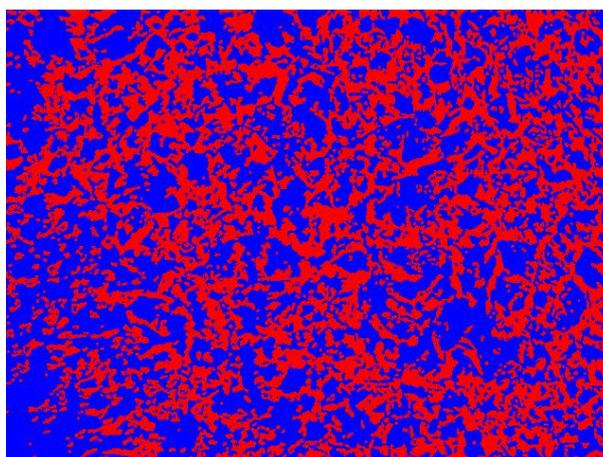
La microestructura del primer revenido consecutivo a 200°C por 1 hora tiene un tamaño de grano ASTM G = 6,74 constituida por 60,4 % de perlita, 39,6 % de martensita revenida.

4.2.5.10 Muestra segundo revenido consecutivo a 200°C durante 1 hora

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES		
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por: Daniel Villegas	Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín		
Fecha: 15/10/2013	Tipo de estudio: De laboratorio		
Probeta: 8.1M	Lugar: Laboratorio de materiales		
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO			
Acondicionamiento de superficie	Pulido mecánico	Superficie Preparada en: 3 h	
Temperatura durante el pulido	18°C		
Ataque químico de la superficie	Nital 2, durante 3 segundos		
RESULTADO			
			
	Microestructura muestra 8.1M a 200 X, 3 seg, Nital 2.		

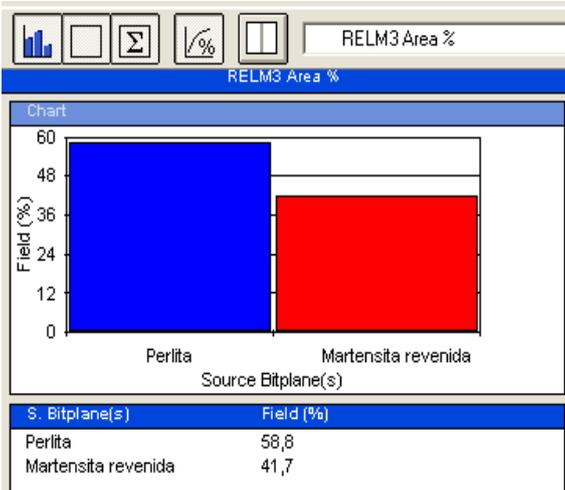


EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCURA

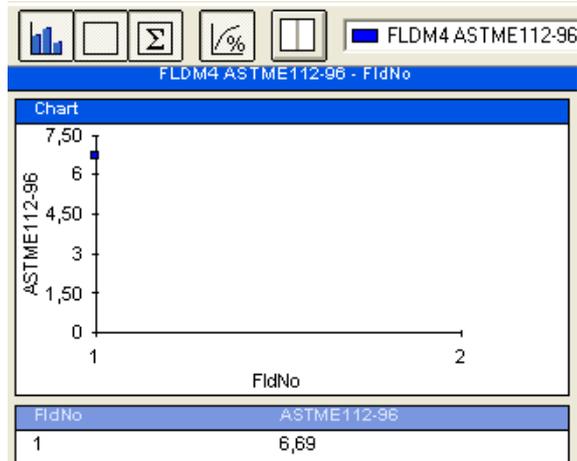


Microestructura muestra 8.1M a 200 X, 3 seg, Nital 2.

COMPONENTES MICROESTRUCTURALES



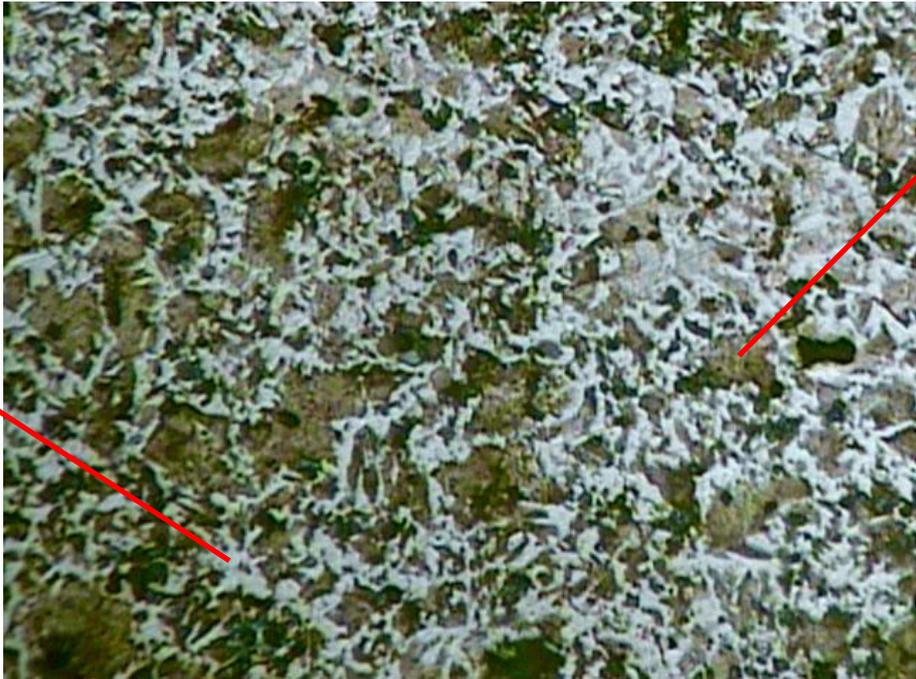
TAMAÑO DE GRANO: Norma ASTM E112-96



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

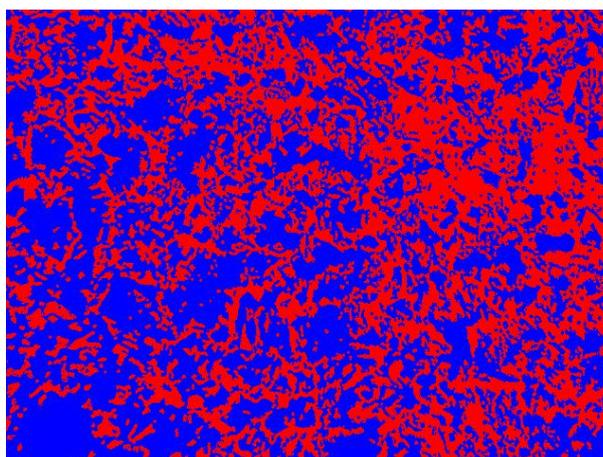
La microestructura del segundo revenido consecutivo a 200°C por 1 hora tiene un tamaño de grano ASTM $G = 6,69$ constituida por 58,8 % de perlita y 41,7 % de martensita revenida.

4.2.5.11 Muestra Tercer Revenido Consecutivo a 200°C durante 1 hora

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES		
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por: Daniel Villegas	Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín		
Fecha: 15/10/2013	Tipo de estudio: De laboratorio		
Probeta: 9.1M	Lugar: Laboratorio de materiales		
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO			
Acondicionamiento de superficie	Pulido mecánico	Superficie Preparada en: 3 h	
Temperatura durante el pulido	18°C		
Ataque químico de la superficie	Nital 2, durante 3 segundos		
RESULTADO			
			
Microestructura muestra 9.1M, 200 X, 3 seg, Nital 2.			

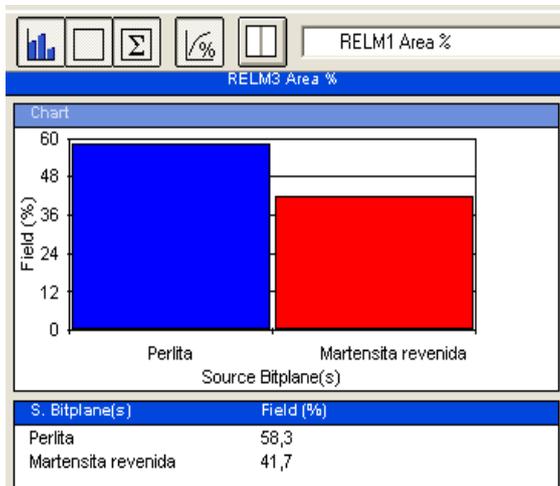


EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCURA

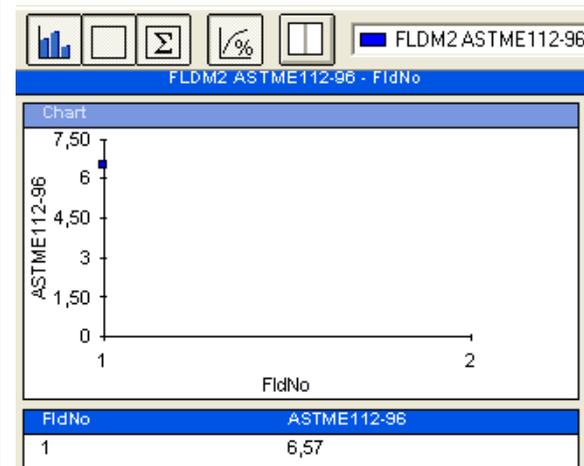


Microestructura muestra 9.1M, 200 X, 3 seg, Nital 2.

COMPONENTES MICROESTRUCURALES



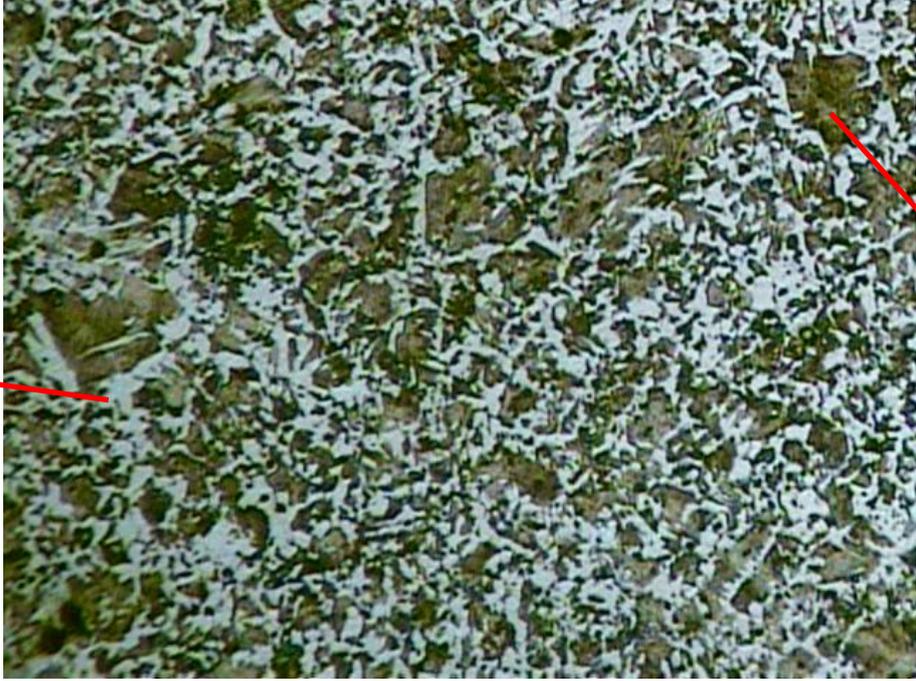
TAMAÑO DE GRANO: Norma ASTM E112-96



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

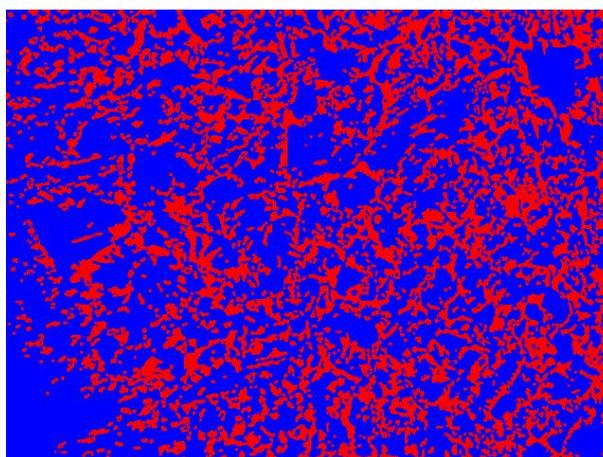
La microestructura del tercer revenido consecutivo a 200°C por a hora tiene un tamaño de grano ASTM G = 6,57 constituida por 58,3 % de perlita y 41,7 % de martensita revenida.

4.2.5.12 Muestra Primer revenido consecutivo a 200°C durante 2 horas

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES		
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por: Daniel Villegas	Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín		
Fecha: 17/10/2013	Tipo de estudio: De laboratorio		
Probeta: 10.1M	Lugar: Laboratorio de materiales		
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO			
Acondicionamiento de superficie	Pulido mecánico	Superficie Preparada en: 3 h	
Temperatura durante el pulido	18°C		
Ataque químico de la superficie	Nital 2, durante 3 segundos		
RESULTADO			
			
Microestructura muestra 10.1M, 200 X, 3 seg, Nital 2.			

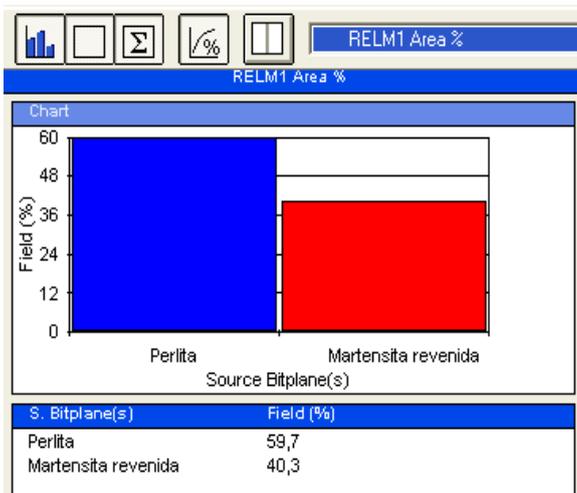


EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCURA

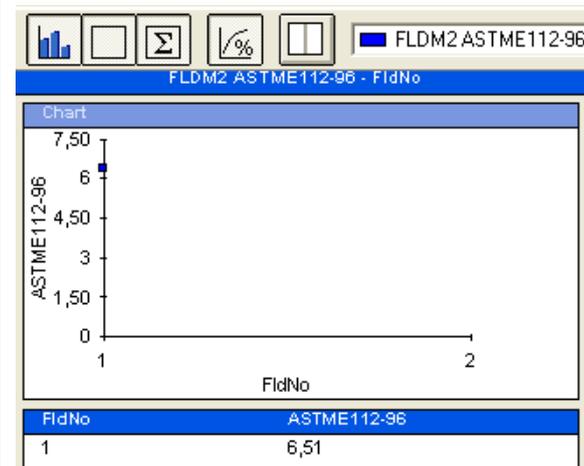


Microestructura muestra 10.1M, 200 X , 3 seg, Nital 2

COMPONENTES MICROESTRUCURALES



TAMAÑO DE GRANO: Norma ASTM E112-96



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

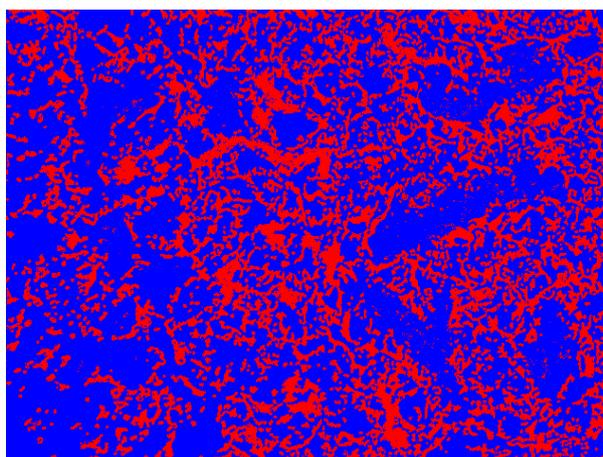
La microestructura del primer revenido consecutivo a 200°C por 2 horas tiene un tamaño de grano ASTM G = 6,51 constituida por 59,7 % de perlita y 40,3 % de martensita revenida.

4.2.5.13 Muestra segundo revenido consecutivo a 200°C durante 2 horas

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES		
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por: Daniel Villegas	Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín		
Fecha: 17/10/2013	Tipo de estudio: De laboratorio		
Probeta: 11.1M	Lugar: Laboratorio de materiales		
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO			
Acondicionamiento de superficie	Pulido mecánico	Superficie Preparada en: 3 h	
Temperatura durante el pulido	18°C		
Ataque químico de la superficie	Nital 2, durante 3 segundos		
RESULTADO			
			
Microestructura muestra 11.1M, 200 X, 3 seg, Nital 2.			

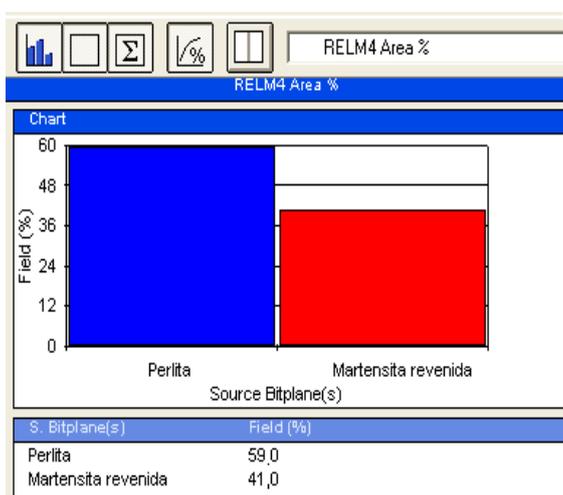


EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCURA

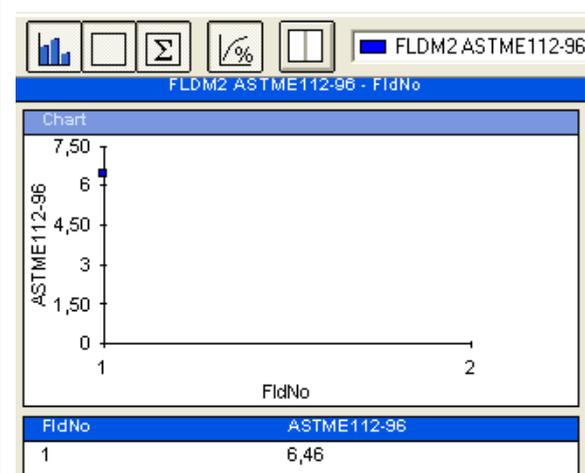


Microestructura muestra 11.1M, 200 X, 3seg, Nital 2.

COMPONENTES MICROESTRUCTURALES



TAMAÑO DE GRANO: Norma ASTM E112-96



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

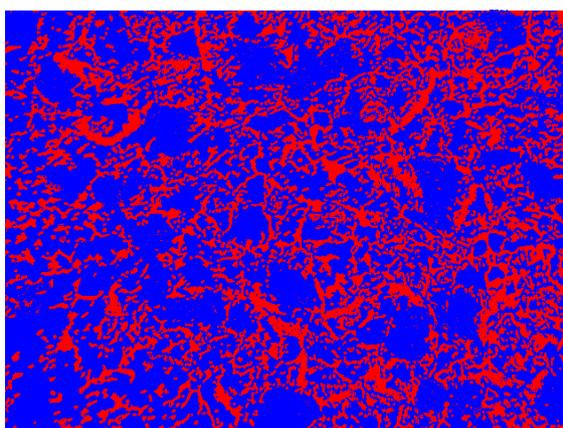
La microestructura del segundo revenido consecutivo a 200°C por 2 horas tiene un tamaño de grano ASTM G = 6,46 constituida por 59,0 % de perlita y 41,0 % de martensita revenida.

4.2.5.14 Muestra tercer revenido consecutivo a 200°C durante 2 horas.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES		
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por: Daniel Villegas	Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín		
Fecha: 17/10/2013	Tipo de estudio: De laboratorio		
Probeta: 12.1M	Lugar: Laboratorio de materiales		
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO			
Acondicionamiento de superficie	Pulido mecánico	Superficie Preparada en: 3 h	
Temperatura durante el pulido	18°C		
Ataque químico de la superficie	Nital 2, durante 3 segundos		
RESULTADO			
			
Microestructura muestra 12.1M, 200 X, 3 seg, Nital 2.			

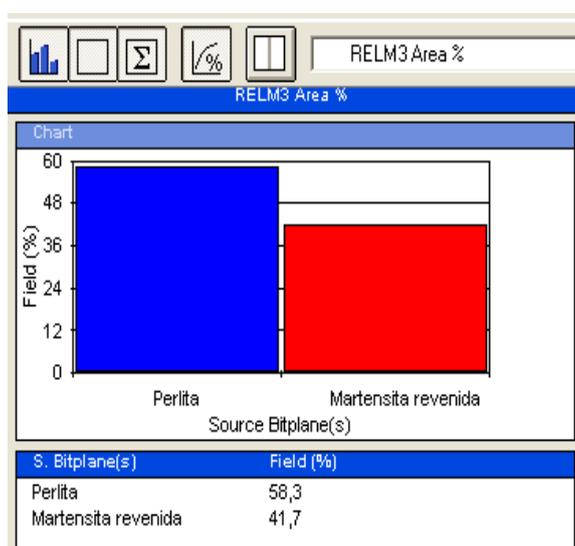


EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCURA

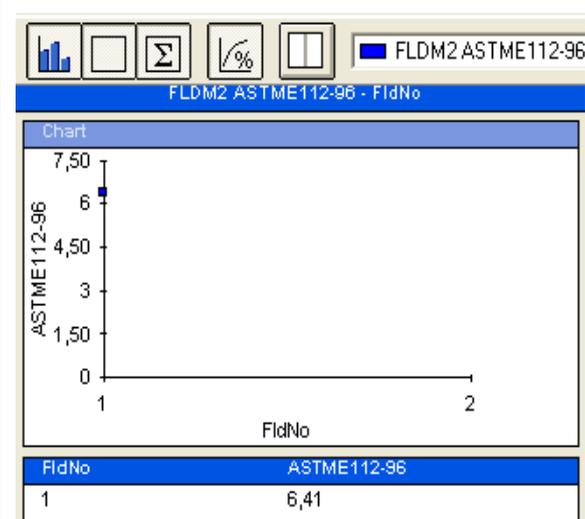


Microestructura muestra 12.1M, 200 X, 3 seg, Nital 2.

COMPONENTES MICROESTRUCURALES



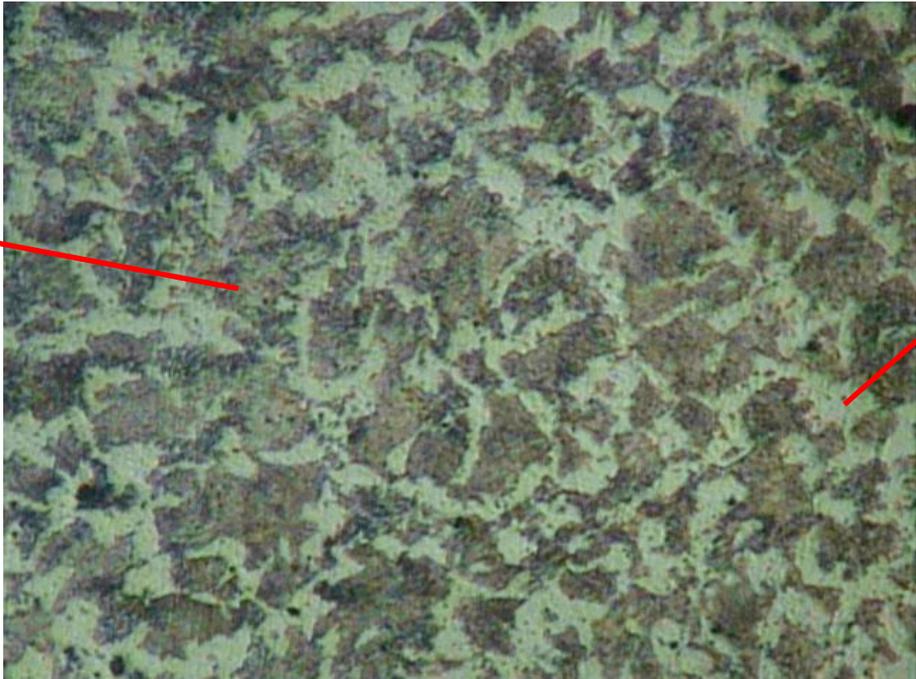
TAMAÑO DE GRANO: Norma ASTM E112-96



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

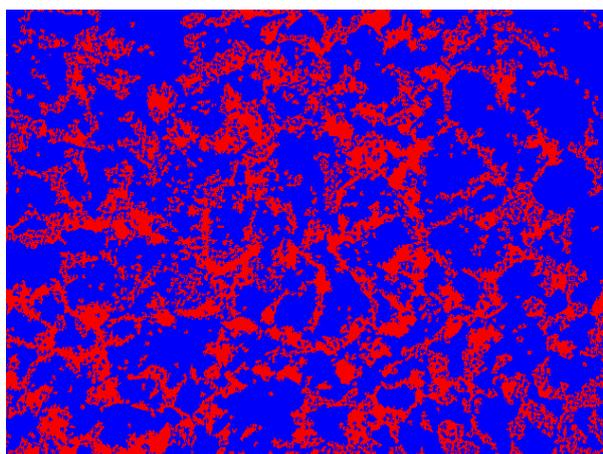
La microestructura del tercer revenido consecutivo a 200°C por 2 horas tiene un tamaño de grano ASTM G = 6,41 constituida por 58,3 % de perlita, 41,7 % de martensita revenida.

4.2.5.15 Muestra Primer revenido consecutivo a 426°C durante 1 hora

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES		
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por: Daniel Villegas	Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín		
Fecha: 22/10/2013	Tipo de estudio: De laboratorio		
Probeta: 13.1M	Lugar: Laboratorio de materiales		
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRÁFICO			
Acondicionamiento de superficie	Pulido mecánico	Superficie Preparada en: 3 h	
Temperatura durante el pulido	18°C		
Ataque químico de la superficie	Nital 2, durante 3 segundos		
RESULTADO			
			
Microestructura muestra 13.1M, 200 X, 3 seg, Nital 2.			

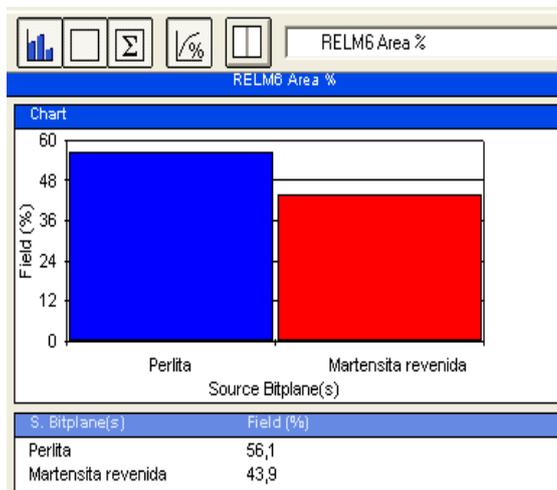


EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCURA

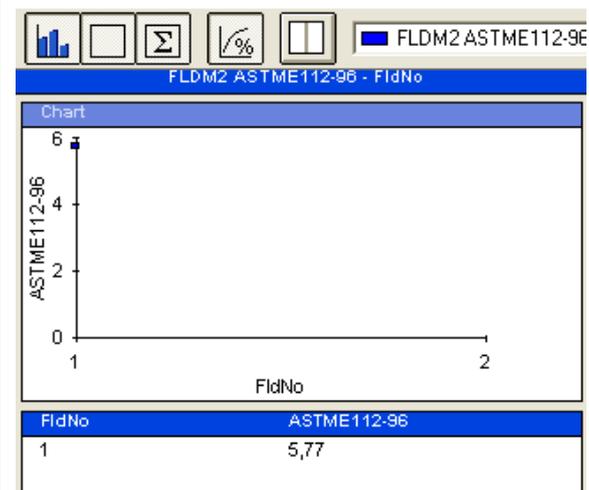


Microestructura muestra 13.1M, 200 X, 3 seg, Nital 2.

COMPONENTES MICROESTRUCURALES



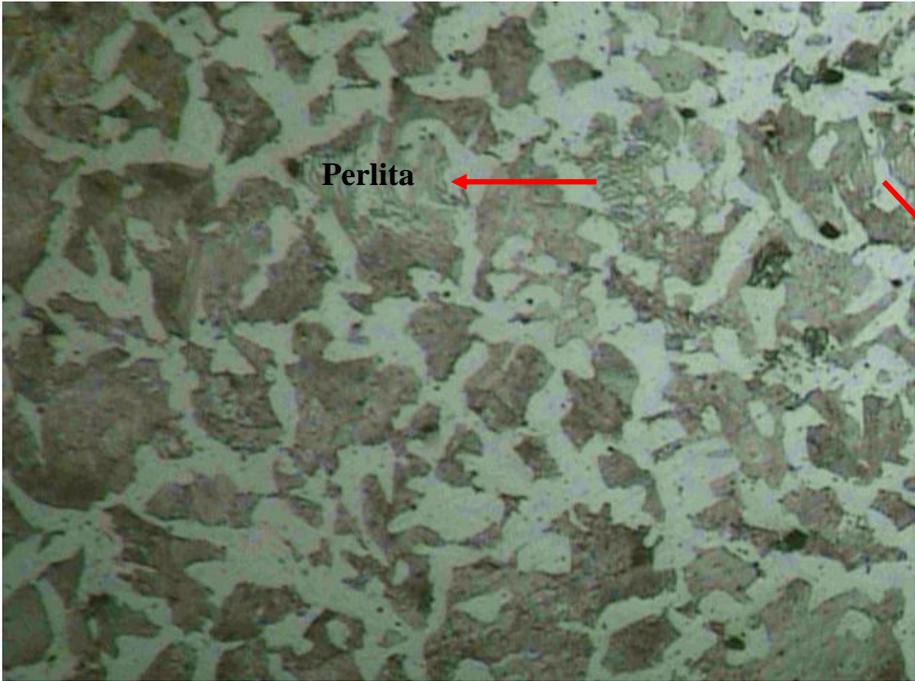
TAMAÑO DE GRANO: Norma ASTM E112-96



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

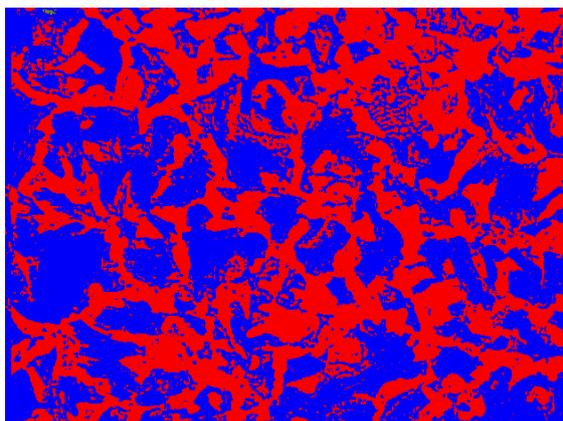
La microestructura del primer revenido consecutivo a 426°C por 1 hora tiene un tamaño de grano ASTM G = 5,77 constituida por 56,1 % de perlita y 43,9 % de martensita revenida.

4.2.5.16 Muestra segundo revenido consecutivo a 426°C durante 1 hora

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES		
	DATOS INFORMATIVOS		
Realizado por: Daniel Villegas	Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín		
Fecha: 22/10/2013	Tipo de estudio: De laboratorio		
Probeta: 14.1M	Lugar: Laboratorio de materiales		
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO			
Acondicionamiento de superficie	Pulido mecánico	Superficie Preparada en: 3 h	
Temperatura durante el pulido	18°C		
Ataque químico de la superficie	Nital 2, durante 3 segundos		
RESULTADO			
 <p data-bbox="758 1093 853 1124">Perlita</p> <p data-bbox="1356 1209 1500 1276">Martensita Revenida</p> <p data-bbox="526 1624 1268 1653">Microestructura muestra 14.1M, 200 X, 3 seg, Nital 2.</p>			

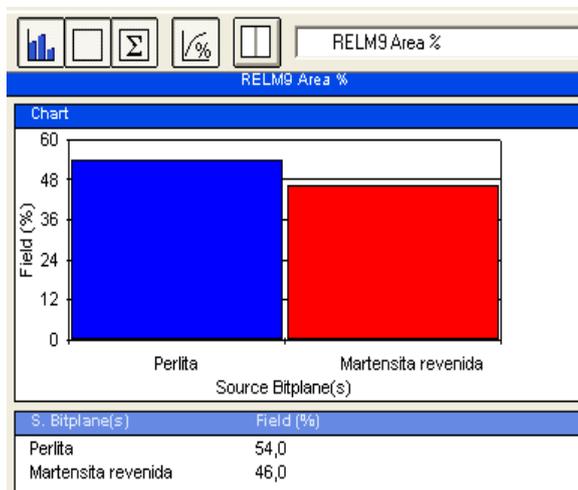


EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCURA

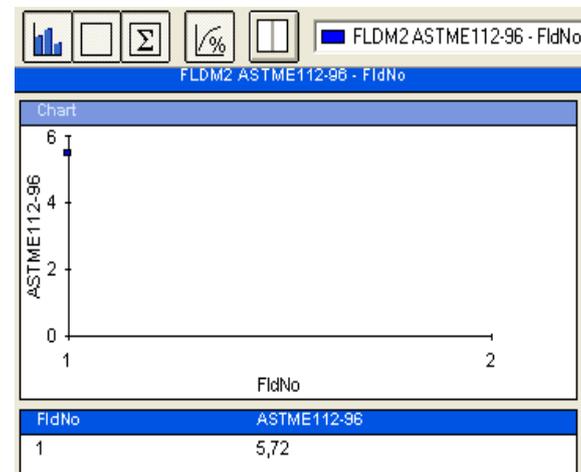


Microestructura muestra 14.1M, 200 X, 3 seg, Nital 2.

COMPONENTES MICROESTRUCTURALES



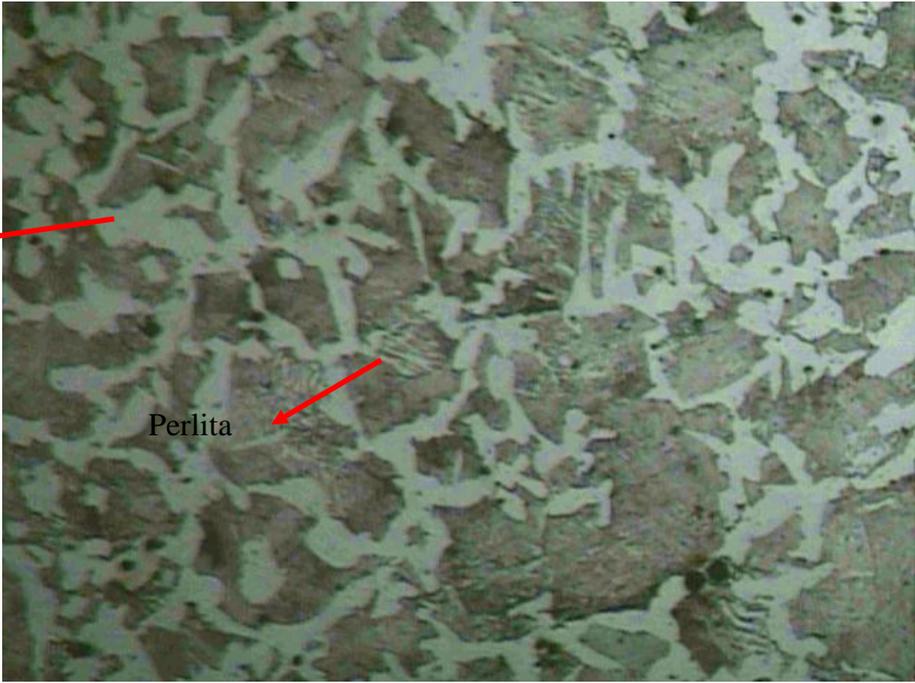
TAMAÑO DE GRANO: Norma ASTM E112-96



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

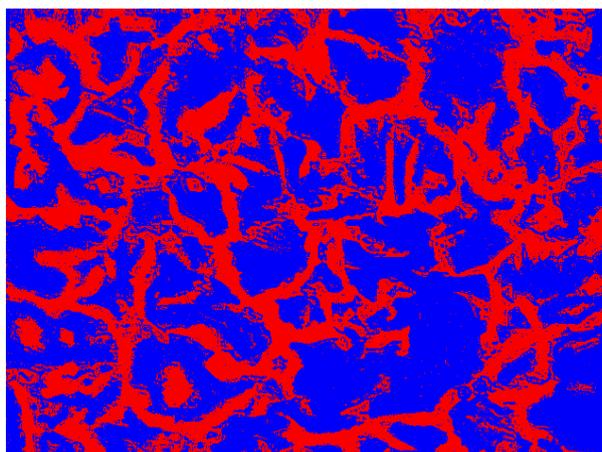
La microestructura del segundo revenido consecutivo a 426°C por 1 hora tiene un tamaño de grano ASTM G = 5,72 constituida por 54,0 % de perlita y 46,0 % de martensita revenida.

4.2.5.17 Muestra Tercer Revenido Consecutivo a 426°C durante 1 hora

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES		
	DATOS INFORMATIVOS		
Realizado por: Daniel Villegas	Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín		
Fecha: 22/10/2013	Tipo de estudio: De laboratorio		
Probeta: 15.1M	Lugar: Laboratorio de materiales		
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO			
Acondicionamiento de superficie	Pulido mecánico	Superficie Preparada en: 3 h	
Temperatura durante el pulido	18°C		
Ataque químico de la superficie	Nital 2, durante 3 segundos.		
RESULTADO			
			
Microestructura muestra 15.1M, 200 X, 3 seg, Nital 2.			

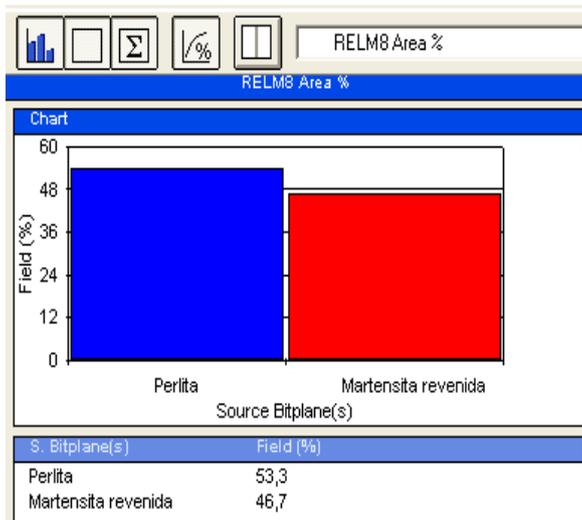


EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCURA

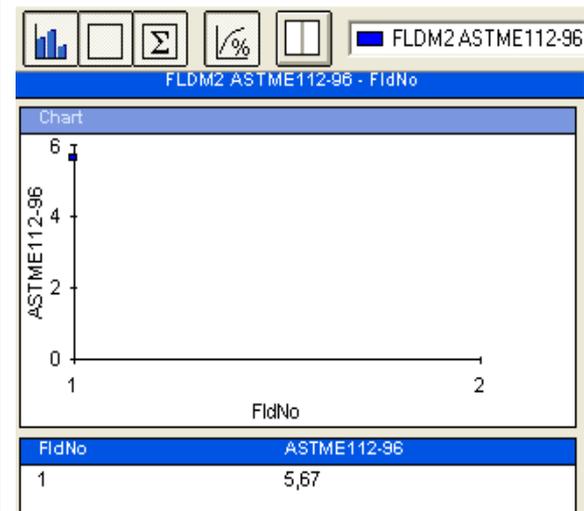


Microestructura muestra 15.1M, 200 X, 3 seg, Nital 2.

COMPONENTES MICROESTRUCURALES



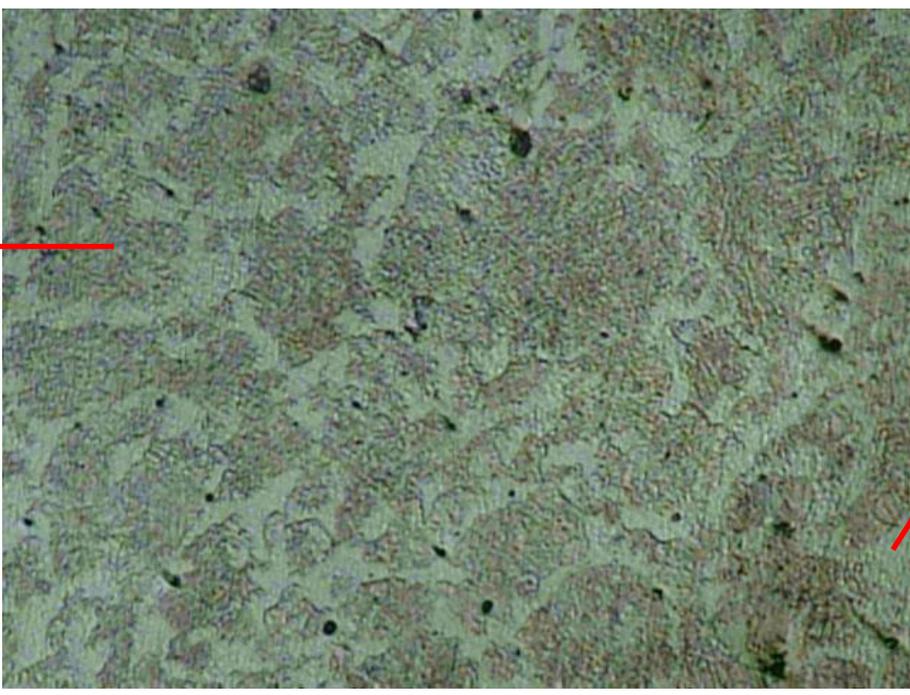
TAMAÑO DE GRANO: Norma Astm E112-96



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

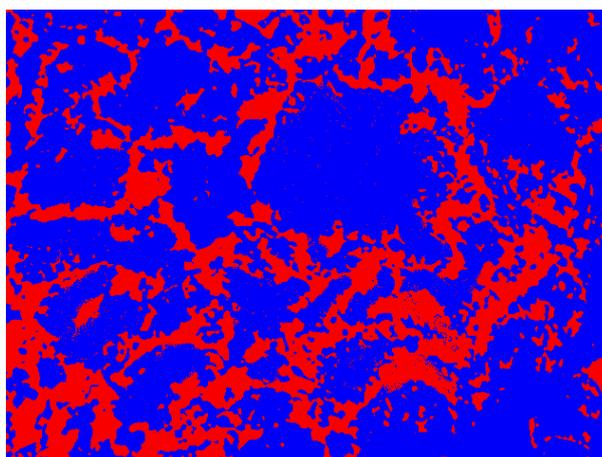
La microestructura del tercer revenido consecutivo a 426°C por 1 hora tiene un tamaño de grano ASTM G = 5,67 constituida por 53,3 % de perlita y 46,7 % de martensita revenida.

4.2.5.18 Muestra Primer revenido consecutivo a 426°C durante 2 horas

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES		
	DATOS INFORMATIVOS		
Realizado por: Daniel Villegas	Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín		
Fecha: 29/10/2013	Tipo de estudio: De laboratorio		
Probeta: 16.1M	Lugar: Laboratorio de materiales		
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO			
Acondicionamiento de superficie	Pulido mecánico	Superficie Preparada en: 3 h	
Temperatura durante el pulido	18°C		
Ataque químico de la superficie	Nital 2, durante 3 segundos		
RESULTADO			
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div data-bbox="311 1120 406 1164"> Perlita  </div> <div data-bbox="438 929 1348 1624">  </div> <div data-bbox="1348 1310 1508 1388"> Martensita Revenida  </div> </div> <p data-bbox="518 1612 1268 1657" style="text-align: center;">Microestructura muestra 16.1M, 200 X, 3 seg, Nital 2.</p>			

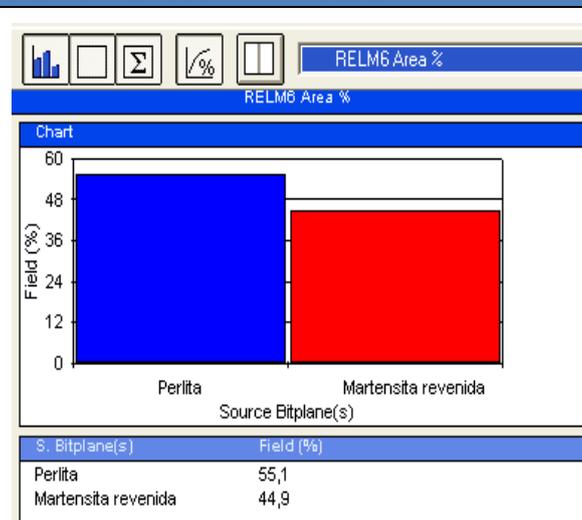


EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCURA

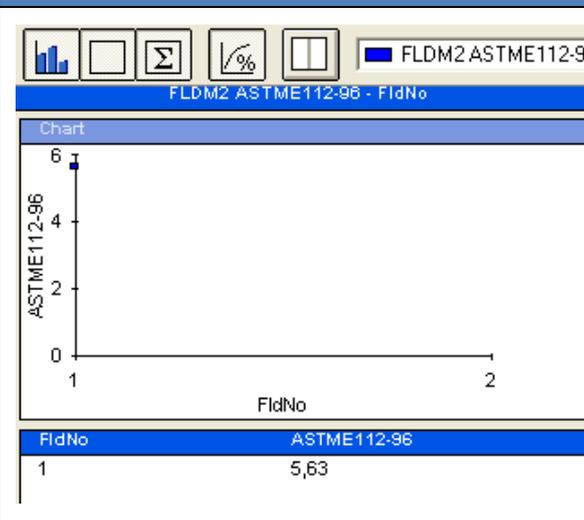


Microestructura muestra 16.1M, 200 X, 3seg, Nital 2.

COMPONENTES MICROESTRUCURALES



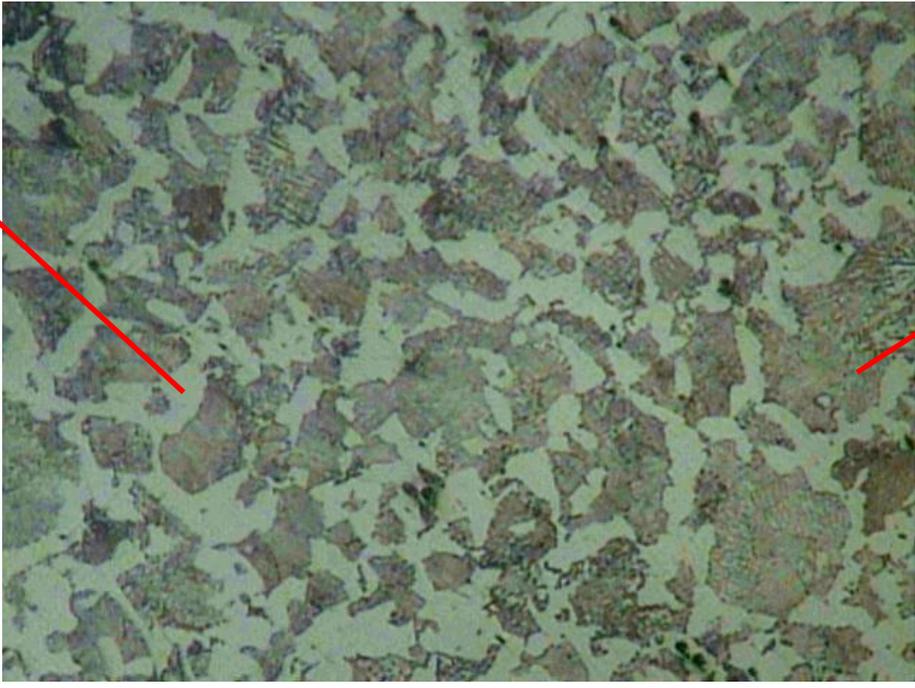
TAMAÑO DE GRANO: Norma ASTM E112-96



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

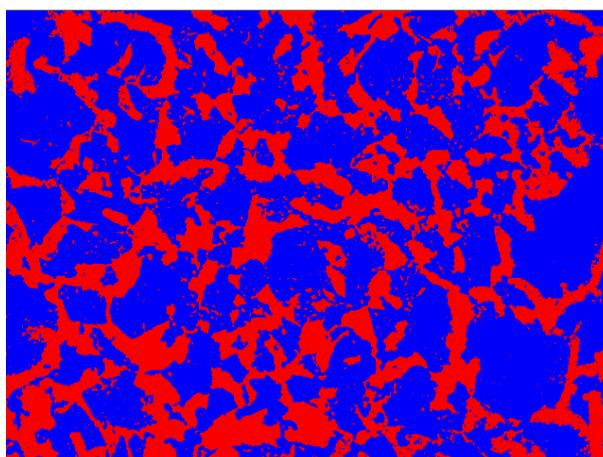
La microestructura del primer revenido consecutivo a 426°C por 2 horas tiene un tamaño de grano ASTM G = 5,63 constituida por 55,1 % de perlita y 44,9 % de martensita revenida.

4.2.5.19 Muestra segundo revenido consecutivo a 426°C durante 2 horas

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES		
	DATOS INFORMATIVOS		
Realizado por: Daniel Villegas	Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín		
Fecha: 05/11/2013	Tipo de estudio: De laboratorio		
Probeta: 17.1M	Lugar: Laboratorio de materiales		
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO			
Acondicionamiento de superficie	Pulido mecánico	Superficie Preparada en: 3 h	
Temperatura durante el pulido	18°C		
Ataque químico de la superficie	Nital 2, durante 3 segundos.		
RESULTADO			
			
Microestructura muestra 17.1M, 200 X, 3 seg, Nital 2.			

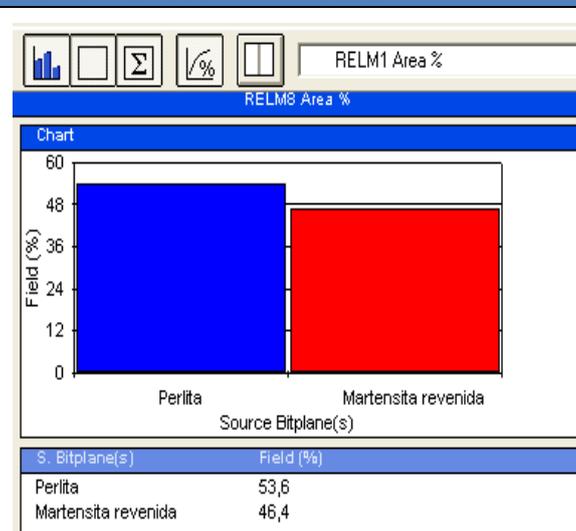


EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCURA

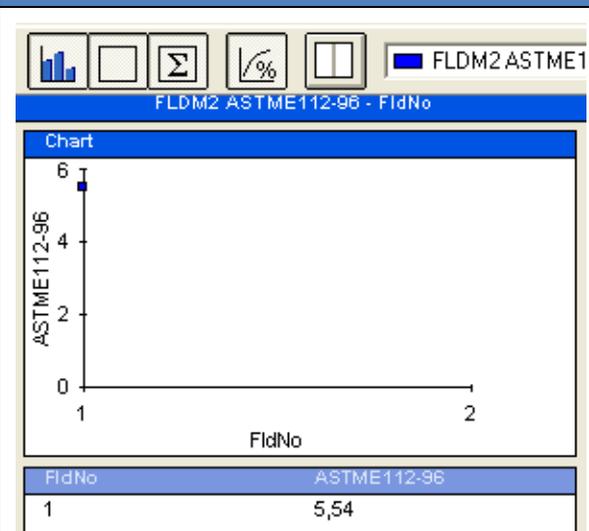


Microestructura muestra 17.1M, 200 X, 3seg, Nital 2.

COMPONENTES MICROESTRUCURALES



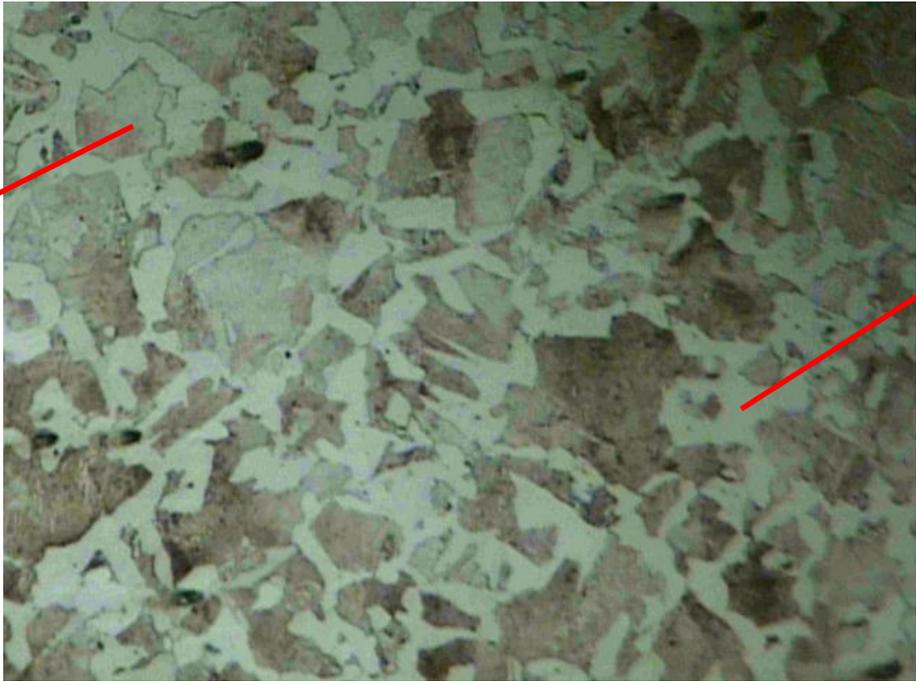
TAMAÑO DE GRANO: Norma ASTM E112-96



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

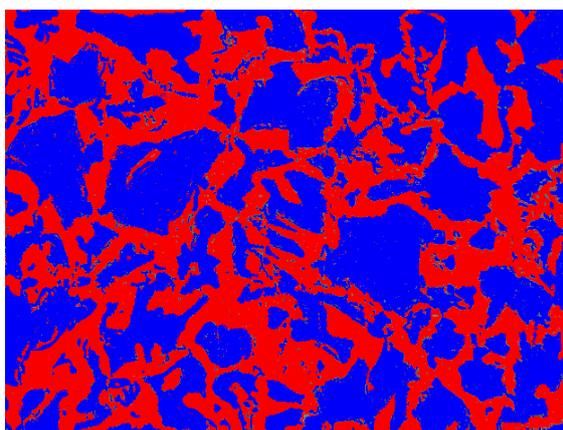
La microestructura del segundo revenido consecutivo a 426°C por 2 horas tiene un tamaño de grano ASTM $G = 5,54$ constituida por 53,6 % de perlita y 46,4 % de martensita revenida.

4.2.5.20 Muestra Tercer Revenido Consecutivo a 426°C durante 2 horas

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES		
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por: Daniel Villegas	Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín		
Fecha: 13/11/2013	Tipo de estudio: De laboratorio		
Probeta: 18.1M	Lugar: Laboratorio de materiales		
PARÁMETROS DEL ENSAYO METALOGRAFICO			
Acondicionamiento de superficie	Pulido mecánico	Superficie Preparada en: 3 h	
Temperatura durante el pulido	18°C		
Ataque químico de la superficie	Nital 2, durante 3 segundos		
RESULTADO			
			
Microestructura muestra 18.1M, 200 X, 3 seg, Nital 2.			

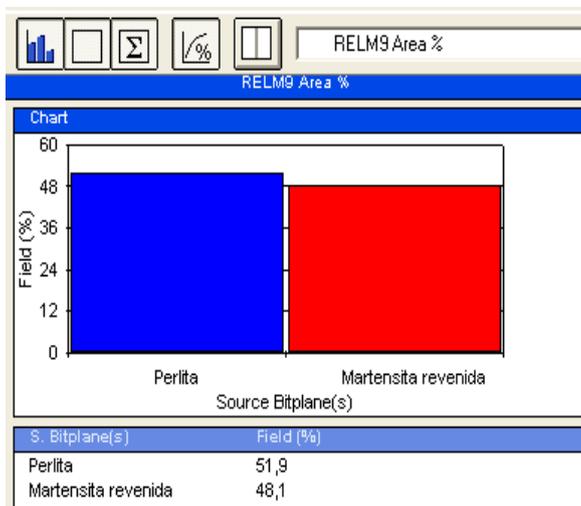


EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCURA

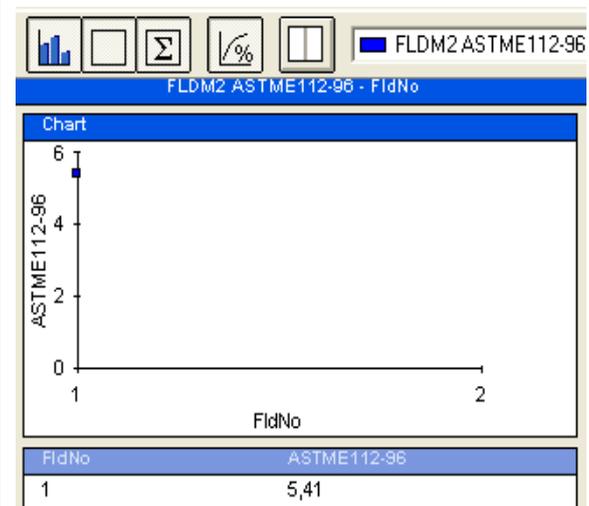


Microestructura muestra 18.1M, 200 X, 3 seg, Nital 2.

COMPONENTES MICROESTRUCTURALES



TAMAÑO DE GRANO: Norma ASTM E112-96



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La microestructura del tercer revenido consecutivo a 426°C por 2 horas tiene un tamaño de grano ASTM G = 5,41 constituida por 51,9 % de perlita y 48,1 % de martensita revenida.

4.2.6 Evaluación del ensayo de dureza

4.2.6.1 Muestra de dureza del acero AISI 1045 de fábrica y templado

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES																									
DATOS INFORMATIVOS																										
Realizado por: Daniel Villegas		Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín																								
Fecha: 10/07/2013		Tipo de estudio: De laboratorio																								
Probeta:	1D AISI 1045 fábrica	Lugar: Laboratorio de materiales																								
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA																										
Método: Rockwell B, según Norma ASTM E-18:03																										
Tipo de penetrador: Indentador 1/16"																										
Carga Aplicada: 980N																										
RESULTADOS																										
Muestra 1D		Detalle Referencial																								
<table border="1"><thead><tr><th>N° Medición</th><th>Dureza HRB</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>94</td></tr><tr><td>2</td><td>92</td></tr><tr><td>3</td><td>89</td></tr><tr><td>4</td><td>90</td></tr><tr><td>5</td><td>88</td></tr><tr><td>6</td><td>87</td></tr><tr><td>7</td><td>88</td></tr><tr><td>8</td><td>87</td></tr><tr><td>9</td><td>87</td></tr><tr><td>10</td><td>89</td></tr><tr><td>Promedio</td><td>89,1 HRB</td></tr></tbody></table>	N° Medición	Dureza HRB	1	94	2	92	3	89	4	90	5	88	6	87	7	88	8	87	9	87	10	89	Promedio	89,1 HRB		
N° Medición	Dureza HRB																									
1	94																									
2	92																									
3	89																									
4	90																									
5	88																									
6	87																									
7	88																									
8	87																									
9	87																									
10	89																									
Promedio	89,1 HRB																									

4.2.6.2 Muestra de dureza del acero templado

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES																										
		DATOS INFORMATIVOS																										
Realizado por: Daniel Villegas		Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín																										
Fecha: 10/07/2013		Tipo de estudio: De laboratorio																										
Probeta:	0.1D	Templado en aceite de oliva	Lugar: Laboratorio de materiales																									
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA																												
Método: Rockwell C, según Norma ASTM E-18:03																												
Tipo de penetrador: Cono de Diamante																												
Carga Aplicada: 1471 N																												
RESULTADOS																												
Muestra 0.1D			Detalle Referencial																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">N° Medición</th> <th style="width: 70%;">Dureza HRC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>46</td></tr> <tr><td>2</td><td>56</td></tr> <tr><td>3</td><td>55</td></tr> <tr><td>4</td><td>53</td></tr> <tr><td>5</td><td>50</td></tr> <tr><td>6</td><td>48</td></tr> <tr><td>7</td><td>46</td></tr> <tr><td>8</td><td>50</td></tr> <tr><td>9</td><td>51</td></tr> <tr><td>10</td><td>48</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Promedio</td> <td style="text-align: center;">50,3 HRC</td> </tr> </tbody> </table>			N° Medición	Dureza HRC	1	46	2	56	3	55	4	53	5	50	6	48	7	46	8	50	9	51	10	48	Promedio	50,3 HRC		
N° Medición	Dureza HRC																											
1	46																											
2	56																											
3	55																											
4	53																											
5	50																											
6	48																											
7	46																											
8	50																											
9	51																											
10	48																											
Promedio	50,3 HRC																											

4.2.6.3 Muestra de dureza 1.1D

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES																									
	DATOS INFORMATIVOS																									
Realizado por: Daniel Villegas		Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín																								
Fecha: 10/07/2013		Tipo de estudio: De laboratorio																								
Lugar: Laboratorio de materiales																										
Probeta: 1.1D		1 ^{er} Revenido Consecutivo a 100°C x 1h																								
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA																										
Método: Rockwell C, según Norma ASTM E-18:03																										
Tipo de penetrador: Cono de Diamante																										
Carga Aplicada: 1471 N																										
RESULTADO																										
Muestra 1.1D		Detalle Referencial																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nº Medición</th> <th>Dureza HRC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>50</td></tr> <tr><td>2</td><td>52</td></tr> <tr><td>3</td><td>48</td></tr> <tr><td>4</td><td>49</td></tr> <tr><td>5</td><td>50</td></tr> <tr><td>6</td><td>48</td></tr> <tr><td>7</td><td>47</td></tr> <tr><td>8</td><td>45</td></tr> <tr><td>9</td><td>48</td></tr> <tr><td>10</td><td>46</td></tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>48,3 HRC</td> </tr> </tbody> </table>	Nº Medición	Dureza HRC	1	50	2	52	3	48	4	49	5	50	6	48	7	47	8	45	9	48	10	46	Promedio	48,3 HRC		
Nº Medición	Dureza HRC																									
1	50																									
2	52																									
3	48																									
4	49																									
5	50																									
6	48																									
7	47																									
8	45																									
9	48																									
10	46																									
Promedio	48,3 HRC																									

4.2.6.4 Muestra de dureza 2.1D

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES																											
DATOS INFORMATIVOS																												
Realizado por: Daniel Villegas		Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín																										
Fecha: 10/07/2013		Tipo de estudio: De laboratorio																										
Lugar: Laboratorio de materiales																												
Probeta: 2.1D 2 ^{do} Revenido Consecutivo a 100°C x 1h																												
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA																												
Método: Rockwell C, según Norma ASTM E-18:03																												
Tipo de penetrador: Cono de Diamante																												
Carga Aplicada: 1471 N																												
RESULTADO																												
<table border="1" data-bbox="368 936 812 1476"> <thead> <tr> <th colspan="2">Muestra 2.1D</th> </tr> <tr> <th>Nº Medición</th> <th>Dureza HRC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>48</td></tr> <tr><td>2</td><td>48</td></tr> <tr><td>3</td><td>50</td></tr> <tr><td>4</td><td>48</td></tr> <tr><td>5</td><td>48</td></tr> <tr><td>6</td><td>46</td></tr> <tr><td>7</td><td>48</td></tr> <tr><td>8</td><td>48</td></tr> <tr><td>9</td><td>47</td></tr> <tr><td>10</td><td>48</td></tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>47,9 HRC</td> </tr> </tbody> </table>		Muestra 2.1D		Nº Medición	Dureza HRC	1	48	2	48	3	50	4	48	5	48	6	46	7	48	8	48	9	47	10	48	Promedio	47,9 HRC	<p>Detalle Referencial</p> 
Muestra 2.1D																												
Nº Medición	Dureza HRC																											
1	48																											
2	48																											
3	50																											
4	48																											
5	48																											
6	46																											
7	48																											
8	48																											
9	47																											
10	48																											
Promedio	47,9 HRC																											

4.2.6.5 Muestra de dureza 3.1D

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES																									
	DATOS INFORMATIVOS																									
Realizado por: Daniel Villegas		Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín																								
Fecha: 10/07/2013		Tipo de estudio: De laboratorio																								
Lugar: Laboratorio de materiales																										
Probeta: 3.1D		3 ^{er} Revenido Consecutivo a 100°C x 1h																								
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA																										
Método: Rockwell C, según Norma ASTM E-18:03																										
Tipo de penetrador: Cono de Diamante																										
Carga Aplicada: 1471 N																										
RESULTADO																										
Muestra 3.1D		Detalle Referencial																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nº Medición</th> <th>Dureza HRC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>50</td></tr> <tr><td>2</td><td>48</td></tr> <tr><td>3</td><td>47</td></tr> <tr><td>4</td><td>48</td></tr> <tr><td>5</td><td>46</td></tr> <tr><td>6</td><td>47</td></tr> <tr><td>7</td><td>46</td></tr> <tr><td>8</td><td>46</td></tr> <tr><td>9</td><td>45</td></tr> <tr><td>10</td><td>45</td></tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>46,8 HRC</td> </tr> </tbody> </table>	Nº Medición	Dureza HRC	1	50	2	48	3	47	4	48	5	46	6	47	7	46	8	46	9	45	10	45	Promedio	46,8 HRC		
Nº Medición	Dureza HRC																									
1	50																									
2	48																									
3	47																									
4	48																									
5	46																									
6	47																									
7	46																									
8	46																									
9	45																									
10	45																									
Promedio	46,8 HRC																									

4.2.6.6 Muestra de dureza 4.1D

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES	
DATOS INFORMATIVOS		
Realizado por: Daniel Villegas		Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín
Fecha: 10/07/2013		Tipo de estudio: De laboratorio
Lugar: Laboratorio de materiales		
Probeta: 4.1D 1 ^{er} Revenido Consecutivo a 100°C x 2h		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA		
Método: Rockwell C, según Norma ASTM E-18:03		
Tipo de penetrador: Cono de Diamante		
Carga Aplicada: 1471 N		
RESULTADO		
Muestra 4.1D		Detalle Referencial
N° Medición	Dureza HRC	
1	53	
2	50	
3	50	
4	49	
5	51	
6	46	
7	47	
8	45	
9	44	
10	45	
Promedio	48,0 HRC	

4.2.6.7 Muestra de dureza 5.1D

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES	
DATOS INFORMATIVOS		
Realizado por: Daniel Villegas		Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín
Fecha: 10/07/2013		Tipo de estudio: De laboratorio
Lugar: Laboratorio de materiales		
Probeta: 5.1D 2 ^{do} Revenido Consecutivo a 100°C x 2h		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA		
Método: Rockwell C, según Norma ASTM E-18:03		
Tipo de penetrador: Cono de Diamante		
Carga Aplicada: 1471 N		
RESULTADO		
Muestra 5.1D		Detalle Referencial
N° Medición	Dureza HRC	
1	50	
2	50	
3	46	
4	48	
5	48	
6	46	
7	47	
8	48	
9	44	
10	46	
Promedio	47,3 HRC	

4.2.6.8 Muestra de dureza 6.1D

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES	
DATOS INFORMATIVOS		
Realizado por: Daniel Villegas		Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín
Fecha: 10/07/2013		Tipo de estudio: De laboratorio
Lugar: Laboratorio de materiales		
Probeta: 6.1D	3 ^{er} Revenido Consecutivo a 100°C x 2h	
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA		
Método: Rockwell C, según Norma ASTM E-18:03		
Tipo de penetrador: Cono de Diamante		
Carga Aplicada: 1471 N		
RESULTADO		
Muestra 6.1D		Detalle Referencial
N° Medición	Dureza HRC	
1	50	
2	48	
3	46	
4	45	
5	46	
6	46	
7	45	
8	46	
9	45	
10	43	
Promedio	46,0 HRC	

4.2.6.9 Muestra de dureza 7.1D

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES																									
DATOS INFORMATIVOS																										
Realizado por: Daniel Villegas		Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín																								
Fecha: 10/07/2013		Tipo de estudio: De laboratorio																								
Lugar: Laboratorio de materiales																										
Probeta: 7.1D	1 ^{er} Revenido Consecutivo a 200°C x 1h																									
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA																										
Método: Rockwell C, según Norma ASTM E-18:03																										
Tipo de penetrador: Cono de Diamante																										
Carga Aplicada: 1471 N																										
RESULTADO																										
Muestra 7.1D		Detalle Referencial																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">N° Medición</th> <th style="width: 70%;">Dureza HRC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>49</td></tr> <tr><td>2</td><td>46</td></tr> <tr><td>3</td><td>44</td></tr> <tr><td>4</td><td>45</td></tr> <tr><td>5</td><td>46</td></tr> <tr><td>6</td><td>46</td></tr> <tr><td>7</td><td>44</td></tr> <tr><td>8</td><td>46</td></tr> <tr><td>9</td><td>45</td></tr> <tr><td>10</td><td>46</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Promedio</td> <td style="text-align: center;">45,7 HRC</td> </tr> </tbody> </table>		N° Medición	Dureza HRC	1	49	2	46	3	44	4	45	5	46	6	46	7	44	8	46	9	45	10	46	Promedio	45,7 HRC	
N° Medición	Dureza HRC																									
1	49																									
2	46																									
3	44																									
4	45																									
5	46																									
6	46																									
7	44																									
8	46																									
9	45																									
10	46																									
Promedio	45,7 HRC																									

4.2.6.10 Muestra de dureza 8.1D

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES	
DATOS INFORMATIVOS		
Realizado por: Daniel Villegas		Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín
Fecha: 10/07/2013		Tipo de estudio: De laboratorio
Lugar: Laboratorio de materiales		
Probeta: 8.1D 2 ^{do} Revenido Consecutivo a 200°C x 1h		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA		
Método: Rockwell C, según Norma ASTM E-18:03		
Tipo de penetrador: Cono de Diamante		
Carga Aplicada: 1471 N		
RESULTADO		
Muestra 8.1D		Detalle Referencial
N° Medición	Dureza HRC	
1	46	
2	47	
3	46	
4	45	
5	48	
6	44	
7	43	
8	42	
9	45	
10	44	
Promedio	45,0 HRC	

4.2.6.11 Muestra de dureza 9.1D

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES	
DATOS INFORMATIVOS		
Realizado por: Daniel Villegas		Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín
Fecha: 10/07/2013		Tipo de estudio: De laboratorio
Lugar: Laboratorio de materiales		
Probeta: 9.1D	3 ^{er} Revenido Consecutivo a 200°C x1h	
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA		
Método: Rockwell C, según Norma ASTM E-18:03		
Tipo de penetrador: Cono de Diamante		
Carga Aplicada: 1471 N		
Resultado		
Muestra 9.1D		Detalle Referencial
N° Medición	Dureza HRC	
1	45	
2	44	
3	45	
4	46	
5	46	
6	43	
7	44	
8	43	
9	44	
10	43	
Promedio	44,3 HRC	

4.2.6.12 Muestra de dureza 10.1D

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES																									
	DATOS INFORMATIVOS																									
Realizado por: Daniel Villegas		Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín																								
Fecha: 10/07/2013		Tipo de estudio: De laboratorio																								
Lugar: Laboratorio de materiales																										
Probeta: 10.1D 1 ^{er} Revenido Consecutivo a 200°C x 2h																										
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA																										
Método: Rockwell C, según Norma ASTM E-18:03																										
Tipo de penetrador: Cono de Diamante																										
Carga Aplicada: 1471 N																										
RESULTADO																										
Muestra 10.1D		Detalle Referencial																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nº Medición</th> <th>Dureza HRC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>50</td></tr> <tr><td>2</td><td>46</td></tr> <tr><td>3</td><td>45</td></tr> <tr><td>4</td><td>46</td></tr> <tr><td>5</td><td>46</td></tr> <tr><td>6</td><td>43</td></tr> <tr><td>7</td><td>41</td></tr> <tr><td>8</td><td>43</td></tr> <tr><td>9</td><td>45</td></tr> <tr><td>10</td><td>42</td></tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>44,7 HRC</td> </tr> </tbody> </table>	Nº Medición	Dureza HRC	1	50	2	46	3	45	4	46	5	46	6	43	7	41	8	43	9	45	10	42	Promedio	44,7 HRC		
Nº Medición	Dureza HRC																									
1	50																									
2	46																									
3	45																									
4	46																									
5	46																									
6	43																									
7	41																									
8	43																									
9	45																									
10	42																									
Promedio	44,7 HRC																									

4.2.6.13 Muestra de dureza 11.1D

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES																													
	DATOS INFORMATIVOS																													
Realizado por: Daniel Villegas	Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín																													
Fecha: 10/07/2013	Tipo de estudio: De laboratorio																													
Lugar: Laboratorio de materiales																														
Probeta: 11.1D 2 ^{do} Revenido Consecutivo a 200°C x 2h																														
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA																														
Método: Rockwell C, según Norma ASTM E-18:03																														
Tipo de penetrador: Cono de Diamante																														
Carga Aplicada: 1471 N																														
RESULTADO																														
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2" data-bbox="368 936 815 974">Muestra 11.1D</th> </tr> <tr> <th data-bbox="368 974 587 1012">N° Medición</th> <th data-bbox="587 974 815 1012">Dureza HRC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td data-bbox="368 1012 587 1050">1</td><td data-bbox="587 1012 815 1050">45</td></tr> <tr><td data-bbox="368 1050 587 1088">2</td><td data-bbox="587 1050 815 1088">44</td></tr> <tr><td data-bbox="368 1088 587 1126">3</td><td data-bbox="587 1088 815 1126">45</td></tr> <tr><td data-bbox="368 1126 587 1164">4</td><td data-bbox="587 1126 815 1164">45</td></tr> <tr><td data-bbox="368 1164 587 1202">5</td><td data-bbox="587 1164 815 1202">44</td></tr> <tr><td data-bbox="368 1202 587 1240">6</td><td data-bbox="587 1202 815 1240">44</td></tr> <tr><td data-bbox="368 1240 587 1279">7</td><td data-bbox="587 1240 815 1279">43</td></tr> <tr><td data-bbox="368 1279 587 1317">8</td><td data-bbox="587 1279 815 1317">44</td></tr> <tr><td data-bbox="368 1317 587 1355">9</td><td data-bbox="587 1317 815 1355">43</td></tr> <tr><td data-bbox="368 1355 587 1393">10</td><td data-bbox="587 1355 815 1393">44</td></tr> <tr> <td data-bbox="368 1393 587 1476">Promedio</td> <td data-bbox="587 1393 815 1476">44,1 HRC</td> </tr> </tbody> </table>		Muestra 11.1D		N° Medición	Dureza HRC	1	45	2	44	3	45	4	45	5	44	6	44	7	43	8	44	9	43	10	44	Promedio	44,1 HRC	<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th data-bbox="895 904 1543 943" style="text-align: center;">Detalle Referencial</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="895 943 1543 1512" style="text-align: center;">  </td> </tr> </tbody> </table>	Detalle Referencial	
Muestra 11.1D																														
N° Medición	Dureza HRC																													
1	45																													
2	44																													
3	45																													
4	45																													
5	44																													
6	44																													
7	43																													
8	44																													
9	43																													
10	44																													
Promedio	44,1 HRC																													
Detalle Referencial																														
																														

4.2.6.14 Muestra de dureza 12.1D

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES																													
	DATOS INFORMATIVOS																													
Realizado por: Daniel Villegas	Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín																													
Fecha: 10/07/2013	Tipo de estudio: De laboratorio																													
Lugar: Laboratorio de materiales																														
Probeta: 12.1D 3 ^{er} Revenido Consecutivo a 200°C x 2h																														
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA																														
Método: Rockwell C, según Norma ASTM E-18:03																														
Tipo de penetrador: Cono de Diamante																														
Carga Aplicada: 1471 N																														
RESULTADO																														
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2" data-bbox="368 936 815 974">Muestra 12.1D</th> </tr> <tr> <th data-bbox="368 974 587 1012">N° Medición</th> <th data-bbox="587 974 815 1012">Dureza HRC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td data-bbox="368 1012 587 1050">1</td><td data-bbox="587 1012 815 1050">44</td></tr> <tr><td data-bbox="368 1050 587 1088">2</td><td data-bbox="587 1050 815 1088">46</td></tr> <tr><td data-bbox="368 1088 587 1126">3</td><td data-bbox="587 1088 815 1126">45</td></tr> <tr><td data-bbox="368 1126 587 1164">4</td><td data-bbox="587 1126 815 1164">45</td></tr> <tr><td data-bbox="368 1164 587 1202">5</td><td data-bbox="587 1164 815 1202">43</td></tr> <tr><td data-bbox="368 1202 587 1240">6</td><td data-bbox="587 1202 815 1240">42</td></tr> <tr><td data-bbox="368 1240 587 1279">7</td><td data-bbox="587 1240 815 1279">44</td></tr> <tr><td data-bbox="368 1279 587 1317">8</td><td data-bbox="587 1279 815 1317">43</td></tr> <tr><td data-bbox="368 1317 587 1355">9</td><td data-bbox="587 1317 815 1355">43</td></tr> <tr><td data-bbox="368 1355 587 1393">10</td><td data-bbox="587 1355 815 1393">42</td></tr> <tr> <td data-bbox="368 1393 587 1476">Promedio</td> <td data-bbox="587 1393 815 1476">43,7 HRC</td> </tr> </tbody> </table>		Muestra 12.1D		N° Medición	Dureza HRC	1	44	2	46	3	45	4	45	5	43	6	42	7	44	8	43	9	43	10	42	Promedio	43,7 HRC	<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th data-bbox="895 904 1543 943" style="text-align: center;">Detalle Referencial</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="895 943 1543 1512" style="text-align: center;">  </td> </tr> </tbody> </table>	Detalle Referencial	
Muestra 12.1D																														
N° Medición	Dureza HRC																													
1	44																													
2	46																													
3	45																													
4	45																													
5	43																													
6	42																													
7	44																													
8	43																													
9	43																													
10	42																													
Promedio	43,7 HRC																													
Detalle Referencial																														
																														

4.2.6.15 Muestra de dureza 13.1D

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES																									
	DATOS INFORMATIVOS																									
Realizado por: Daniel Villegas		Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín																								
Fecha: 10/07/2013		Tipo de estudio: De laboratorio																								
Lugar: Laboratorio de materiales																										
Probeta: 13.1D 1 ^{er} Revenido Consecutivo a 426°C x 1h																										
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA																										
Método: Rockwell C, según Norma ASTM E-18:03																										
Tipo de penetrador: Cono de Diamante																										
Carga Aplicada: 1471 N																										
RESULTADO																										
Muestra 13.1D		Detalle Referencial																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nº Medición</th> <th>Dureza HRC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>40</td></tr> <tr><td>2</td><td>38</td></tr> <tr><td>3</td><td>37</td></tr> <tr><td>4</td><td>38</td></tr> <tr><td>5</td><td>38</td></tr> <tr><td>6</td><td>36</td></tr> <tr><td>7</td><td>35</td></tr> <tr><td>8</td><td>33</td></tr> <tr><td>9</td><td>34</td></tr> <tr><td>10</td><td>33</td></tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>36,2 HRC</td> </tr> </tbody> </table>	Nº Medición	Dureza HRC	1	40	2	38	3	37	4	38	5	38	6	36	7	35	8	33	9	34	10	33	Promedio	36,2 HRC		
Nº Medición	Dureza HRC																									
1	40																									
2	38																									
3	37																									
4	38																									
5	38																									
6	36																									
7	35																									
8	33																									
9	34																									
10	33																									
Promedio	36,2 HRC																									

4.2.6.16 Muestra de dureza 14.1D

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES																									
	DATOS INFORMATIVOS																									
Realizado por: Daniel Villegas		Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín																								
Fecha: 10/07/2013		Tipo de estudio: De laboratorio																								
Lugar: Laboratorio de materiales																										
Probeta: 14.1D 2 ^{do} Revenido Consecutivo a 426°C x 1h																										
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA																										
Método: Rockwell C, según Norma ASTM E-18:03																										
Tipo de penetrador: Cono de Diamante																										
Carga Aplicada: 1471 N																										
RESULTADO																										
Muestra 14.1D		Detalle Referencial																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nº Medición</th> <th>Dureza HRC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>34</td></tr> <tr><td>2</td><td>35</td></tr> <tr><td>3</td><td>34</td></tr> <tr><td>4</td><td>34</td></tr> <tr><td>5</td><td>33</td></tr> <tr><td>6</td><td>33</td></tr> <tr><td>7</td><td>32</td></tr> <tr><td>8</td><td>30</td></tr> <tr><td>9</td><td>32</td></tr> <tr><td>10</td><td>31</td></tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>32,8 HRC</td> </tr> </tbody> </table>	Nº Medición	Dureza HRC	1	34	2	35	3	34	4	34	5	33	6	33	7	32	8	30	9	32	10	31	Promedio	32,8 HRC		
Nº Medición	Dureza HRC																									
1	34																									
2	35																									
3	34																									
4	34																									
5	33																									
6	33																									
7	32																									
8	30																									
9	32																									
10	31																									
Promedio	32,8 HRC																									

4.2.6.17 Muestra de dureza 15.1D

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES																									
	DATOS INFORMATIVOS																									
Realizado por: Daniel Villegas		Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín																								
Fecha: 10/07/2013		Tipo de estudio: De laboratorio																								
Lugar: Laboratorio de materiales																										
Probeta: 15.1D 3 ^{er} Revenido Consecutivo a 426°C x 1h																										
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA																										
Método: Rockwell C, según Norma ASTM E-18:03																										
Tipo de penetrador: Cono de Diamante																										
Carga Aplicada: 1471 N																										
RESULTADO																										
Muestra 15.1D		Detalle Referencial																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nº Medición</th> <th>Dureza HRC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>30</td></tr> <tr><td>2</td><td>29</td></tr> <tr><td>3</td><td>30</td></tr> <tr><td>4</td><td>28</td></tr> <tr><td>5</td><td>30</td></tr> <tr><td>6</td><td>29</td></tr> <tr><td>7</td><td>28</td></tr> <tr><td>8</td><td>27</td></tr> <tr><td>9</td><td>29</td></tr> <tr><td>10</td><td>26</td></tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>28,6 HRC</td> </tr> </tbody> </table>	Nº Medición	Dureza HRC	1	30	2	29	3	30	4	28	5	30	6	29	7	28	8	27	9	29	10	26	Promedio	28,6 HRC		
Nº Medición	Dureza HRC																									
1	30																									
2	29																									
3	30																									
4	28																									
5	30																									
6	29																									
7	28																									
8	27																									
9	29																									
10	26																									
Promedio	28,6 HRC																									

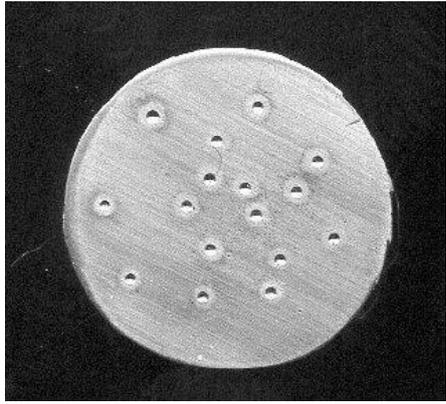
4.2.6.18 Muestra de dureza 16.1D

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES																										
	DATOS INFORMATIVOS																										
Realizado por: Daniel Villegas		Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín																									
Fecha: 10/07/2013		Tipo de estudio: De laboratorio																									
Lugar: Laboratorio de materiales																											
Probeta: 16.1D 1 ^{er} Revenido Consecutivo a 426°C x 2h																											
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA																											
Método: Rockwell C, según Norma ASTM E-18:03																											
Tipo de penetrador: Cono de Diamante																											
Carga Aplicada: 1471 N																											
RESULTADO																											
Muestra 16.1D		Detalle Referencial																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">N° Medición</th> <th style="width: 50%;">Dureza HRC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>35</td></tr> <tr><td>2</td><td>35</td></tr> <tr><td>3</td><td>34</td></tr> <tr><td>4</td><td>36</td></tr> <tr><td>5</td><td>36</td></tr> <tr><td>6</td><td>38</td></tr> <tr><td>7</td><td>34</td></tr> <tr><td>8</td><td>33</td></tr> <tr><td>9</td><td>34</td></tr> <tr><td>10</td><td>33</td></tr> <tr> <td style="text-align: center;">Promedio</td> <td style="text-align: center;">34,8 HRC</td> </tr> </tbody> </table>		N° Medición	Dureza HRC	1	35	2	35	3	34	4	36	5	36	6	38	7	34	8	33	9	34	10	33	Promedio	34,8 HRC		
N° Medición	Dureza HRC																										
1	35																										
2	35																										
3	34																										
4	36																										
5	36																										
6	38																										
7	34																										
8	33																										
9	34																										
10	33																										
Promedio	34,8 HRC																										

4.2.6.19 Muestra de dureza 17.1D

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES																									
	DATOS INFORMATIVOS																									
Realizado por: Daniel Villegas		Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín																								
Fecha: 10/07/2013		Tipo de estudio: De laboratorio																								
Lugar: Laboratorio de materiales																										
Probeta: 17.1D 2 ^{do} Revenido Consecutivo a 426°C x 2h																										
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA																										
Método: Rockwell C, según Norma ASTM E-18:03																										
Tipo de penetrador: Cono de Diamante																										
Carga Aplicada: 1471 N																										
RESULTADO																										
Muestra 17.1D		Detalle Referencial																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nº Medición</th> <th>Dureza HRC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>32</td></tr> <tr><td>2</td><td>31</td></tr> <tr><td>3</td><td>30</td></tr> <tr><td>4</td><td>30</td></tr> <tr><td>5</td><td>31</td></tr> <tr><td>6</td><td>30</td></tr> <tr><td>7</td><td>30</td></tr> <tr><td>8</td><td>31</td></tr> <tr><td>9</td><td>32</td></tr> <tr><td>10</td><td>30</td></tr> <tr> <td>Promedio</td> <td>30,7 HRC</td> </tr> </tbody> </table>	Nº Medición	Dureza HRC	1	32	2	31	3	30	4	30	5	31	6	30	7	30	8	31	9	32	10	30	Promedio	30,7 HRC		
Nº Medición	Dureza HRC																									
1	32																									
2	31																									
3	30																									
4	30																									
5	31																									
6	30																									
7	30																									
8	31																									
9	32																									
10	30																									
Promedio	30,7 HRC																									

4.2.6.20 Muestra de dureza 18.1D

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES																											
	DATOS INFORMATIVOS																											
Realizado por: Daniel Villegas	Supervisado por: Ing. Mg. Segundo Espín																											
Fecha: 10/07/2013	Tipo de estudio: De laboratorio																											
Lugar: Laboratorio de materiales																												
Probeta: 18.1D 3 ^{er} Revenido Consecutivo a 426°C x 2h																												
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE DUREZA																												
Método: Rockwell C, según Norma ASTM E-18:03																												
Tipo de penetrador: Cono de Diamante																												
Carga Aplicada: 1471 N																												
RESULTADO																												
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2" data-bbox="485 943 692 976">Muestra 18.1D</th> </tr> <tr> <th data-bbox="384 981 587 1014">Nº Medición</th> <th data-bbox="603 981 794 1014">Dureza HRC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td data-bbox="469 1025 485 1059">1</td><td data-bbox="683 1025 715 1059">30</td></tr> <tr><td data-bbox="469 1070 485 1104">2</td><td data-bbox="683 1070 715 1104">27</td></tr> <tr><td data-bbox="469 1115 485 1149">3</td><td data-bbox="683 1115 715 1149">29</td></tr> <tr><td data-bbox="469 1160 485 1193">4</td><td data-bbox="683 1160 715 1193">28</td></tr> <tr><td data-bbox="469 1205 485 1238">5</td><td data-bbox="683 1205 715 1238">28</td></tr> <tr><td data-bbox="469 1249 485 1283">6</td><td data-bbox="683 1249 715 1283">27</td></tr> <tr><td data-bbox="469 1294 485 1328">7</td><td data-bbox="683 1294 715 1328">29</td></tr> <tr><td data-bbox="469 1339 485 1373">8</td><td data-bbox="683 1339 715 1373">23</td></tr> <tr><td data-bbox="469 1384 485 1417">9</td><td data-bbox="683 1384 715 1417">26</td></tr> <tr><td data-bbox="469 1429 485 1462">10</td><td data-bbox="683 1429 715 1462">28</td></tr> <tr> <td data-bbox="405 1440 549 1473">Promedio</td> <td data-bbox="628 1440 772 1473">27,5 HRC</td> </tr> </tbody> </table>		Muestra 18.1D		Nº Medición	Dureza HRC	1	30	2	27	3	29	4	28	5	28	6	27	7	29	8	23	9	26	10	28	Promedio	27,5 HRC	Detalle Referencial
Muestra 18.1D																												
Nº Medición	Dureza HRC																											
1	30																											
2	27																											
3	29																											
4	28																											
5	28																											
6	27																											
7	29																											
8	23																											
9	26																											
10	28																											
Promedio	27,5 HRC																											
																												

4.3 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.3.1 Interpretación de los resultados del ensayo de tracción

Tabla 4.2. Resultado del ensayo de tracción aplicado a las probetas del revenido consecutivo a 100°C durante 1 hora de permanencia.

	Primer Revenido	Segundo Revenido	Tercer Revenido
	Promedio	Promedio	Promedio
Módulo elasticidad	203,82 GPa	203,91 GPa	203,68 GPa
R. a la Tracción	862,59 MPa	864,07 MPa	860,67 MPa
R. a la cedencia	629,11 MPa	634,85 MPa	613,06 MPa
% de elongación	12,72%	13,37%	13,71%
% Reducción de área	41,74%	44,00%	44,95%

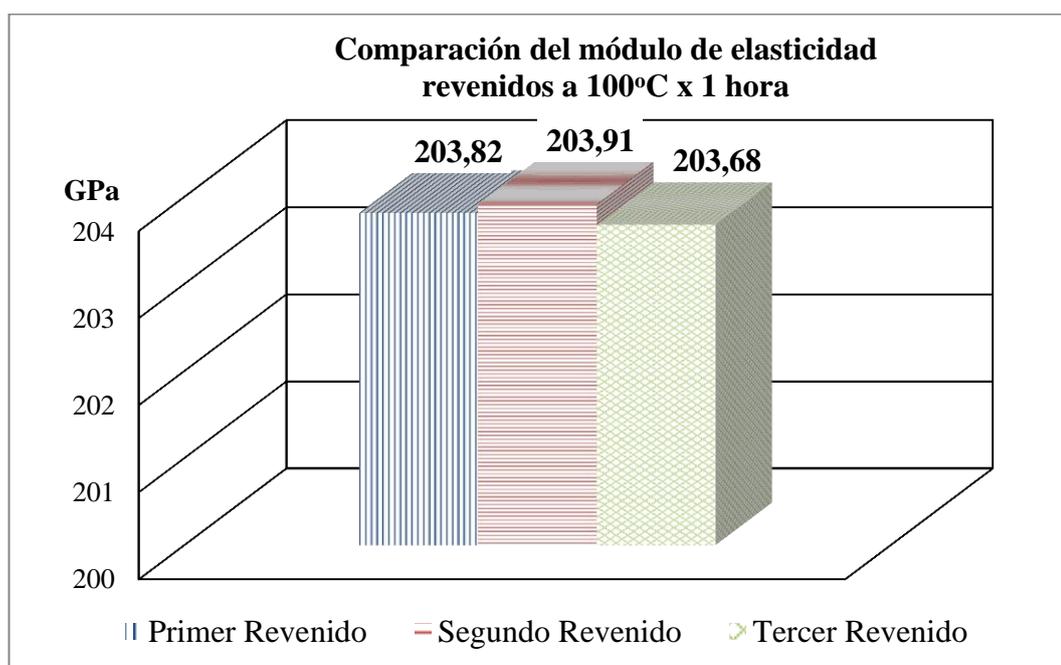


Figura 4.1: Comparación del módulo de elasticidad del revenido consecutivo a 100°C durante 1 hora de permanencia

Fuente: Autor

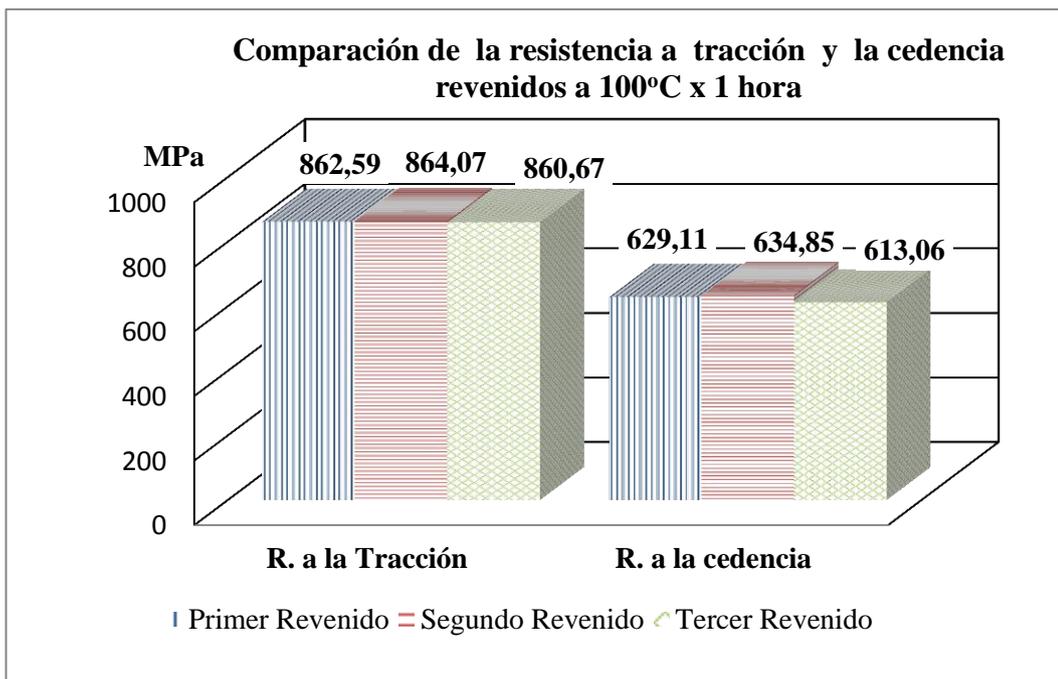


Figura 4.2: Comparación de la resistencia a tracción y a la cedencia del revenido consecutivo a 100°C durante 1 hora de permanencia

Fuente: Autor

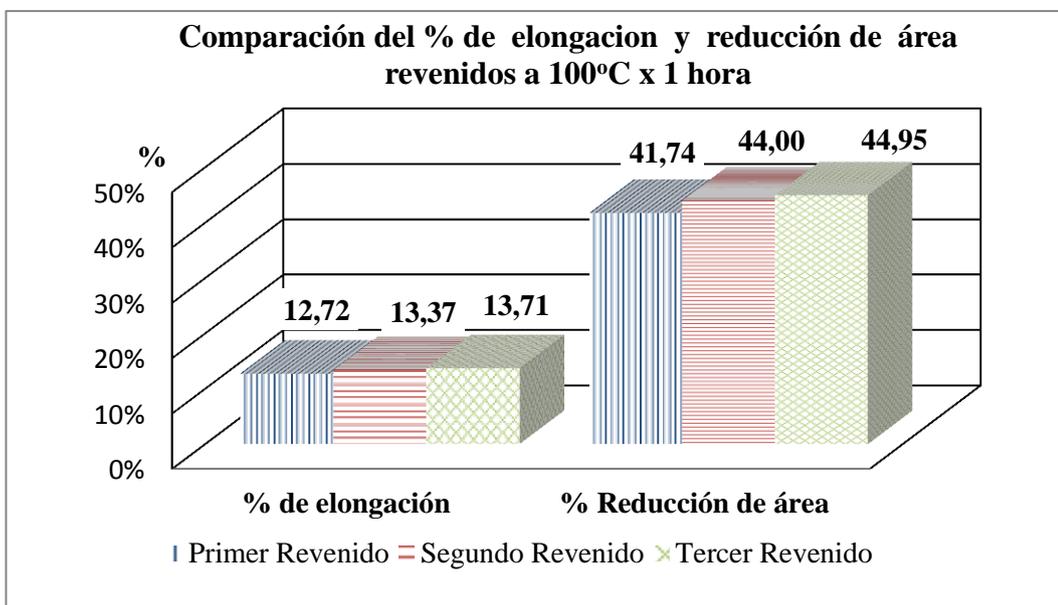


Figura 4.3: Comparación del % de elongación y % de reducción de área del revenido consecutivo a 100°C durante 1 hora de permanencia

Fuente: Autor

En figura 4.1 se puede observar los valores del módulo de elasticidad realizado el tratamiento térmico de revenidos consecutivos a 100°C durante una hora de permanencia en el horno y en comparación al primer revenido consecutivo se produce un ligero incremento del módulo con un valor de 203,91GPa perteneciente al segundo revenido consecutivo, luego este valor desciende para un tercer revenido con un valor de 203,68 GPa.

En figura 4.2 se puede observar que al ser realizado el segundo revenido consecutivo con una temperatura de 100°C durante una hora de permanencia en el horno se da un incremento de la resistencia a tracción siendo este de 864,07 MPa y de igual manera ocurre con su resistencia a la cedencia de 634,85 MPa. Pero al ser realizado un tercer revenido consecutivo ha descendido tanto la fluencia como la resistencia a tracción presentando valores de 613,06 y 860,67 MPa respectivamente.

En la figura 4.3 se compara los valores de ductilidad y reducción de área del tratamiento térmico de revenidos a 100°C para una hora de permanencia en el horno, de los cuales se obtuvo incremento al pasar del primer revenido consecutivo al segundo revenido consecutivo siendo este de 13,37 % de alargamiento con un 44 % de reducción de área. Y el mismo efecto ocurre para un tercer revenido consecutivo al darnos 13,71 % de alargamiento y 44,95 % de reducción de área. Es decir se presenta un aumento por parte de los dos valores al ser aplicados revenidos consecutivos.

Tabla 4.3. Resultado del ensayo de tracción aplicado a las probetas del revenido consecutivo a 100°C durante 2 horas de permanencia.

	Revenidos a 100oC x 2 horas		
	Primer Revenido	Segundo Revenido	Tercer Revenido
	Promedio	Promedio	Promedio
Módulo elasticidad	203,94 GPa	204,11 GPa	203,92 GPa
R. a la Tracción	855,31 MPa	857,28 MPa	847,89 MPa
R. a la cedencia	607,88 MPa	609,63 MPa	601,30 MPa
% de elongación	14,03%	15,03%	15,42%
% Reducción de área	45,06%	48,76%	49,73%

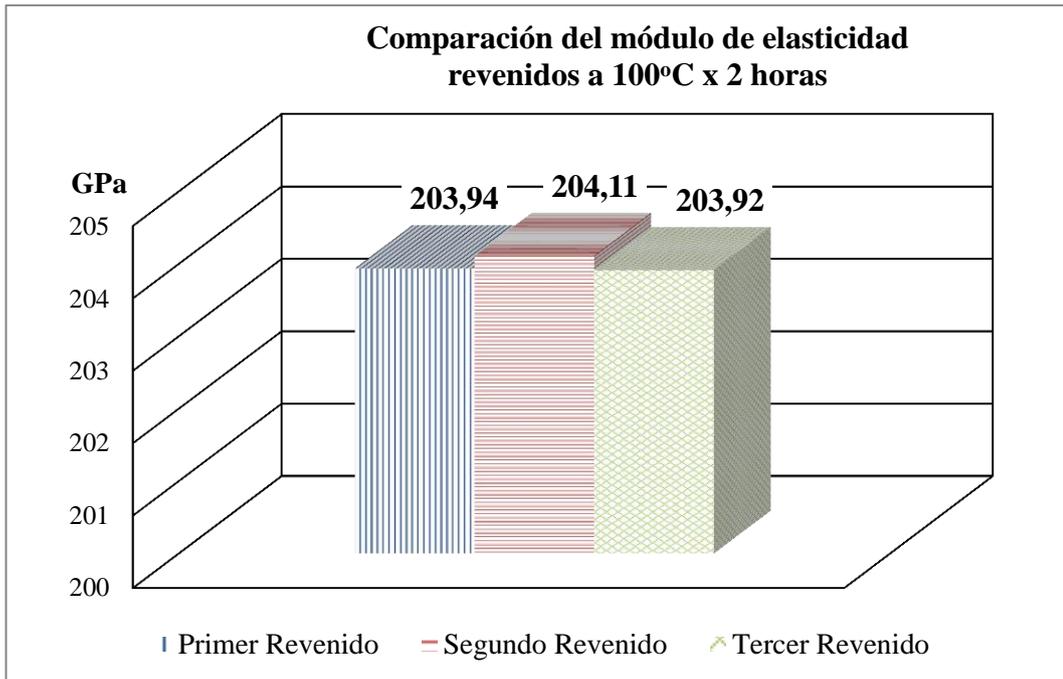


Figura 4.4: Comparación del módulo de elasticidad del revenido consecutivo a 100°C durante 2 horas de permanencia

Fuente: Autor

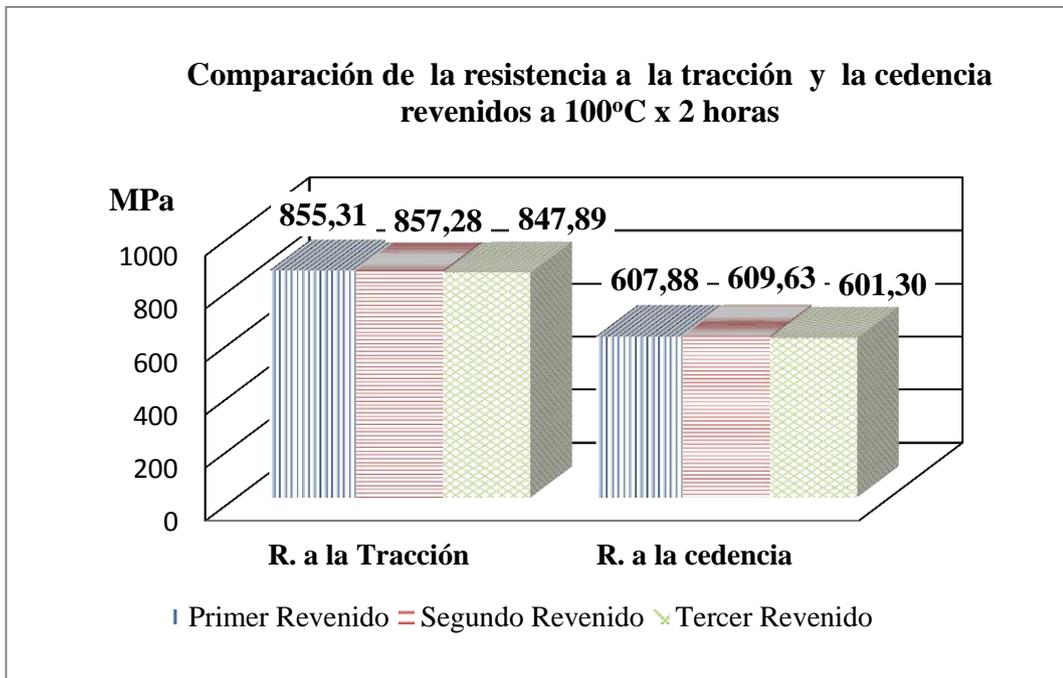


Figura 4.5: Comparación de la resistencia a tracción y a la cedencia del revenido consecutivo a 100°C durante 2 horas de permanencia

Fuente: Autor

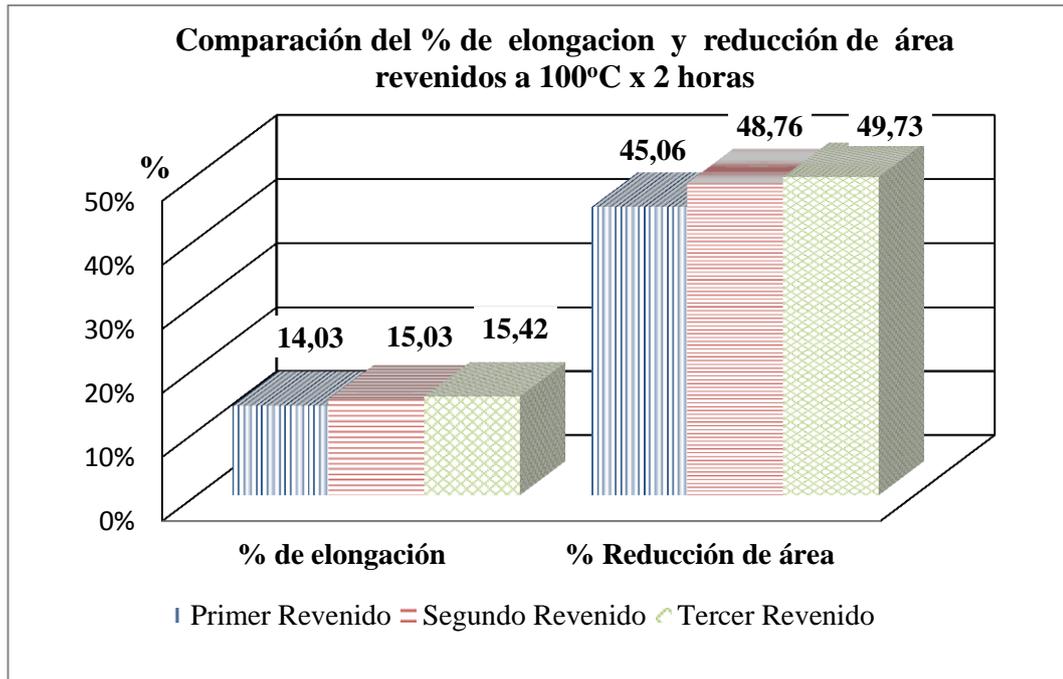


Figura 4.6: Comparación del % de elongación y % de reducción de área del revenido consecutivo a 100°C durante 2 horas de permanencia.

Fuente: Autor

En figura 4.4 se puede observar los valores del módulo de elasticidad realizado el tratamiento térmico de revenidos consecutivos a 100°C durante dos horas de permanencia en el horno y en comparación al primer revenido consecutivo se produce aumento del valor del módulo de elasticidad pasándose de 203,94 a 204,11 GPa para un segundo revenido consecutivo, luego este valor desciende para un tercer revenido con un valor de 203,92 GPa.

En figura 4.5 se exponen los valores obtenidos de la resistencia a tracción y la resistencia a la cedencia para revenidos consecutivos a 100°C durante dos horas de permanencia, donde se puede observar que al ser realizado el segundo revenido consecutivo se produce un incremento de la resistencia a tracción siendo este de 857,28 MPa y de igual manera ocurre con su resistencia a la cedencia de 609,63 MPa. Lo cual no ocurre para un tercer revenido consecutivo al haber descendido tanto la fluencia como la resistencia a tracción presentando valores de 601,30 y 847,89 MPa respectivamente, siendo estos los valores mínimos obtenidos a las condiciones de este tratamiento térmico.

En la figura 4.6 se compara los valores de ductilidad y reducción de área del tratamiento térmico de revenido a 100°C para dos horas de permanencia en el horno, de los cuales se obtuvo incremento al pasar del primer revenido consecutivo al segundo revenido consecutivo siendo este de 15,03 % de alargamiento con un 48,76 % de reducción de área. Para un tercer revenido consecutivo de igual manera estos valores incrementan al darnos 15,42 % de alargamiento y 49,73 % de reducción de área. En este caso también se presenta un aumento por parte de los dos valores al ser llevados a un segundo y tercer revenido consecutivo.

Tabla 4.4. Resultado del ensayo de tracción aplicado a las probetas del revenido consecutivo a 200°C durante 1 hora de permanencia.

	Primer Revenido	Segundo Revenido	Tercer Revenido
	Promedio	Promedio	Promedio
Módulo elasticidad	204,30 GPa	204,56 GPa	204,26 GPa
R. a la Tracción	838,70 MPa	839,26 MPa	826,68 MPa
R. a la cedencia	567,28 MPa	578,94 MPa	546,06 MPa
% de elongación	15,94%	16,08%	16,12%
% Reducción de área	50,14%	50,61%	50,78%

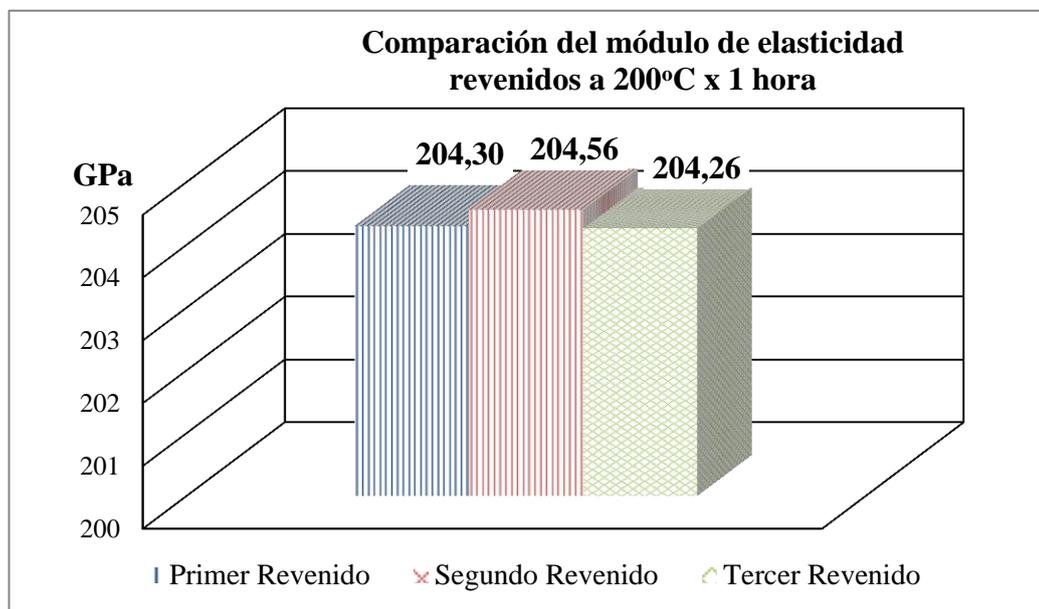


Figura 4.7: Comparación del módulo de elasticidad del revenido consecutivo a 200°C durante 1 hora de permanencia

Fuente: Autor

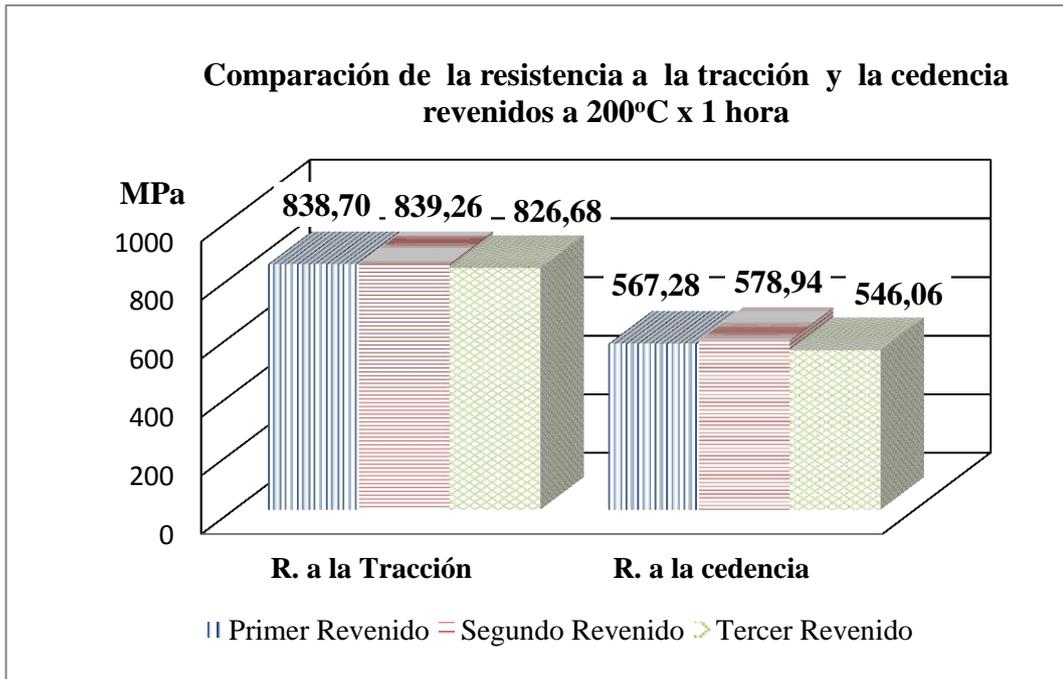


Figura 4.8: Comparación de la resistencia a tracción y a la cedencia del revenido consecutivo a 100°C durante 2 horas de permanencia

Fuente: Autor

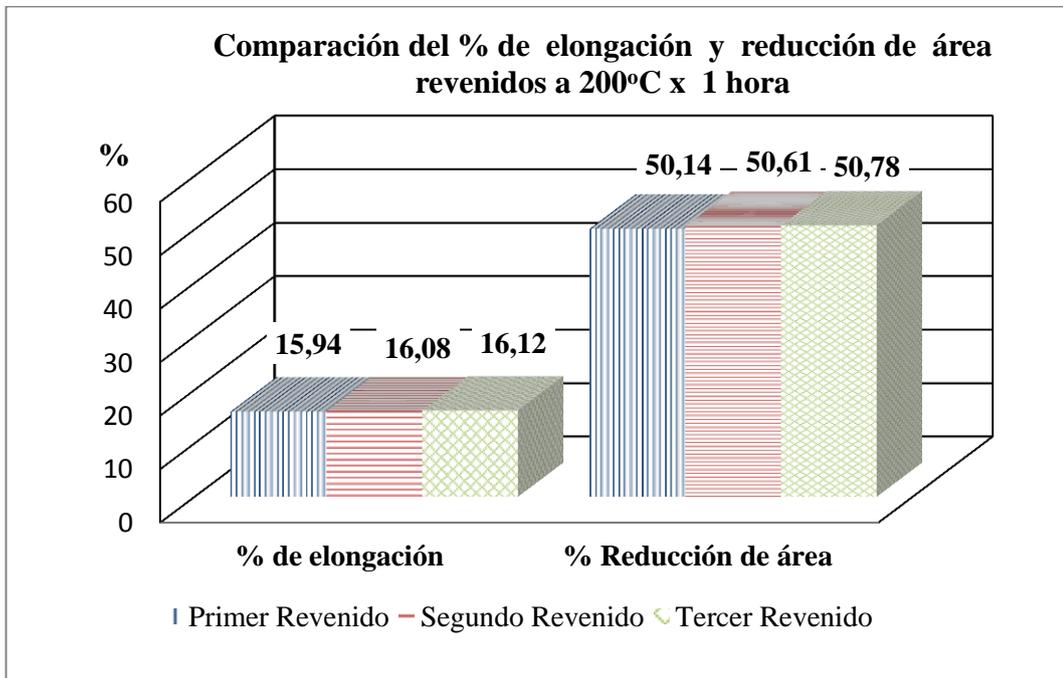


Figura 4.9: Comparación del % de elongación y % de reducción de área del revenido consecutivo a 200°C durante 1 hora de permanencia

Fuente: Autor

En figura 4.7 se puede observar los valores del módulo de elasticidad realizado el tratamiento térmico de revenidos consecutivos a 200°C durante una hora de permanencia en el horno y en comparación al primer revenido consecutivo se produce aumento del valor del módulo de elasticidad pasándose de 204,3 a 204,56 GPa para un segundo revenido consecutivo, luego este valor desciende para un tercer revenido con un valor de 204,26 GPa.

En figura 4.8 se exponen los valores obtenidos de la resistencia a tracción y la resistencia a la cedencia para revenidos consecutivos a 200°C durante 1 hora de permanencia donde se puede observar que la resistencia a tracción al ser llevada a un segundo revenido consecutivo se produce un incremento dando un valor de 839,26 MPa y con una su resistencia a la cedencia de 578,94 MPa. Y estos valores caen para un tercer revenido consecutivo tanto la fluencia como la resistencia a tracción con valores de 546,06 y 826,68 MPa respectivamente.

En la figura 4.9 se compara los valores de ductilidad y reducción de área del tratamiento térmico de revenido consecutivo a 200°C para 1 hora de permanencia en el horno, de los cuales se obtuvo incremento al pasar del primer revenido consecutivo al segundo revenido consecutivo y de este al tercer revenido consecutivo. Presentándose en este último caso tanto en el alargamiento como en su reducción de área los valores máximos de 16,12% de ductilidad y 50,78% de reducción de área.

Tabla 4.5. Resultado del ensayo de tracción aplicado a las probetas del revenido consecutivo a 200°C durante 2 horas de permanencia.

	Primer Revenido	Segundo Revenido	Tercer Revenido
	Promedio	Promedio	Promedio
Módulo elasticidad	205,07 GPa	205,26 GPa	205,41 GPa
R. a la Tracción	823,41 MPa	820,42 MPa	811,36 MPa
R. a la cedencia	542,70 MPa	540,43 MPa	537,80 MPa
% de elongación	16,21%	17,17%	17,26%
% Reducción de área	51,20%	51,49%	51,70%

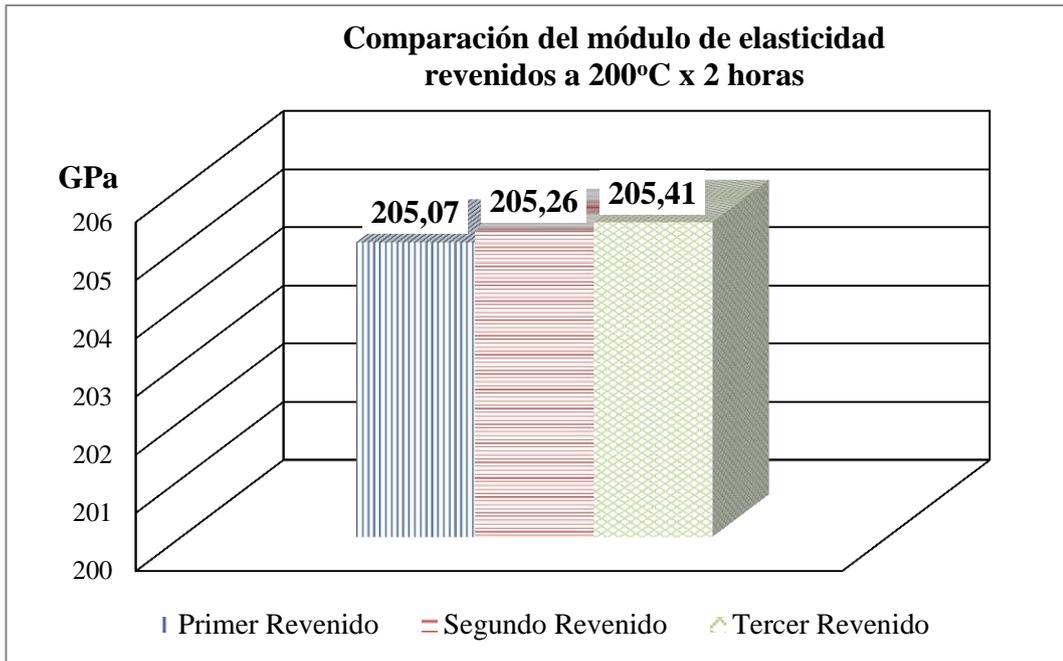


Figura 4.10: Comparación del módulo de elasticidad del revenido consecutivo a 200°C durante 2 horas de permanencia

Fuente: Autor

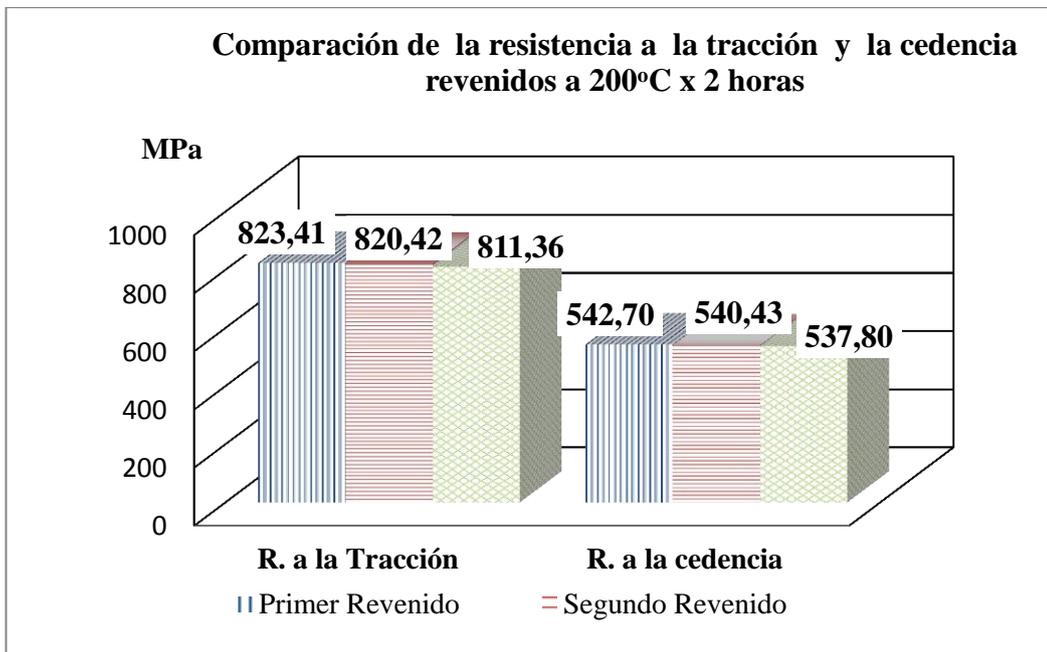


Figura 4.11: Comparación de la resistencia a tracción y a la cedencia del revenido consecutivo a 200°C durante 2 horas de permanencia

Fuente: Autor

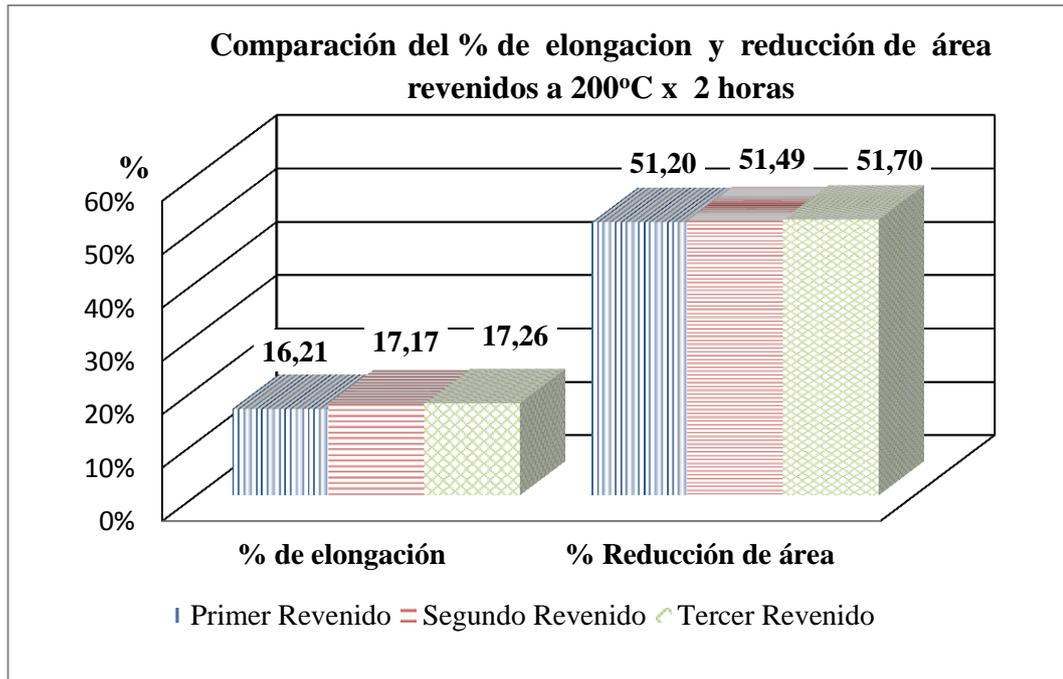


Figura 4.12: Comparación del % de elongación y % de reducción de área del revenido consecutivo a 200°C durante 2 horas de permanencia

Fuente: Autor

En figura 4.10 se puede observar los valores del módulo de elasticidad realizado el tratamiento térmico de revenidos consecutivos a 200°C durante dos horas de permanencia en el horno y en comparación al primer revenido consecutivo se produce aumento del valor del módulo de elasticidad pasándose de 205,07 a 205,26 GPa para un segundo revenido consecutivo y a diferencia de los otros casos analizados para un tercer revenido consecutivo, en este se da un incremento del módulo de elasticidad al dar un valor de 205,41 GPa.

En figura 4.11 se exponen los valores obtenidos de la resistencia a tracción y la resistencia a la cedencia para revenidos consecutivos a 200°C durante 2 horas de permanencia donde se puede observar que la resistencia a tracción al ser llevado a un segundo revenido consecutivo se produce un descenso, dando un valor de 820,42 MPa y con una su resistencia a la cedencia de 540,43 MPa. Y de igual manera desciende para un tercer revenido consecutivo tanto la fluencia como la resistencia a tracción al obtener valores de 537,80 y 811,36 MPa respectivamente.

En la figura 4.12 se compara los valores de ductilidad y reducción de área del tratamiento térmico de revenido consecutivo a 200°C para 2 horas de permanencia en el horno, de los cuales se obtuvo incremento al pasar del primer revenido consecutivo al segundo revenido consecutivo y de este al tercer revenido consecutivo. Presentándose en este último caso tanto en el alargamiento como en su reducción de área los valores de 17,26% de ductilidad y 51,7% de reducción de área. Es decir que el alargamiento con la reducción de área están relacionados.

Tabla 4.6. Resultado del ensayo de tracción aplicado a las probetas del revenido consecutivo a 426°C durante 1 hora de permanencia.

	Primer Revenido	Segundo Revenido	Tercer Revenido
	Promedio	Promedio	Promedio
Módulo elasticidad	206,55 GPa	206,79 GPa	207,03 GPa
R. a la Tracción	740,36 MPa	732,18 MPa	728,16 MPa
R. a la cedencia	483,70 MPa	479,07 MPa	470,48 MPa
% de elongación	17,39%	18,64%	19,42%
% Reducción de área	52,09%	53,06%	53,96%

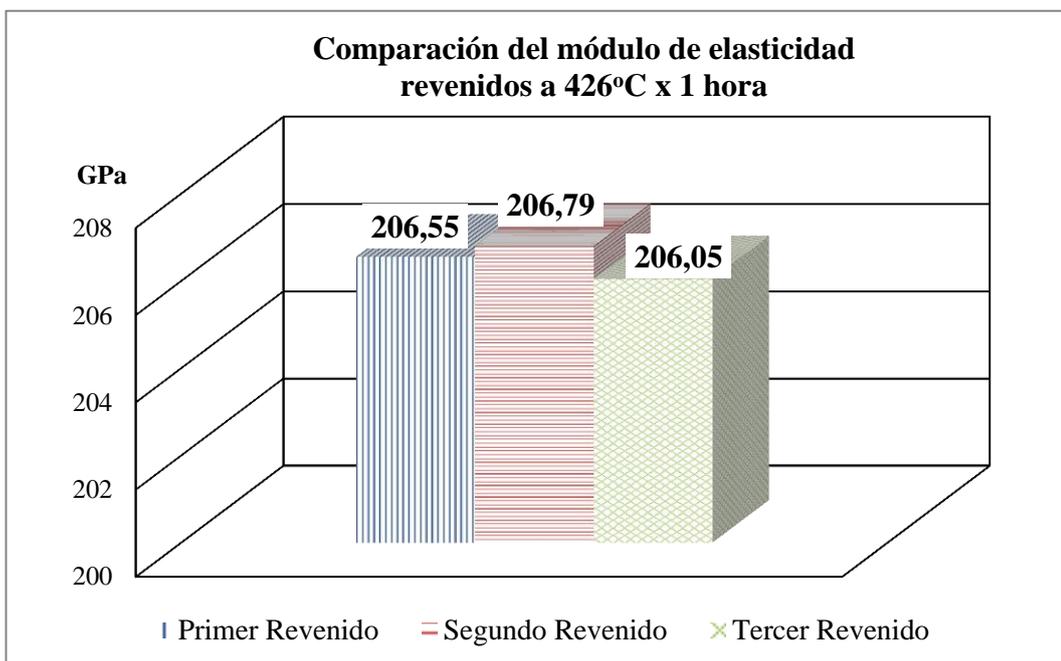


Figura 4.13: Comparación del módulo de elasticidad del revenido consecutivo a 426°C durante 1 hora de permanencia

Fuente: Autor

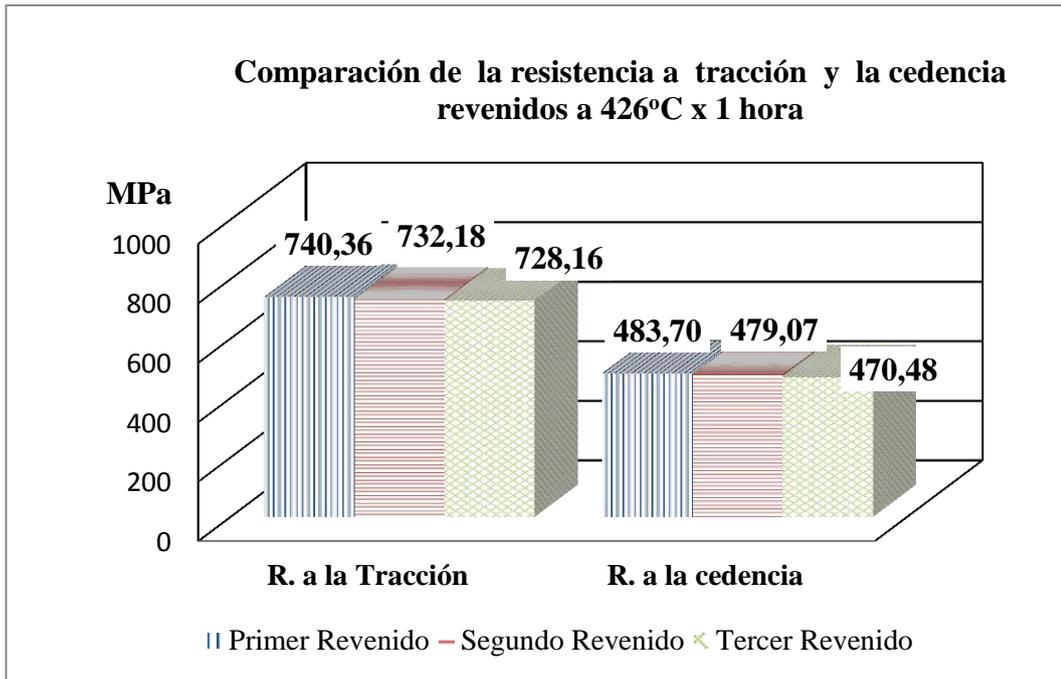


Figura 4.14: Comparación de la resistencia a tracción y a la cedencia del revenido consecutivo a 200°C durante 2 horas de permanencia

Fuente: Autor

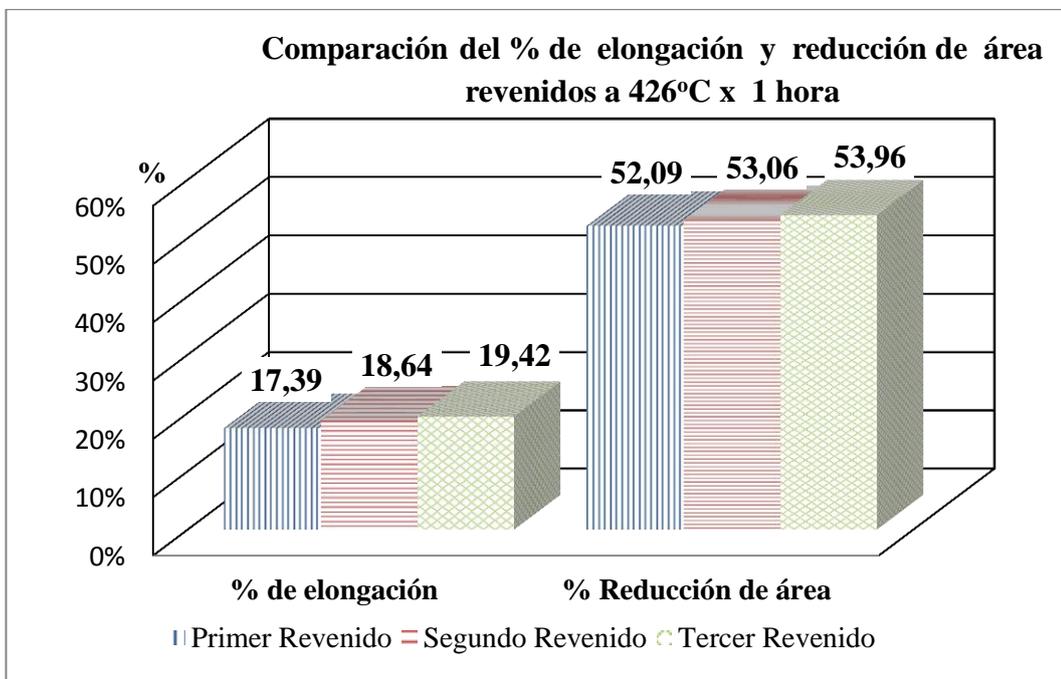


Figura 4.15: Comparación del % de elongación y % de reducción de área del revenido consecutivo a 200°C durante 2 horas de permanencia

Fuente: Autor

En figura 4.13 se puede observar los valores del módulo de elasticidad realizado el tratamiento térmico de revenidos consecutivos a 426°C durante una hora de permanencia en el horno y en comparación al primer revenido consecutivo se produce aumento del valor del módulo de elasticidad pasándose de 206,55 a 206,79 GPa para un segundo revenido consecutivo. Y para un tercer revenido consecutivo, el módulo de elasticidad reduce su valor al dar de 206,05 GPa.

En figura 4.14 se presentan los valores obtenidos de la resistencia a tracción y la resistencia a la cedencia para revenidos consecutivos a 426°C durante 1 hora de permanencia donde se puede observar que resistencia a tracción del primer revenido al ser llevado a un segundo revenido consecutivo se produce un decremento, dando un valor de 732,18 MPa y con una su resistencia a la cedencia de 479,07 MPa. Y de igual manera desciende para un tercer revenido consecutivo tanto la fluencia como la resistencia a tracción presentando valores de 470,48 y 728,16 MPa respectivamente.

En la figura 4.15 se compara los valores de ductilidad y reducción de área del tratamiento térmico de revenido consecutivo a 426°C para 1 hora de permanencia en el horno, de los cuales se obtuvo incremento al pasar del primer revenido consecutivo al segundo revenido consecutivo y de este al tercer revenido consecutivo. Presentándose en este último caso tanto en el alargamiento como en su reducción de área los valores máximos de 19,42% de ductilidad y 53,96% de reducción de área.

Tabla 4.7. Resultado del ensayo de tracción aplicado a las probetas del revenido consecutivo a 426°C durante 2 horas de permanencia

	Primer Revenido	Segundo Revenido	Tercer Revenido
	Promedio	Promedio	Promedio
Módulo elasticidad	207,50 GPa	207,67 GPa	207,85 GPa
R. a la Tracción	720,89 MPa	700,16 MPa	677,94 MPa
R. a la cedencia	460,44 MPa	441,93 MPa	425,44 MPa
% de elongación	20,56%	21,43%	23,40%
% Reducción de área	54,28%	61,75%	63,18%

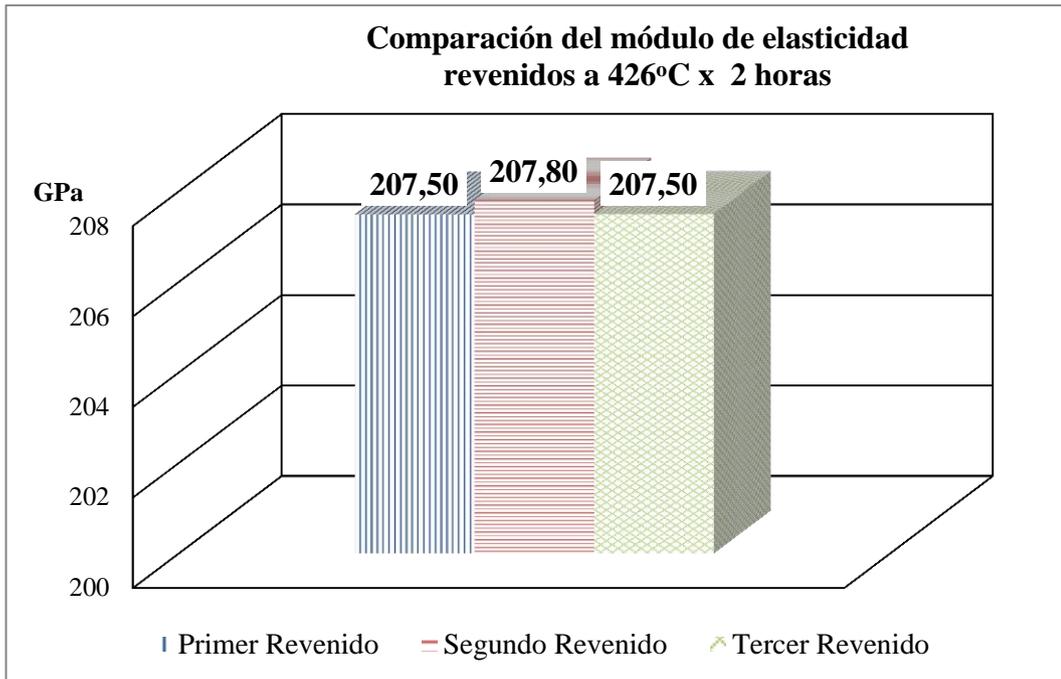


Figura 4.16: Comparación del módulo de elasticidad del revenido consecutivo a 426°C durante 1 hora de permanencia

Fuente: Autor

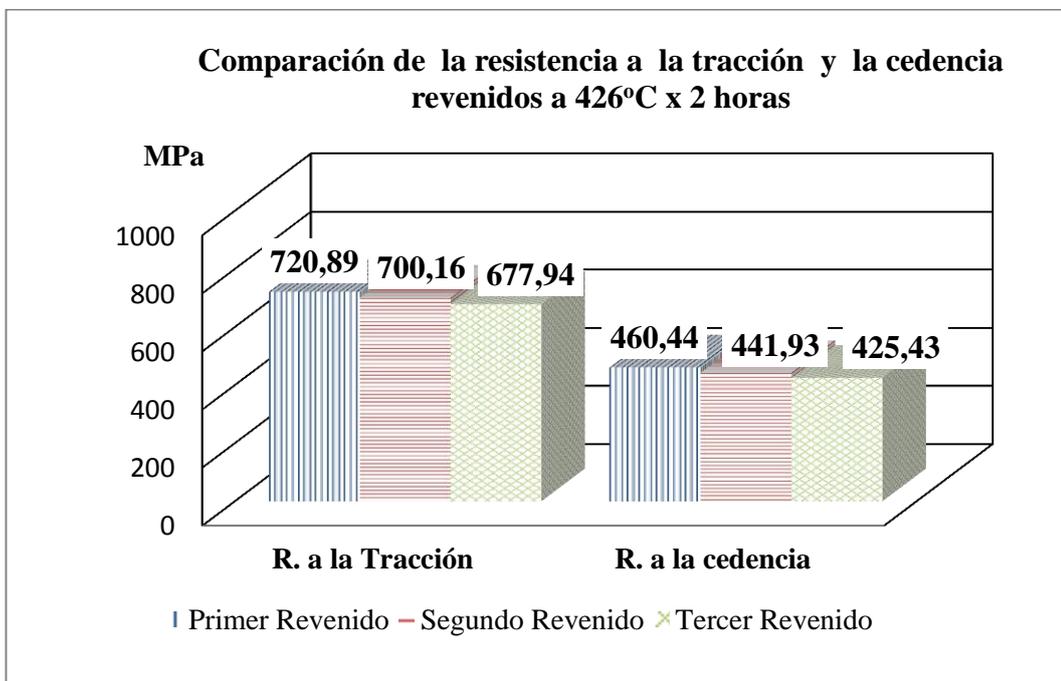


Figura 4.17: Comparación de la resistencia a tracción y a la cedencia del revenido consecutivo a 426°C durante 2 horas de permanencia

Fuente: Autor

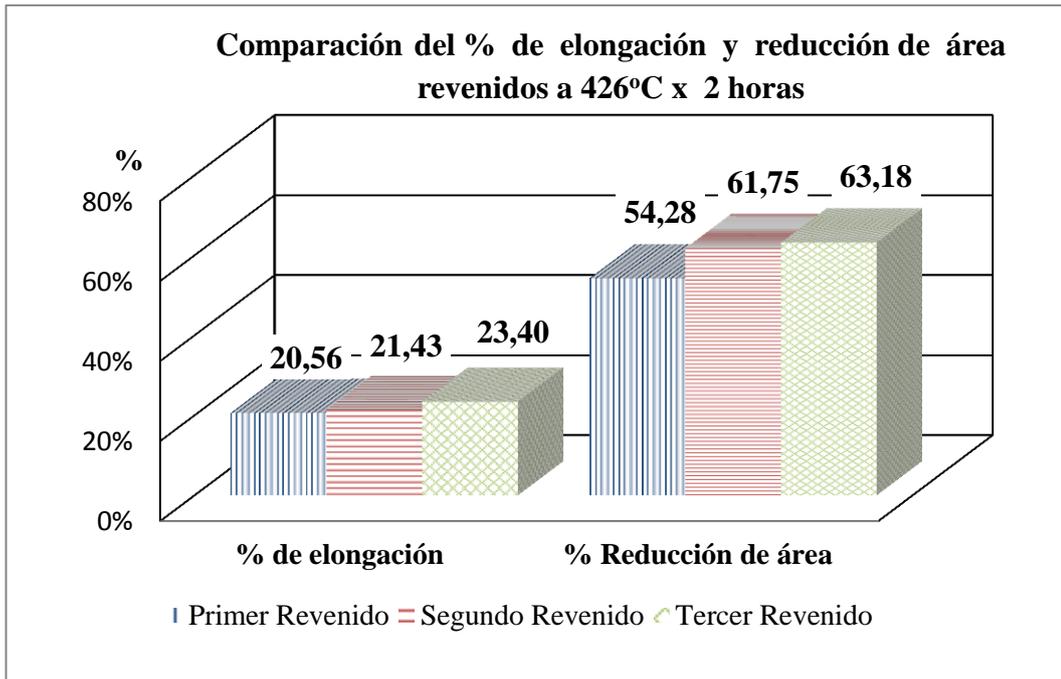


Figura 4.18: Comparación del % de elongación y % de reducción de área del revenido consecutivo a 426°C durante 2 horas de permanencia

Fuente: Autor

En figura 4.16 se puede observar los valores del módulo de elasticidad realizado el tratamiento térmico de revenidos consecutivos a 426°C durante dos horas de permanencia en el horno y en comparación al primer revenido consecutivo se produce aumento del valor del módulo de elasticidad pasándose de 207,50 a 207,80 GPa perteneciente al segundo revenido consecutivo. Y para un tercer revenido consecutivo, el módulo de elasticidad reduce su valor al dar de 207,50 GPa.

En figura 4.17 se presentan los valores obtenidos de la resistencia a tracción y la resistencia a la cedencia para revenidos consecutivos a 426°C durante 2 horas de permanencia donde se puede observar que resistencia a tracción del primer revenido al ser llevado a un segundo revenido consecutivo desciende, dando un valor de 700,16 MPa y con una su resistencia a la cedencia de 441,93 MPa. Y el mismo efecto se genera para un tercer revenido consecutivo tanto en la fluencia como en la resistencia a tracción al presentar valores de 425,43 y 667,94 MPa respectivamente.

En la figura 4.18 se compara los valores de ductilidad y reducción de área del tratamiento térmico de revenido consecutivo a 426°C para dos horas de permanencia en el horno, de los cuales se obtuvo incremento al pasar del primer revenido consecutivo al segundo revenido consecutivo y de este al tercer revenido consecutivo. Este último caso tanto muestra que el alargamiento como en su reducción de área son los valores máximos como se puede apreciar en la figura con valores de 23,40 % de alargamiento y 63,18% de reducción de área.

A continuación se presentaran las comparaciones entre 1 y 2 horas de permanencia en el horno de los valores obtenidos del ensayo de tracción como son el módulo de elasticidad, la resistencia a la tracción, la resistencia a la cedencia, la ductilidad y la reducción de área, para para cada una las temperaturas establecidas en este estudio de 100°C, 200°C y 426°C.

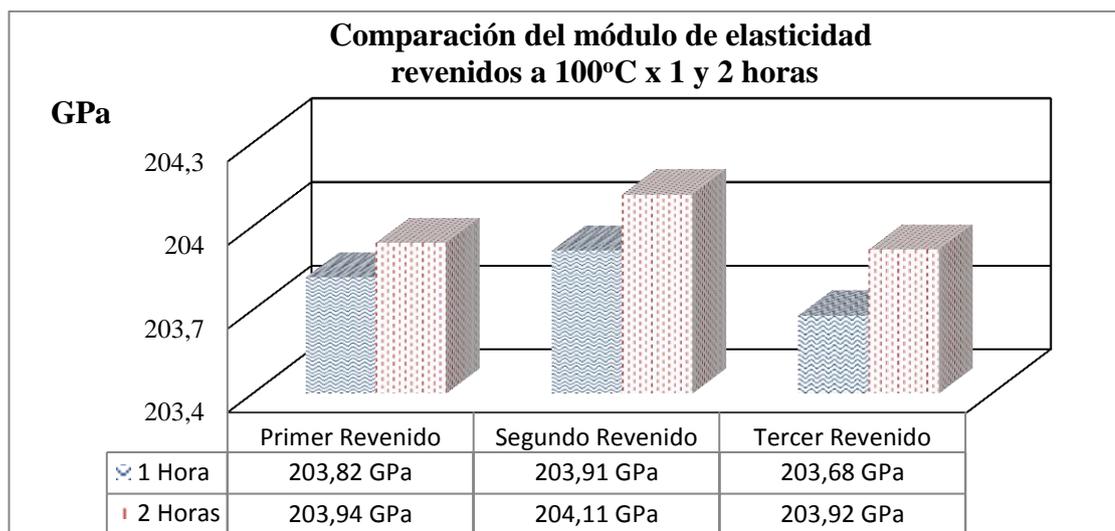


Figura 4.19: Comparación del módulo de elasticidad entre revenidos consecutivos a 100°C durante 1 y 2 horas de permanencia.

Fuente: Autor

Como se puede ver en la figura 4.19 los valores del módulo de elasticidad para los todos revenidos a dos horas de permanencia son mayores en comparación a los revenidos realizados por una hora a la temperatura de 100°C, del cual se puede decir que el valor máximo obtenido es de 204,11 GPa perteneciente a un segundo revenido consecutivo durante 2 horas de permanencia en el horno.

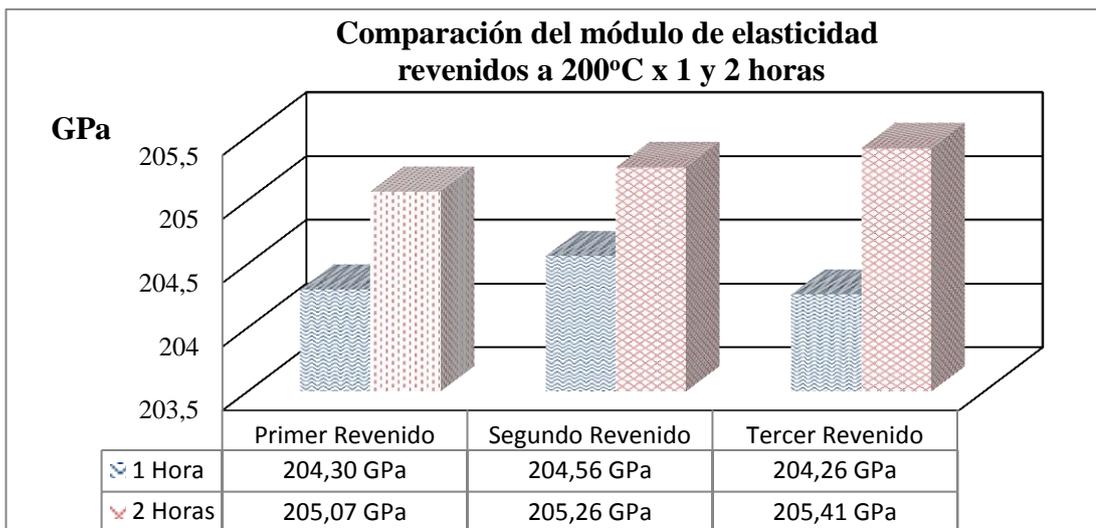


Figura 4.20: Comparación del módulo de elasticidad entre revenidos consecutivos a 200°C durante 1 y 2 horas de permanencia.

Fuente: Autor

En la Figura 4.20 se puede apreciar el primero, segundo y tercer revenido consecutivo con el aumento del tiempo de permanencia a dos horas en el horno a la temperatura de 200°C, tienen valores mayores al comparar con los revenidos realizados a una hora, observándose que el valor máximo es de 205,41 GPa.

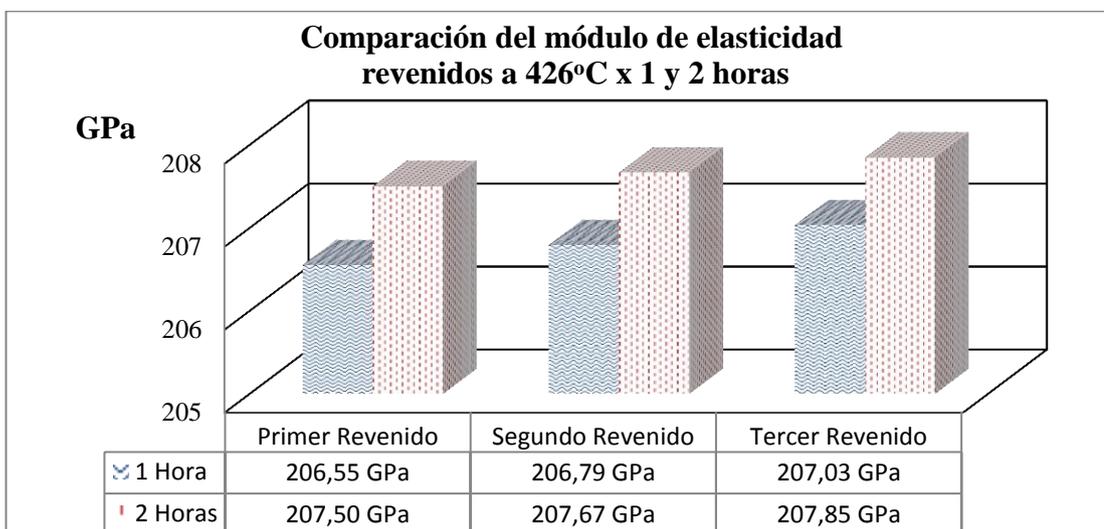


Figura 4.21: Comparación del módulo de elasticidad entre revenidos consecutivos a 426°C durante 1 y 2 horas de permanencia.

Fuente: Autor

En la figura 4.21 se puede observar que los revenidos consecutivos pertenecientes a dos horas de permanencia con una temperatura de 426°C poseen valores más altos en comparación a los otros revenidos que fueron realizados solamente una hora de permanencia a la misma temperatura. Con el incremento del tiempo a dos se dió un valor de 207,85 GPa siendo este el más alto.

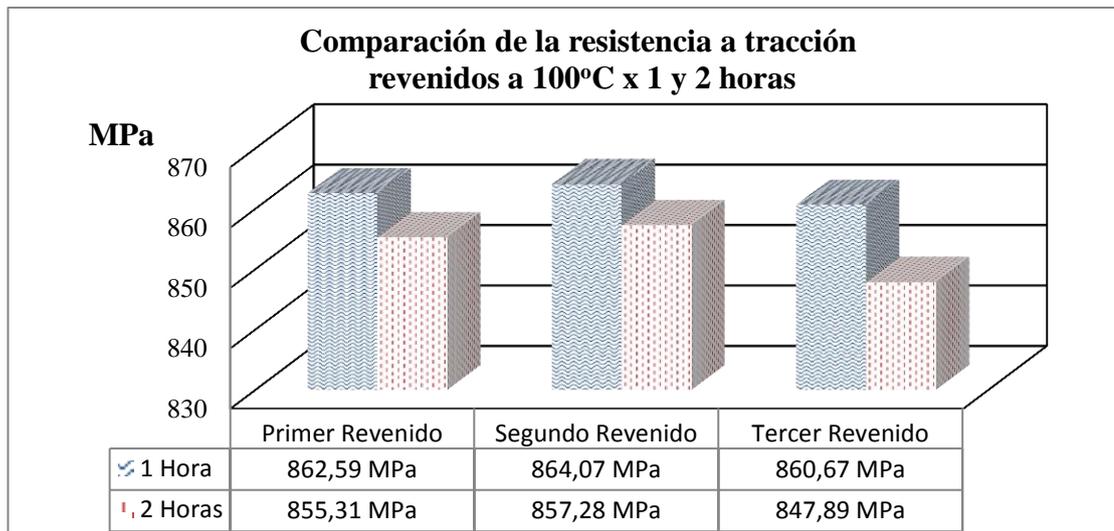


Figura 4.22: Comparación de la resistencia a tracción entre revenidos consecutivos a 100°C durante 1 y 2 horas de permanencia.

Fuente: Autor

En Figura 4.22 se puede observar que la resistencia a tracción de los revenidos consecutivos a dos horas de permanencia a 100°C son valores inferiores en comparación a los revenidos consecutivos realizados a tan solo una hora de permanencia en el horno, es decir que la resistencia a tracción se ve afectada por el aumento del tiempo permanencia en horno. Pudiéndose desacatar como valor máximo el de 864,07 MPa propio del segundo revenido por una hora.

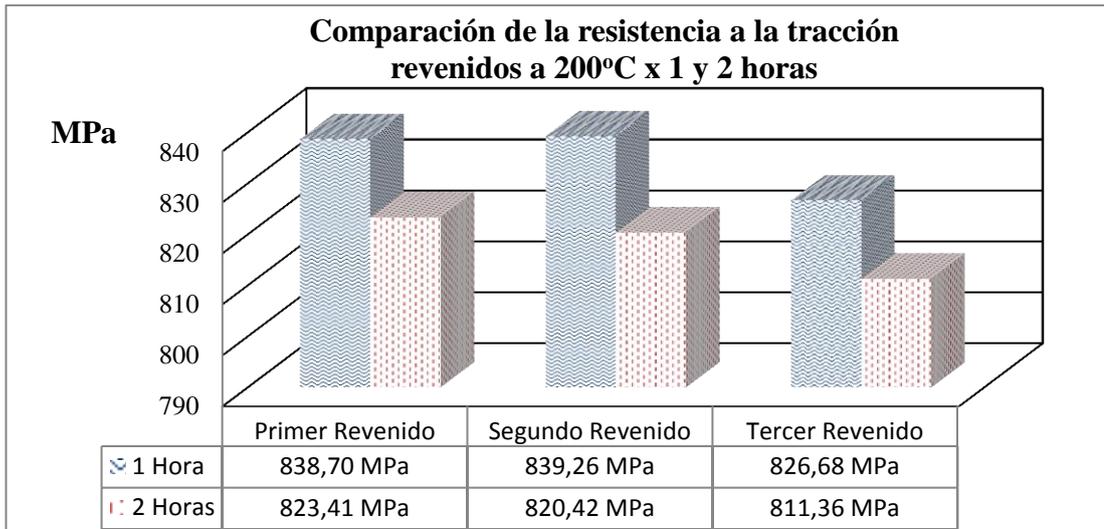


Figura 4.23: Comparación de la resistencia a tracción entre revenidos consecutivos a 200°C durante 1 y 2 horas de permanencia.

Fuente: Autor

En figura 4.23 se aprecia que los revenidos consecutivos a la temperatura de 200°C para un tiempo de 2 horas de permanencia tienen valores de resistencia a tracción menores a los tratados a una hora de permanencia. Presentando el menor valor de resistencia de 811,36 MPa para un tercer revenido a 2 horas.

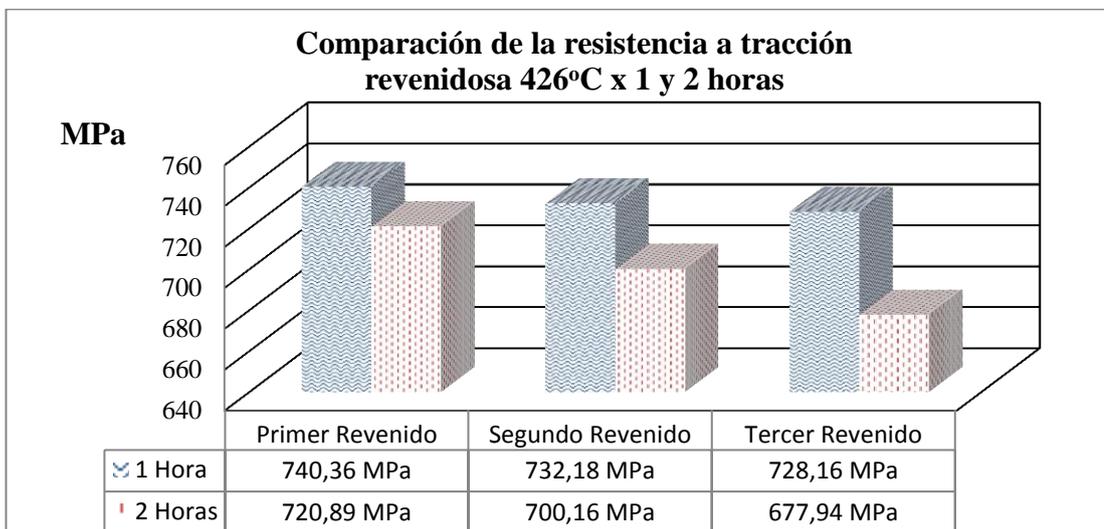


Figura 4.24: Comparación de la resistencia a tracción entre revenidos consecutivos a 426°C durante 1 y 2 horas de permanencia.

Fuente: Autor

En figura 4.24 se aprecia que con la prolongación del tiempo permanencia a dos horas y manteniendo una temperatura de 426°C la resistencia a tracción reduce su valor. Notándose al comprar los valores de tracción de los revenidos consecutivos durante dos horas entre los revenidos consecutivos a una hora de permanencia. Dando como valor mínimo una resistencia de 677,94 MPa correspondiente a un tercer revenido durante 2 horas.

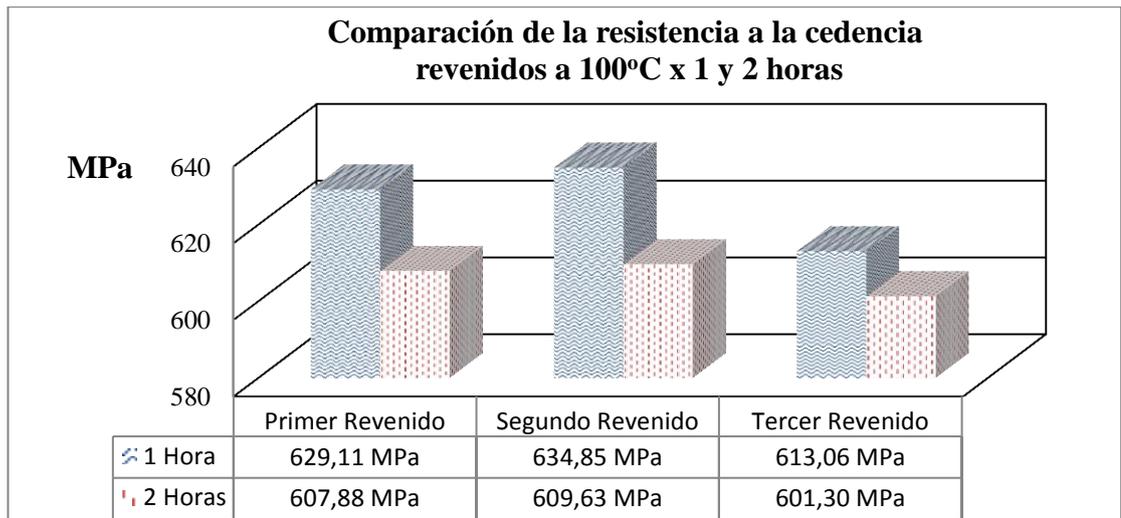


Figura 4.25: Comparación de la resistencia a la cedencia entre revenidos consecutivos a 100°C durante 1 y 2 horas de permanencia.

Fuente: Autor

En la figura 4.25 se muestra que los valores de resistencia a la cedencia en cada uno de los revenidos consecutivos a 100° C durante dos horas, son menores al ser comparados para los revenidos que fueron realizados a una hora de permanencia, observándose que el valor mínimo de 601,30 MPa se encuentra en el tercer revenido consecutivo a dos horas, mientras que el valor más alto de resistencia a la cedencia se encuentra en el segundo revenido durante 1 hora con un valor de 634,85 MPa.

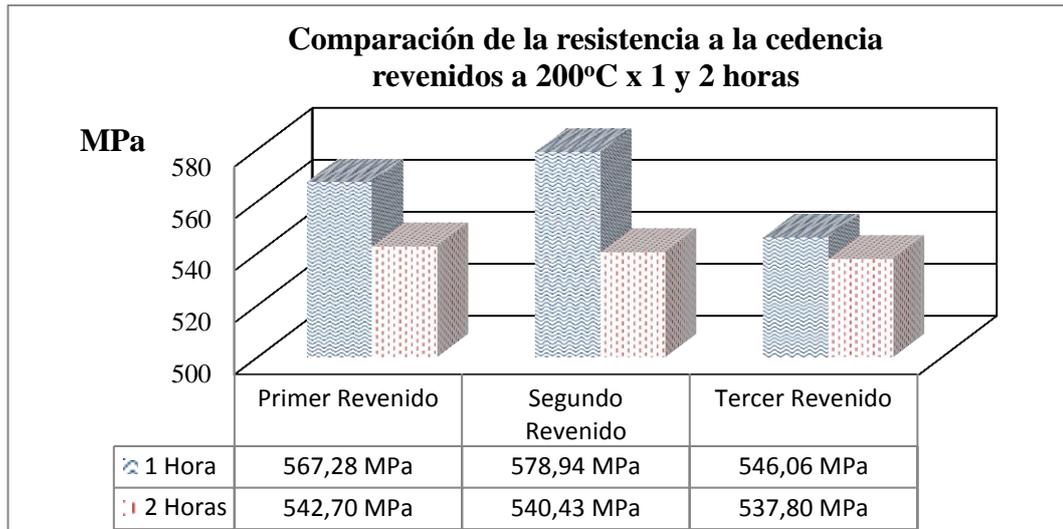


Figura 4.26: Comparación de la resistencia a la cedencia entre revenidos consecutivos a 200°C durante 1 y 2 horas de permanencia.

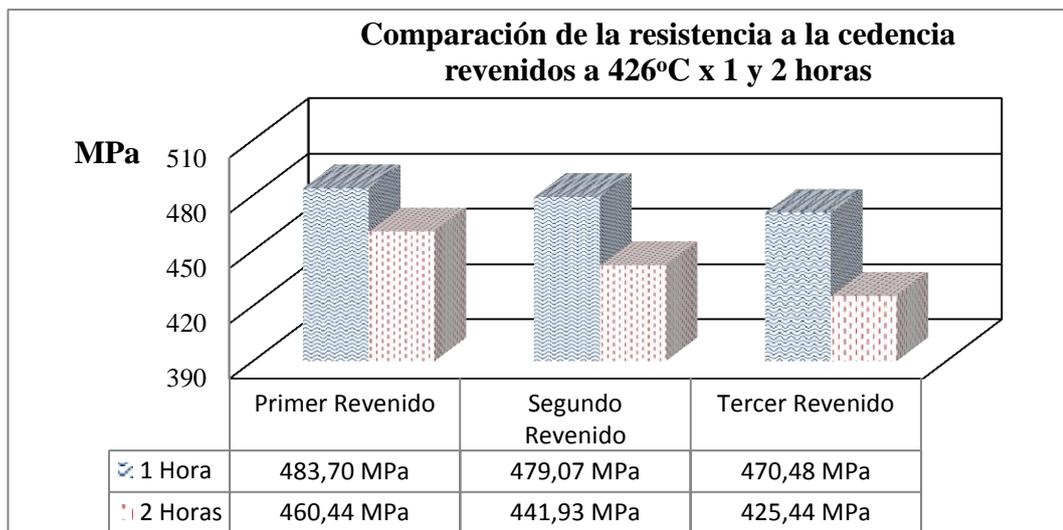


Figura 4.27: Comparación de la resistencia a la cedencia entre revenidos consecutivos a 426°C durante 1 y 2 horas de permanencia.

Fuente: Autor

En la figura 4.26 se muestra que todos los revenidos durante una hora de permanencia son más altos en comparación a los de dos horas, es decir que el aumento de tiempo a dos horas para una misma temperatura de 200°C produjo una reducción de este valor, el cual se puede ver tanto en el primero, segundo y tercer revenido consecutivo tratado a este tiempo de permanencia y adjudicándose en este último el valor mínimo de la resistencia a la fluencia que es de 537,80 MPa.

De la misma forma como en el caso anterior presentado en la figura 4.26, la resistencia a la cedencia mostrada en la figura 4.27 también se ve afectada por el aumento del tiempo de permanencia a la temperatura de 426°C y muestra que los valores más altos se encuentran en los revenidos a una hora de permanencia al ser comparados para los revenidos a dos horas y que el valor mínimo lo tiene el tercer revenido a dos horas con un valor de 425,44 MPa.

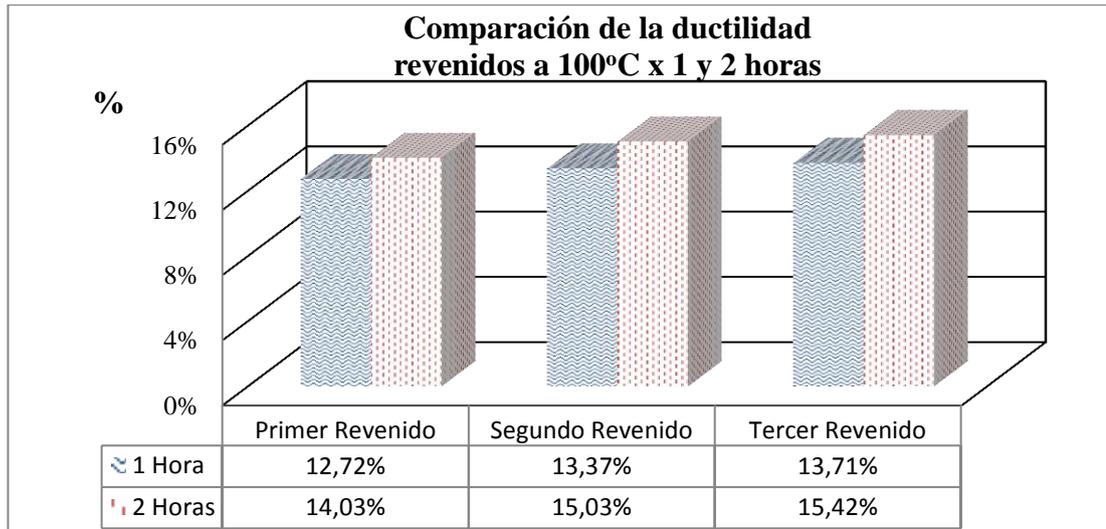


Figura 4.28: Comparación de la ductilidad entre revenidos consecutivos a 100°C durante 1 y 2 horas de permanencia.

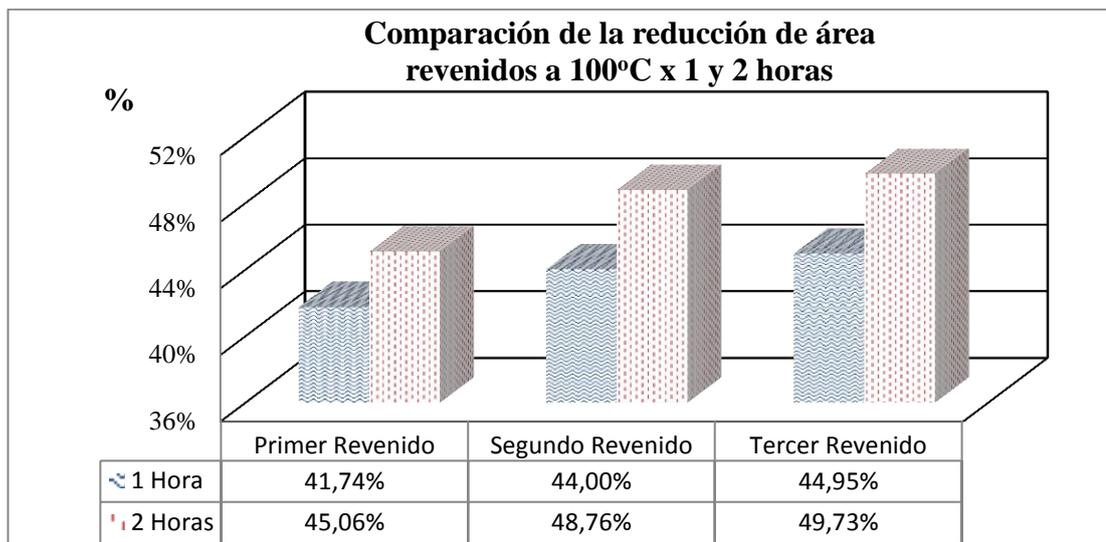


Figura 4.29: Comparación de la reducción de área entre revenidos consecutivos a 100°C durante 1 y 2 horas de permanencia.

Fuente: Autor

Al haberse incrementado el tiempo de permanencia tanto la ductilidad (Figura: 4.28) como la reducción de área (Figura: 4.29) experimentan un incremento en todos los revenidos consecutivos a dos horas de permanencia cuando comparamos con los revenidos puestos a una hora en el horno a la temperatura de 100°C, teniendo como valores máximos en el tercer revenido con una ductilidad del 15,42% y su respectiva reducción de área del 49,73%.

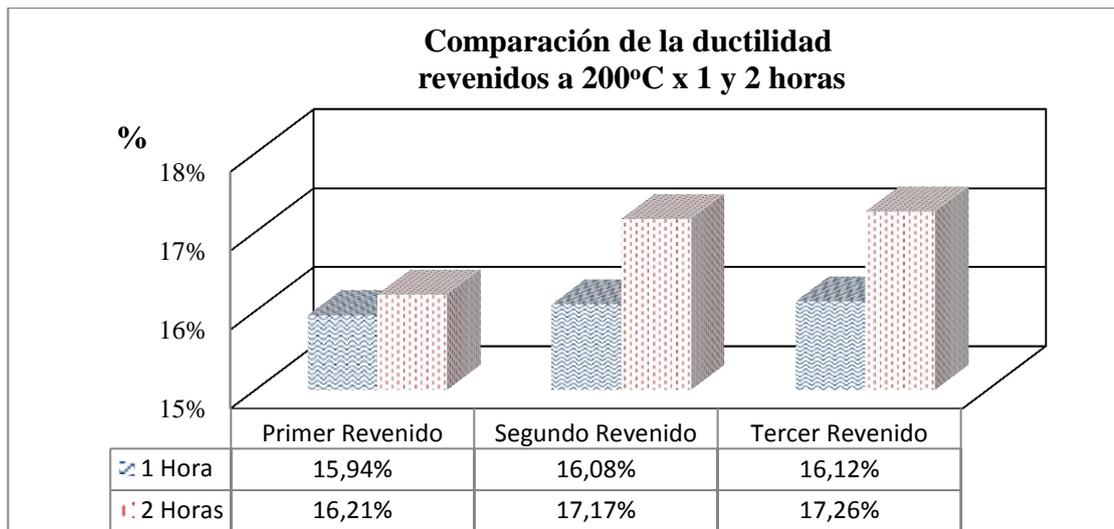


Figura 4.30: Comparación de la ductilidad entre revenidos consecutivos a 200°C durante 1 y 2 horas de permanencia.

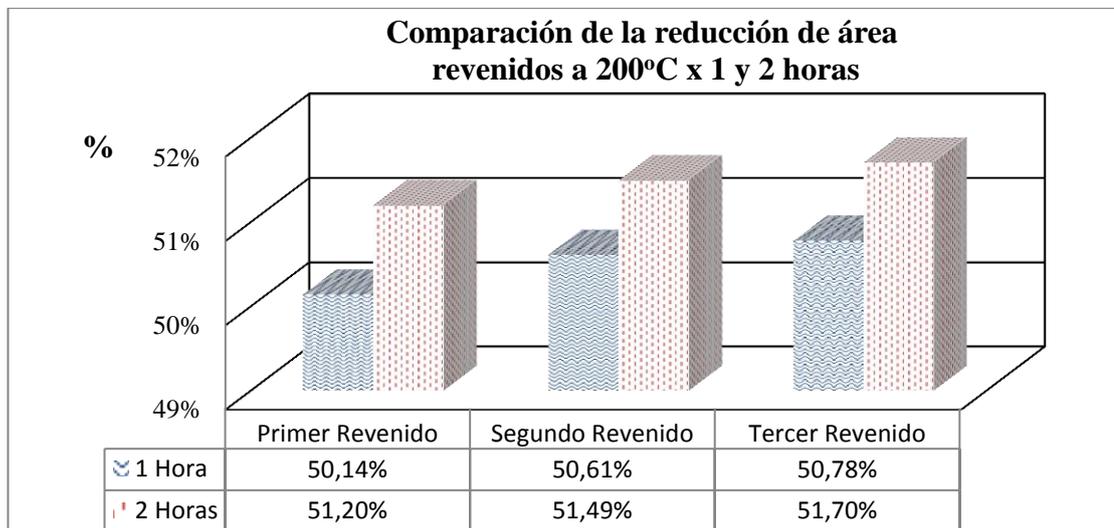


Figura 4.31: Comparación de la reducción de área entre revenidos consecutivos a 200°C durante 1 y 2 horas de permanencia.

Fuente: Autor

Las figuras 4.30 y 4.31 muestran los porcentajes de la ductilidad y reducción de área respectivamente de los revenidos consecutivos a la temperatura de 200°C, y al comparar los revenidos consecutivos a dos horas con los revenidos consecutivos a una hora, los de dos horas poseen los valores mayores tanto de alargamiento como de reducción de área. Presentando valores altos de alargamiento del 17,26% con un 51,70% de reducción de área.

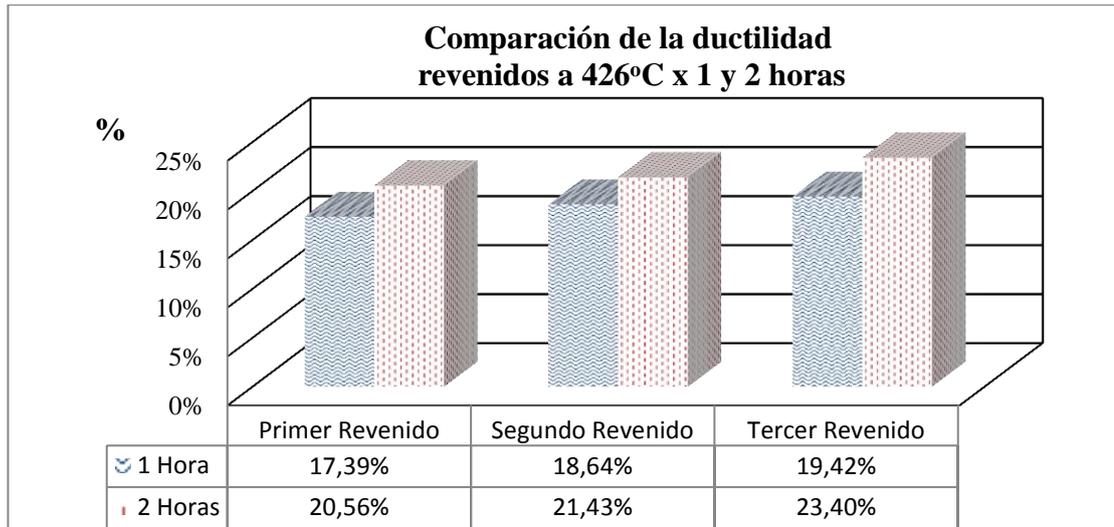


Figura 4.32: Comparación de la ductilidad entre revenidos consecutivos a 426°C durante 1 y 2 horas de permanencia.

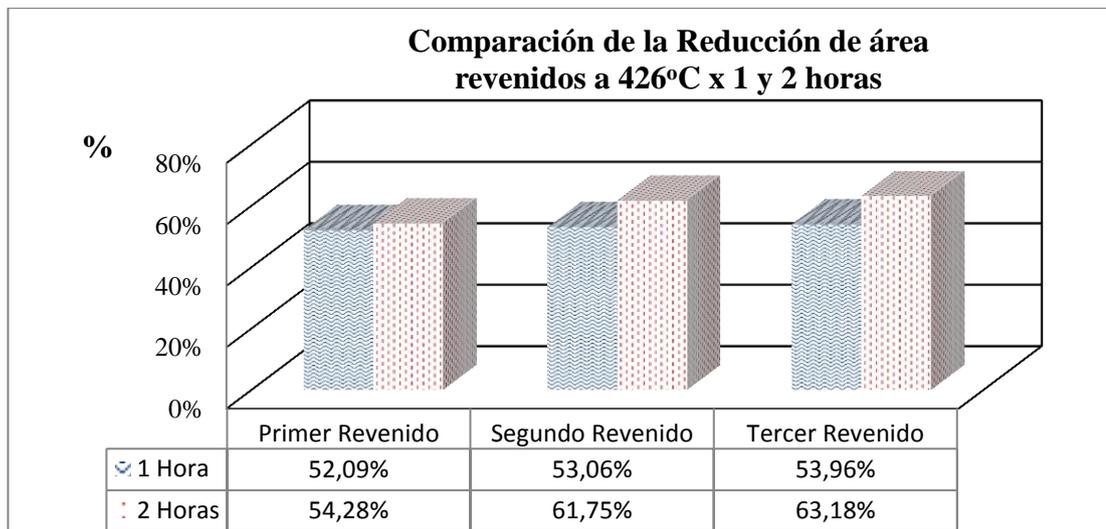


Figura 4.33: Comparación de la reducción de área entre revenidos consecutivos a 426°C durante 1 y 2 horas de permanencia.

Fuente: Autor

De acuerdo con las Figuras 4.32 y 4.33 se muestra la ductilidad y reducción de área respectivamente de los revenidos consecutivos a la temperatura de 426°C, y que al haberse incrementado una hora más de permanencia en el horno para cada uno de los revenidos muestran que tanto la ductilidad como reducción de área tienen valores mayores a los revenidos realizados durante una hora. Observándose un 23,40% de alargamiento con 63,18% de reducción de área como los valores más altos.

A continuación se presentará un resumen de los valores obtenidos del ensayo de tracción realizado a los casos de estudio:

Tabla 4.8. Valores del Módulo de elasticidad

	MÓDULO DE ELASTICIDAD (GPa)		
	Primer Revenido	Segundo Revenido	Tercer Revenido
100°C x 1h	203,82	203,91	203,68
100°C x 2h	203,94	204,11	203,92
200°C x 1h	204,30	204,56	204,26
200°C x 2h	205,07	205,26	205,41
426°C x 1h	206,55	206,79	207,03
426°C x 2h	207,50	207,67	207,85

Tabla 4.9. Valores de la resistencia a tracción

	RESISTENCIA A TRACCIÓN (MPa)		
	Primer Revenido	Segundo Revenido	Tercer Revenido
100°C x 1h	862,59	864,07	860,67
100°C x 2h	855,31	857,28	847,89
200°C x 1h	838,70	839,26	826,68
200°C x 2h	823,41	820,42	811,36
426°C x 1h	740,36	732,18	728,16
426°C x 2h	720,89	700,16	677,94

Tabla 4.10. Valores de la resistencia a la fluencia

	RESISTENCIA A LA FLUENCIA (MPa)		
	Primer Revenido	Segundo Revenido	Tercer Revenido
100°C x 1h	629,11	634,85	613,06
100°C x 2h	607,88	609,63	601,30
200°C x 1h	567,28	578,94	546,06
200°C x 2h	542,70	540,43	537,80
426°C x 1h	483,70	479,07	470,48
426°C x 2h	460,44	441,93	425,44

Tabla 4.11. Valores de ductilidad

	DUCTILIDAD		
	Primer Revenido	Segundo Revenido	Tercer Revenido
100°C x 1h	12,72%	13,37%	13,71%
100°C x 2h	14,03%	15,03%	15,42%
200°C x 1h	15,94%	16,08%	16,12%
200°C x 2h	16,21%	17,17%	17,26%
426°C x 1h	17,39%	18,64%	19,42%
426°C x 2h	20,56%	21,43%	23,40%

Tabla 4.12. Valores de reducción de área

	REDUCCIÓN DE ÁREA		
	Primer Revenido	Segundo Revenido	Tercer Revenido
100°C x 1h	41,74%	44,00%	44,95%
100°C x 2h	45,06%	48,76%	49,73%
200°C x 1h	50,14%	50,61%	50,78%
200°C x 2h	51,20%	51,49%	51,70%
426°C x 1h	52,09%	53,06%	53,96%
426°C x 2h	54,28%	61,75%	63,18%

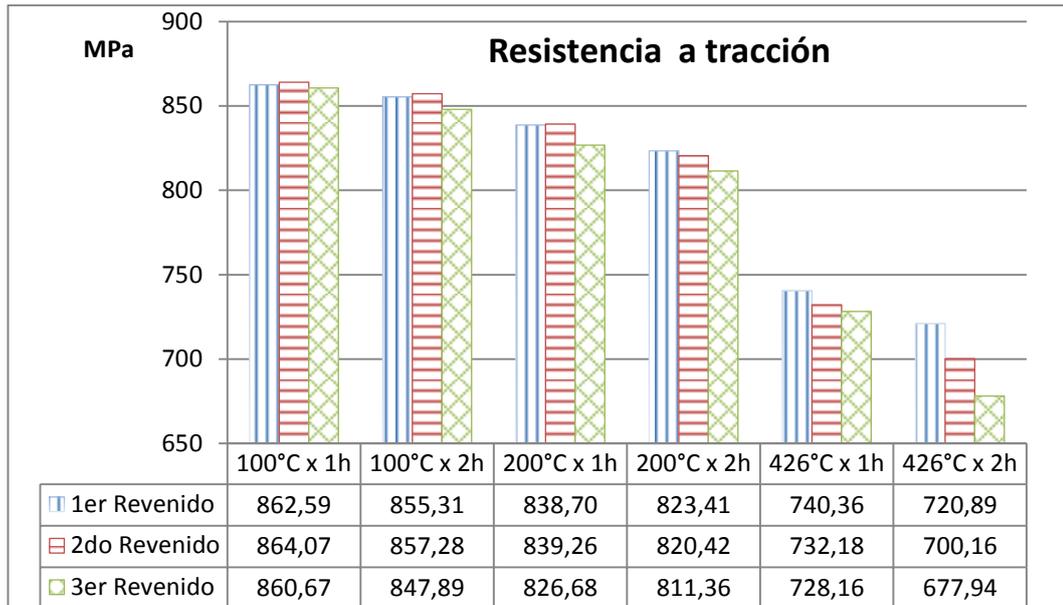


Figura 4.34: Valores de la resistencia a tracción

Fuente: Autor

La tabla 4.13 muestra el decremento de la resistencia a tracción en comparación a la resistencia de 909,38 MPa perteneciente al acero templado en aceite de oliva.

Tabla 4.13. Porcentajes de reducción de la resistencia a tracción

	Primer Revenido	Segundo Revenido	Tercer Revenido
100° C x 1h	5,15%	4,98%	5,36%
100° C x 2h	5,95%	5,73%	6,76%
200° C x 1h	7,77%	7,71%	9,09%
200° C x 2h	9,45%	9,78%	10,78%
426° C x 1h	18,59%	19,49%	19,93%
426° C x 2h	20,73%	23,01%	25,45%

Fuente: Autor

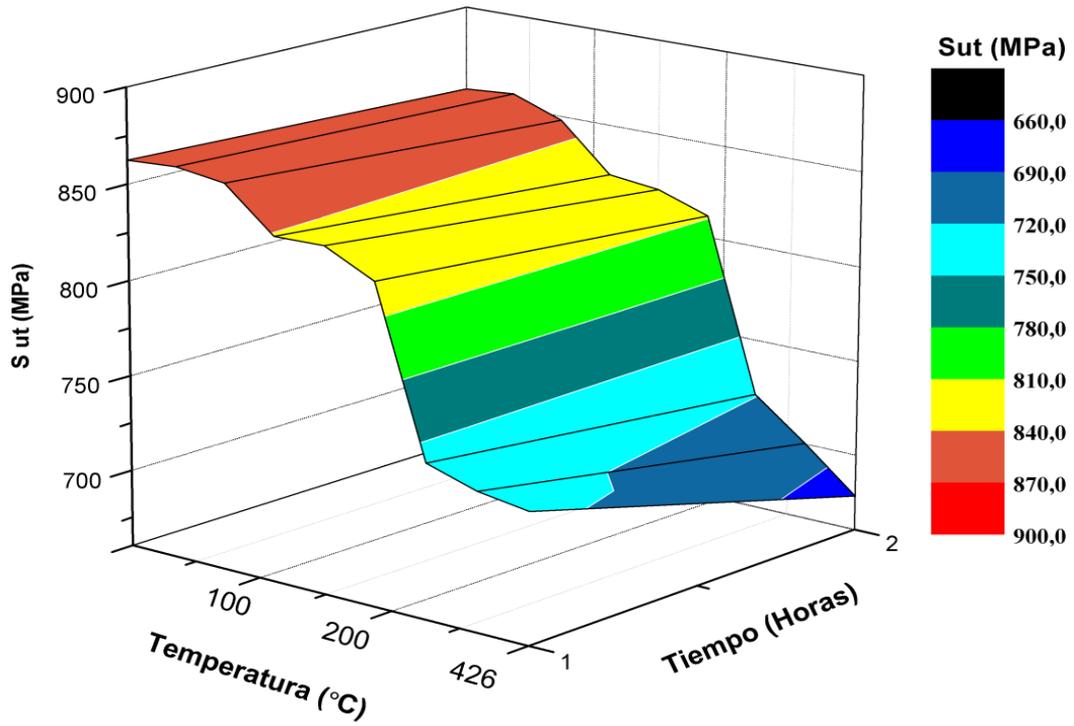


Figura 4.35: Superficie formada con los valores de resistencia a tracción

Fuente: Autor

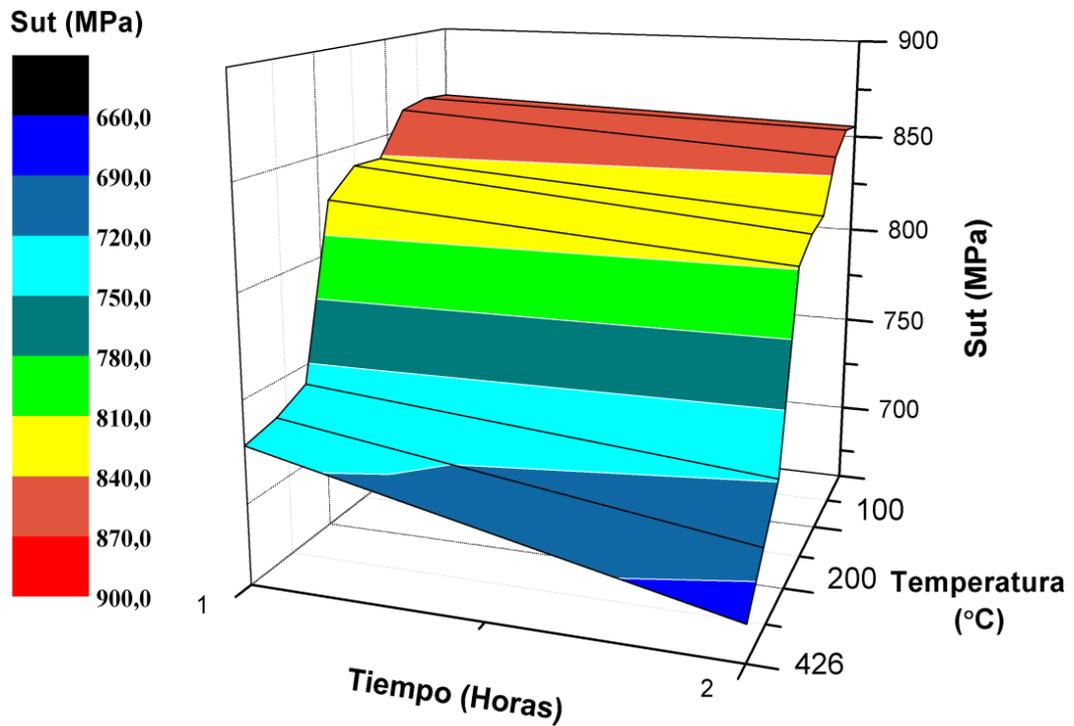


Figura 4.36: Vista rotada de la superficie formada con los valores de resistencia a tracción

Fuente: Autor

En la figura 4.35 se exponen en la superficie los valores de resistencia a tracción de todos los revenidos consecutivos tratados a 100, 200 y 426 °C para 1 y 2 horas de permanencia, donde se aprecia el descenso de la resistencia a tracción a medida que aumenta la temperatura de permanencia. Mientras que en la figura 4.36 se muestra otra perspectiva en la que se aprecia de igual forma el descenso de la resistencia al aumentar el tiempo de permanencia de 1 a 2 horas.

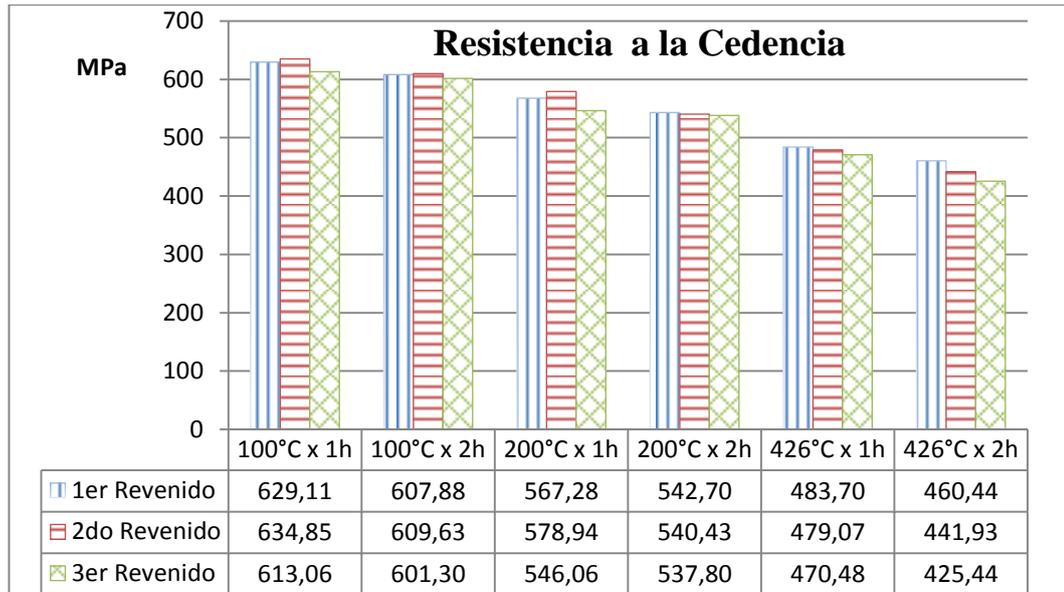


Figura 4.37: Valores de la resistencia a la cedencia

Fuente: Autor

La tabla 4.14 muestra el incremento de la resistencia a la cedencia en comparación a la fluencia de 225,21 MPa perteneciente al acero templado en aceite de oliva.

Tabla 4.14. Porcentajes de incremento de la resistencia a la cedencia

	Primer Revenido	Segundo Revenido	Tercer Revenido
100°C x 1h	179,35%	181,90%	172,22%
100°C x 2h	169,92%	170,70%	167,00%
200°C x 1h	151,90%	157,07%	142,47%
200°C x 2h	140,98%	139,97%	138,80%
426°C x 1h	114,78%	112,72%	108,91%
426°C x 2h	104,45%	96,23%	88,91%

Fuente: Autor

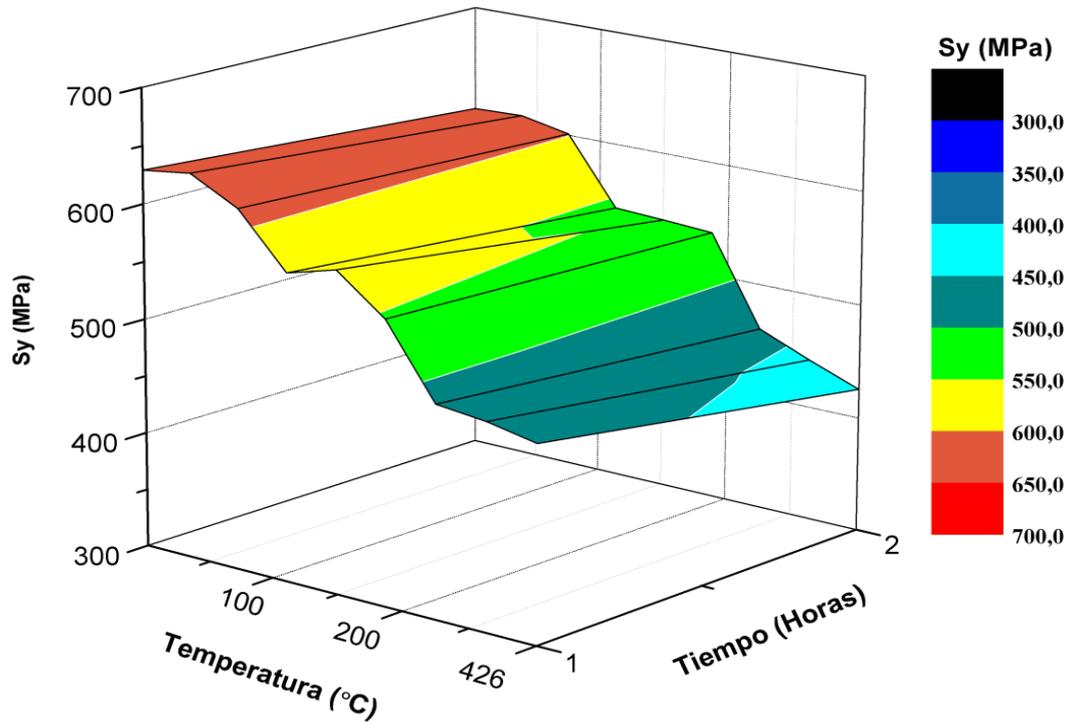


Figura 4.38: Superficie formada con los valores de resistencia a la cedencia

Fuente: Autor

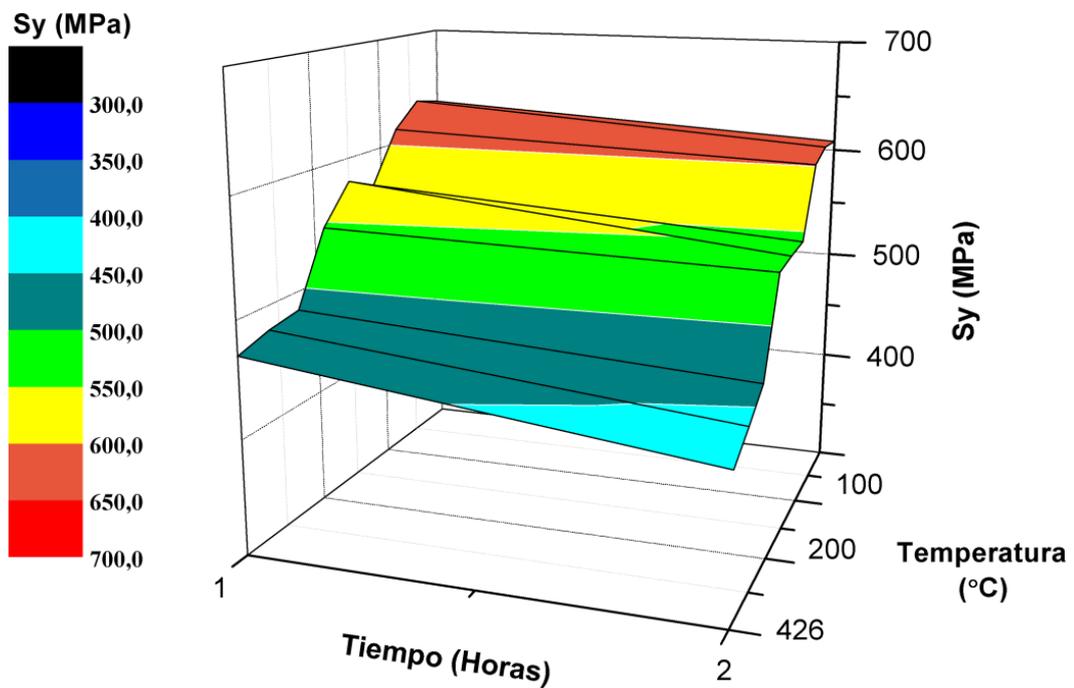


Figura 4.39: Vista rotada de la superficie formada con los valores de resistencia a la cedencia

Fuente: Autor

De igual forma que la resistencia a tracción en la figura 4.38 y 4.39 se muestra en superficie los valores de resistencia a la cedencia, y que su decremento se ve más afectado por el aumento de la temperatura que por el aumento del tiempo de permanencia. Observándose en el revenido consecutivo a 426 °C.

4.3.2 Interpretación de los resultados del ensayo de dureza

Tabla 4.15. Valores de dureza HRC promedio

	1 Revenido Consecutivo	2 Revenido Consecutivo	3 Revenido Consecutivo
100 °C x 1h	48,3	47,9	46,8
100 °C x 2h	48	47,3	46
200 °C x 1h	45,7	45	44,3
200 °C x 2h	44,7	44,1	43,7
426 °C x 1h	36,2	32,8	28,6
426 °C x 2h	34,8	30,7	27,5

Fuente: Autor

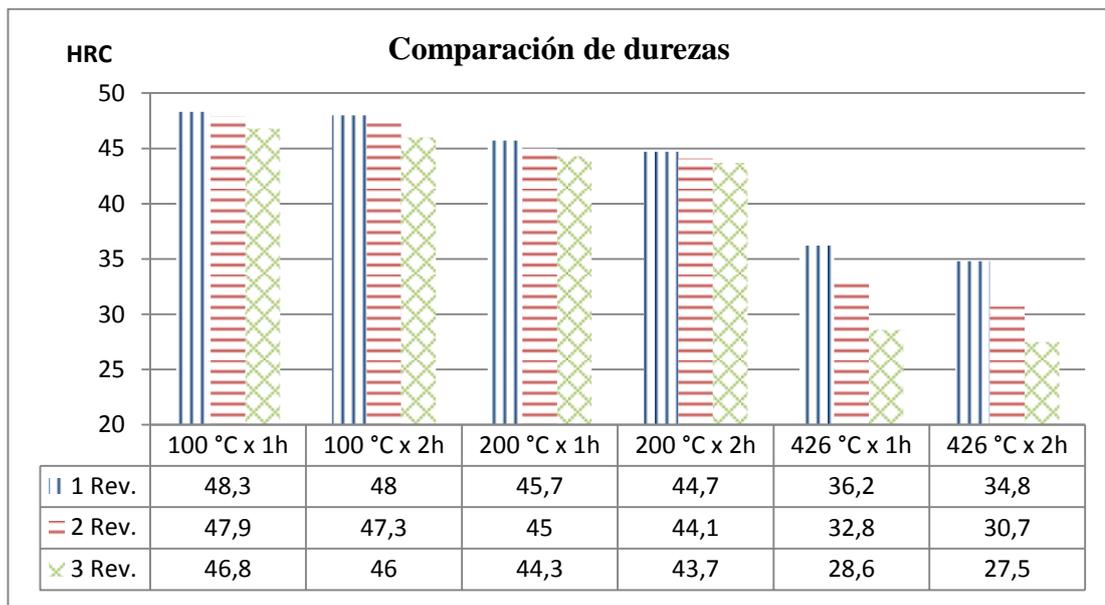


Figura 4.40: Comparación de durezas

Fuente: Autor

La tabla 4.16 muestra el decremento de la dureza en comparación a la dureza de 50,3 HRC perteneciente al acero templado en aceite de oliva.

Tabla 4.16. Porcentajes de decremento de la dureza

	Primer Revenido	Segundo Revenido	Tercer Revenido
100°C x 1h	3,98%	4,77%	6,96%
100°C x 2h	4,57%	5,96%	8,55%
200°C x 1h	9,15%	10,54%	11,93%
200°C x 2h	11,13%	12,33%	13,12%
426°C x 1h	28,03%	34,79%	43,14%
426°C x 2h	30,82%	38,97%	45,33%

Fuente: Autor

En Figura 4.40 se agrupado los tres revenidos consecutivos para las temperaturas de 100°C, 200°C y 426 °C para 1 y 2 horas de permanencia en horno. En la cual se puede apreciar que la dureza se ve más afectada por el aumento de la temperatura que por la prolongación del tiempo de permanencia en horno. Así un revenido 100°C a una hora marca una dureza de 48,3 HRC mientras que para un revenido a la misma temperatura pero a dos horas de permanencia marca 48 HRC. Pero al aumentar la temperatura a 200°C y 426°C la dureza redujo a 45,7 HRC y 36,2 HRC respectivamente.

En la tabla 4.17 se ha expuesto los valores de dureza promedio más altos seleccionados de la figura 4.40, y el valor de la desviación estándar de las 10 marcas (5 en la periferia y 5 próximas al centro) realizadas en las muestras y presentadas anteriormente (4.2.6 Evaluación del ensayo de dureza). El menor valor de la desviación estándar nos indica dureza es más uniforme en toda la superficie de la muestra.

Tabla 4.17. Desviación estándar la dureza promedio

Tratamiento Térmico	Dureza Promedio HRC	Desviación estándar
1 Revenido Consecutivo 100°C x1h	48,3	2,06
2 Revenido Consecutivo 100°C x1h	47,9	0,99
1 Revenido Consecutivo 100°C x2h	48	3,02
2 Revenido Consecutivo 100°C x2h	47,3	1,89

Fuente: Autor

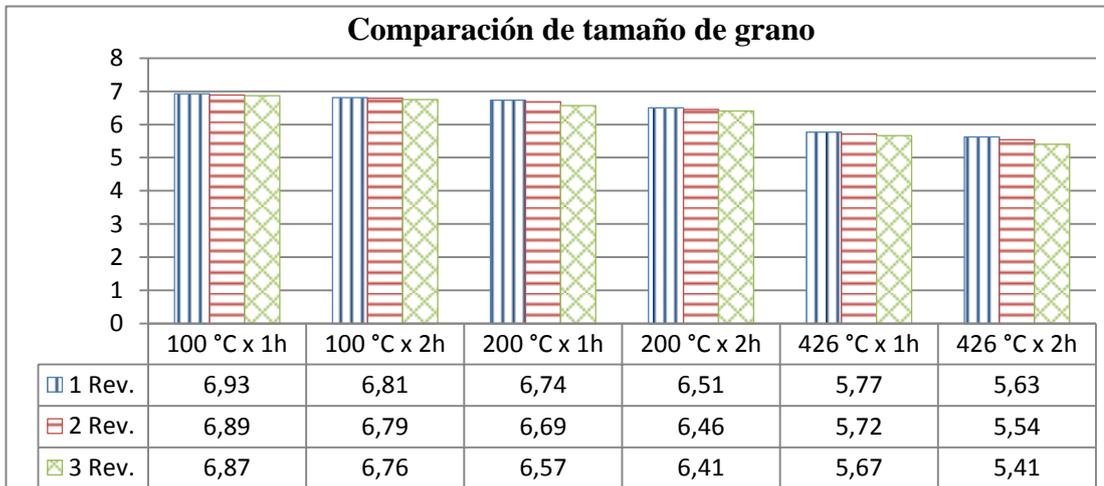
4.3.3 Interpretación de los resultados del ensayo metalográfico

Tabla 4.18. Tamaño de grano

	1 Rev.	2 Rev.	3 Rev.
	1 Revenido Consecutivo	2 Revenido Consecutivo	3 Revenido Consecutivo
100 °C x 1h	6,93	6,89	6,87
100 °C x 2h	6,81	6,79	6,76
200 °C x 1h	6,74	6,69	6,57
200 °C x 2h	6,51	6,46	6,41
426 °C x 1h	5,77	5,72	5,67
426 °C x 2h	5,63	5,54	5,41

Fuente: Autor

Figura 4.41 Comparación del tamaño de grano ASTM



Fuente: Autor

Figura 4.42 Crecimiento del grano

	Revenidos Consecutivos		
	Primer	Segundo	Tercero
100°C a 1 hora			
100°C a 2 horas			
200°C a 1 hora			
200°C a 2 horas			
426°C a 1 hora			
426°C a 2 horas			

Fuente: Autor

En la figura 4.41 y figura 4.42 se compara el índice ASTM del tamaño de grano de los revenidos consecutivos experimentados a 1 y 2 horas de permanencia para cada una de las temperaturas establecidas a 100°C, 200°C y 426°C, en cual se puede notar que este índice ASTM va disminuyendo su valor a medida que se aumenta el tiempo y la temperatura de revenido, pero mostrándose una mayor reducción al incrementar la temperatura. Y se puede ver para el segundo revenido consecutivo realizado a la temperatura de 100°C a 1 hora un índice de 6,89 con la máxima resistencia a tracción 864,07 MPa, mientras que tratado para los otros casos de revenidos consecutivos este índice bajó al igual que su resistencia a tracción, como se puede notar para un tercer revenido consecutivo a 426°C durante 1 hora un índice de 5,67 y una resistencia a tracción de 470,48 MPa.

4.4 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

H₀ Hipótesis nula

Al realizar un número consecutivo de revenidos en el acero AISI 1045 templado en aceite de oliva no mejorará las propiedades mecánicas

H₁ Hipótesis alternativa

Al realizar un número consecutivo de revenidos en el acero AISI 1045 templado en aceite de oliva mejorará las propiedades mecánicas

De las comparaciones analizadas anteriormente se ha destacado un segundo revenido consecutivo a 100°C durante una hora de permanencia en el horno al presentarnos la mayor resistencia a tracción y mejor distribución de dureza en la superficie. Por ende este tipo de tratamiento térmico se comparará con las probetas templadas en aceite de oliva, y se utiliza el t de student para muestras pequeñas para la verificación de la hipótesis. Esta prueba nos permite saber si existe o no diferencias significativas

Tabla 4.19. Comparación de los valores de la resistencia a la tracción

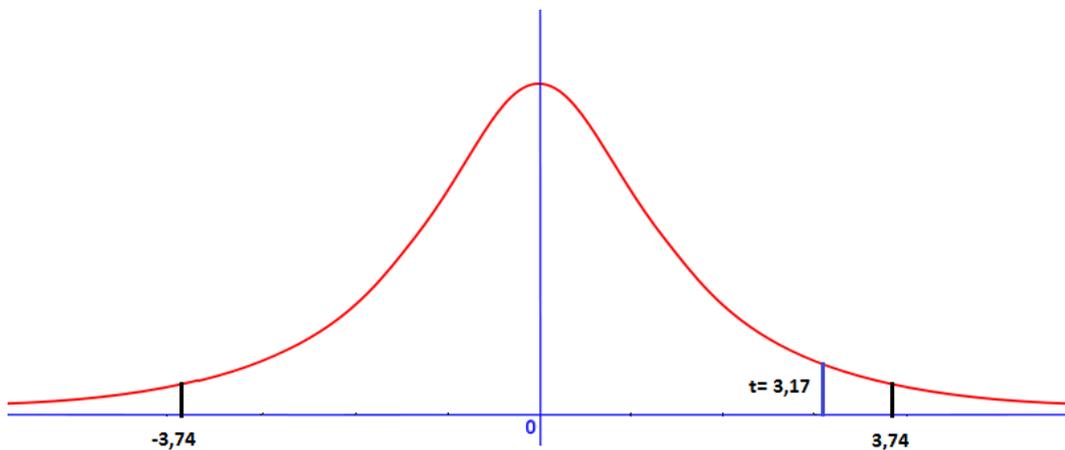
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN		
	Acero Templado	2do Revenido Consecutivo a 100°C x 1 hora
Probeta 0.1	936,95 MPa	862,33 MPa
Probeta 0.2	889,54 MPa	864,71 MPa
Probeta 0.3	901,64 MPa	865,19 MPa
Promedio	909,38 MPa	864,07 MPa

Fuente: Autor

Tabla 4.20. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	Variable 1	Variable 2
Media	909,377405	864,0743312
Varianza	606,7853117	2,339820112
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	304,5625659	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	3,179325826	
P(T<=t) una cola	0,01677842	
Valor crítico de t (una cola)	3,746947388	
P(T<=t) dos colas	0,03355684	
Valor crítico de t (dos colas)	4,604094871	

Fuente: Autor



El valor estadístico t es menor que el valor crítico, es decir no hay diferencias significativas.

Tabla 4.21. Comparación de los valores de la resistencia a la cedencia

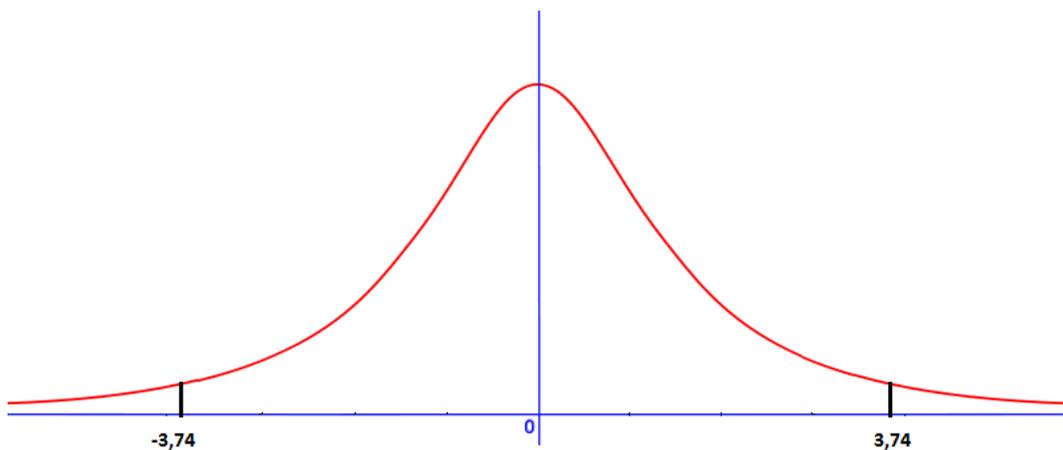
RESISTENCIA A LA CEDENCIA		
	Acero Templado	2do Revenido Consecutivo a 100°C x 1 hora
Probeta 0.1	229,25 MPa	630,03 MPa
Probeta 0.2	230,80 MPa	635,38 MPa
Probeta 0.3	215,57 MPa	639,14 MPa
Promedio	225,21 MPa	634,85 MPa

Fuente: Autor

Tabla 4.22. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	Variable 1	Variable 2
Media	225,2064187	634,8535763
Varianza	70,29172479	20,95719812
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	45,62446145	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-74,27740111	
P(T<=t) una cola	9,84396E-08	
Valor crítico de t (una cola)	3,746947388	
P(T<=t) dos colas	1,96879E-07	
Valor crítico de t (dos colas)	4,604094871	

Fuente: Autor



El valor estadístico t es de -74,277 y está fuera del área de aceptación, es decir hay diferencias significativas.

Tabla 4.23. Comparación de la ductilidad

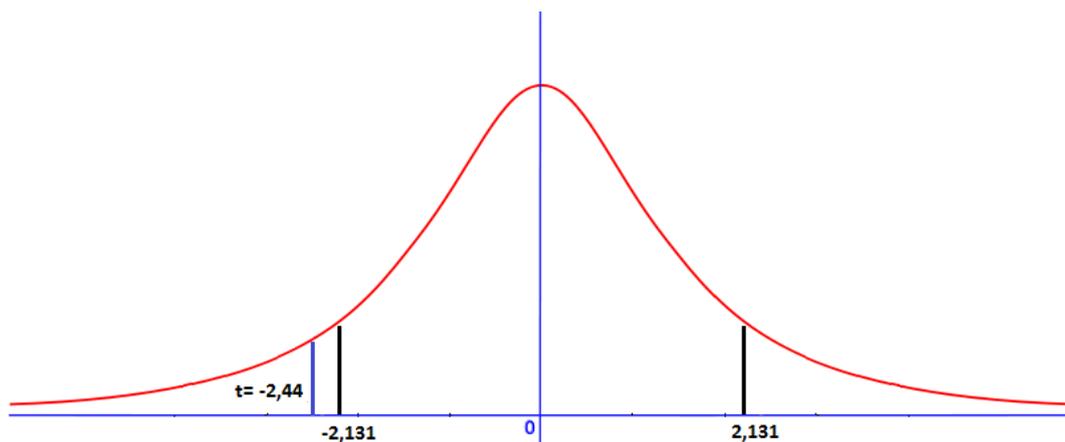
	DUCTILIDAD	
	Acero Templado	2do Revenido Consecutivo a 100°C x 1 hora
Probeta 0.1	10,24%	11,22%
Probeta 0.2	10,24%	15,31%
Probeta 0.3	10,83%	13,58%
Promedio	10,43%	13,37%

Fuente: Autor

Tabla 4.24. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	Variable 1	Variable 2
Media	0,10433071	0,13372703
Varianza	1,1625E-05	0,00042243
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	0,00021703	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-2,44389491	
P(T<=t) una cola	0,03545504	
Valor crítico de t (una cola)	2,13184679	
P(T<=t) dos colas	0,07091007	
Valor crítico de t (dos colas)	2,77644511	

Fuente: Autor



El valor estadístico t es mayor que el valor crítico, es decir hay diferencias significativas.

Tabla 4.25. Comparación de la reducción de área

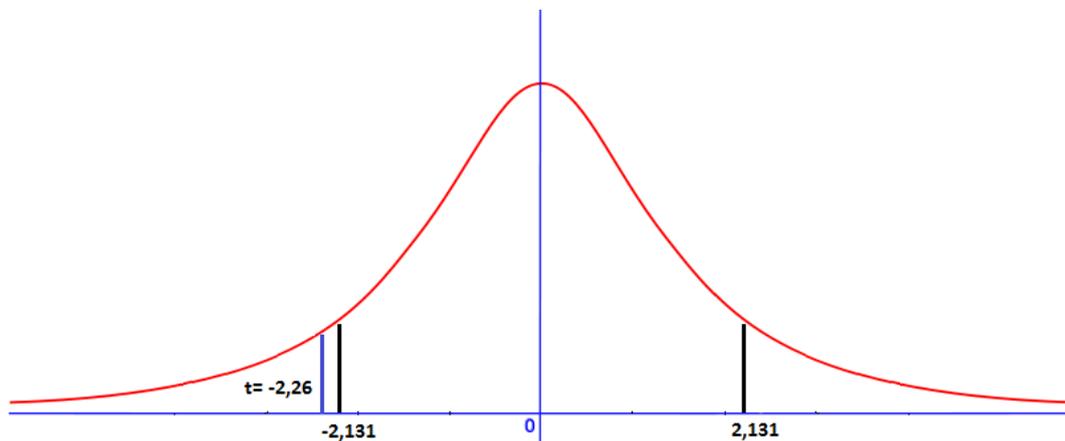
REDUCCIÓN DE ÁREA		
	Acero Templado	2 ^{do} Revenido Consecutivo a 100°C x 1 hora
Probeta 0.1	39,23%	43,10%
Probeta 0.2	32,94%	45,22%
Probeta 0.3	41,66%	43,69%
Promedio	37,95%	44,00%

Fuente: Autor

Tabla 4.26. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	Variable 1	Variable 2
Media	0,37946143	0,44002046
Varianza	0,00202678	0,00011943
Observaciones	3	3
Varianza agrupada	0,0010731	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	4	
Estadístico t	-2,26414238	
P(T<=t) una cola	0,04314217	
Valor crítico de t (una cola)	2,13184679	
P(T<=t) dos colas	0,08628433	
Valor crítico de t (dos colas)	2,77644511	

Fuente: Autor



El valor estadístico t es mayor que el valor crítico, es decir hay diferencias significativas.

Tabla 4.27. Comparación de la dureza

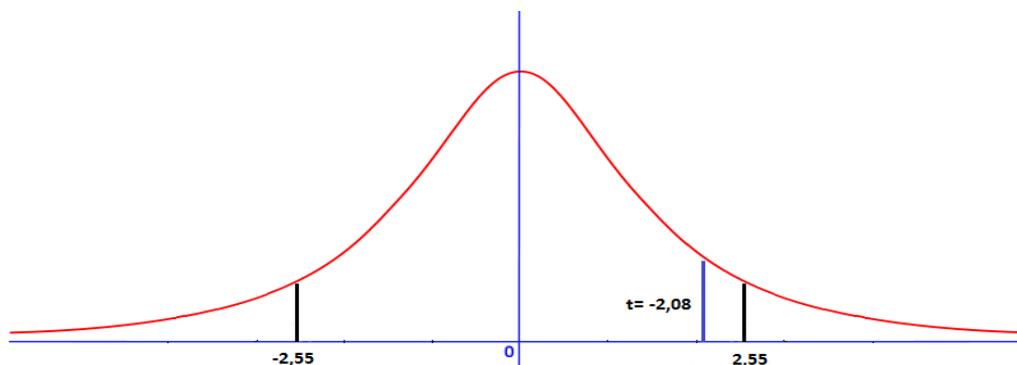
	DUREZA	
	Acero Templado	2do Revenido Consecutivo a 100°C x 1 hora
1	46	48
2	56	48
3	55	50
4	53	48
5	50	48
6	48	46
7	46	48
8	50	48
9	51	47
10	48	48
Promedio	50,3 HRC	47,9 HRC

Fuente: Autor

Tabla 4.28. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	Variable 1	Variable 2
Media	50,3	47,9
Varianza	12,23333333	0,98888889
Observaciones	10	10
Varianza agrupada	6,61111111	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	18	
Estadístico t	2,087175728	
P(T<=t) una cola	0,025681656	
Valor crítico de t (una cola)	2,55237963	
P(T<=t) dos colas	0,051363312	
Valor crítico de t (dos colas)	2,878440473	

Fuente: Autor



El valor estadístico t es mayor que el valor crítico, es decir hay diferencias significativas.

En la tabla 4.29 se resume los valores del t de student para cada uno de los casos estudiados.

Tabla 4.29. Resultado del t de student

Parámetros	Estadístico t	Valor crítico t
Resistencia a tracción	3,179325826	3,746947388
Resistencia a la cedencia	-74,27740111	3,746947388
Ductilidad	-2,443894905	2,131846786
Reducción de área	-2,264142384	2,13184679
Dureza	2,087175728	2,55237963

Fuente: Autor

Tanto para la resistencia a tracción como la dureza el valor estadístico t es menor que el valor crítico, lo que muestra que no existe diferencias significativas, y por el contrario para los otros parámetros si presentan diferencias significativas es decir el que al realizar un segundo revenido consecutivo a 100°C durante una hora, el valor de la dureza y resistencia a tracción del acero templado no han disminuido significadamente y han presentado una mejor ductilidad, cedencia y reducción de área. Por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Una vez analizados los datos obtenidos de los ensayos de tracción, de dureza y metalográficos para los revenidos consecutivos a las temperaturas de 100°C, 200°C y 426°C durante una y dos horas de permanencia en el horno se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- La resistencia a tracción, a la cedencia y la dureza se ven más afectadas por el aumento de temperatura que por la prolongación del tiempo de permanencia en el horno.
- Al realizar un segundo revenido consecutivo durante una y dos horas de permanencia para las temperaturas de 100°C y 200°C, presentaron incrementos en la resistencia a tracción y a la cedencia, mientras que a la temperatura de 426°C estos valores descendieron.
- La mayor resistencia a tracción obtenida fue de 864,07 MPa con una fluencia de 634,85 MPa para un segundo revenido consecutivo a 100°C durante una hora de permanencia en el horno, resultando una reducción del 4,98 % en la resistencia a la tracción y un aumento del 181,9 % en la fluencia, en comparación a la resistencia y fluencia del acero templado en aceite de oliva respectivamente.
- En cada uno de los casos los valores más bajos de resistencia a tracción y cedencia se dieron en el tercer revenido consecutivo. Siendo de 667,94 MPa y 425,44 MPa los valores mínimos obtenidos de resistencia a tracción y resistencia a la cedencia respectivamente correspondientes a un tercer revenido consecutivo a 426°C durante 2 horas de permanencia.

- Tanto la ductilidad y reducción de área presentaron un incremento en todos los casos al ser llevados a un segundo y tercer revenido consecutivo.
- Se dió un mayor incremento de la ductilidad y de la reducción de área con el aumento de la temperatura que con la prolongación de tiempo de revenido.
- Para un segundo revenido consecutivo a 100°C durante una hora de permanencia en el horno, presentó una ductilidad del 13,37% con 44,00% de reducción de área, con una elevada resistencia al tracción, que a diferencia de los otros casos a medida que la ductilidad y reducción de área aumentaba, la resistencia a tracción se veía afectada ya que su valor descendía.
- La dureza se ve más afectada por el aumento de la temperatura que por la prolongación del tiempo de permanencia en horno. Así para un revenido a 100°C a una hora marca una dureza de 48,3 HRC mientras que a dos horas de permanencia y a la misma temperatura marca 48 HRC. Pero al aumentar la temperatura a 200°C y 426°C la dureza se redujo a 45,7 HRC y 36,2 HRC respectivamente.
- Los valores más altos de dureza promedio se dieron para un primer y segundo revenido consecutivo, a las temperaturas de 100°C y 200°C cada uno realizado a 1 y dos horas de permanencia. (Tabla 4.17).
- La mejor distribución de la dureza tanto en la periferia como en el centro se obtuvo al realizar un segundo revenido consecutivo a 100°C durante 1 hora de permanencia el horno con un valor promedio de 47,9 HRC con un decremento del 4,77% con respecto a la dureza del acero templado en aceite de oliva.
- Un índice ASTM alto del tamaño grano indica un grano fino lo que implica altas resistencias. Los menores valores de tamaño de grano ASTM se produjeron en los revenidos a 426°C durante dos horas siendo el valor más bajo de 5,41 perteneciente a un tercer revenido consecutivo.

- La disminución del contenido de perlita, y el aumento del contenido de martensita revenida, se vio más afectado por el aumento de la temperatura de revenido que por la prolongación del tiempo de permanencia en el horno.
- Al analizar los resultados de los ensayos de tracción, de dureza y metalográficos, y al haber realizado las comparaciones entre los diferentes casos establecidos para este estudio, se puede apreciar que al realizar un segundo revenido consecutivo a una temperatura de 100°C durante una hora de permanencia, la resistencia a tracción y dureza no han disminuido su valor significativamente, mientras que la resistencia a la cedencia, la ductilidad y reducción de área presentaron un aumento significativo en sus valores en comparación con las probetas templadas en aceite de oliva.

5.2 Recomendaciones

- Respetar el tiempo y temperatura establecida para el tratamiento térmico, tanto en el temple como para el revenido.
- Usar equipo de protección al momento de proceder con los tratamientos térmicos con el fin de evitar cualquier accidente, especialmente en el temple ya que al utilizar aceite como medio de enfriamiento, este se puede inflamar.
- No dejar la compuerta del horno totalmente abierta después del tratamiento térmico ya el flujo del aire puede causar fisuras en las paredes del horno.
- El ensayo de tracción se lo debe realizar con la supervisión del ayudante de laboratorio y verificar el estado de la máquina y del deformímetro.
- Asegurar bien el deformímetro en la probeta para que este no se desprenda antes de lo previsto y poder recolectar más datos para formar la curva esfuerzo deformación.
- Para mayor facilidad del registro de datos del ensayo de tracción se debe contar con otra persona además del ayudante, para que esta sea la encargada de anotar los datos leídos.

- Los cortes las probetas se deben cortar con sierra para no recalentar la superficie de estas, ya que puede afectar la microestructura.
- Se recomienda realizar muestras con una altura suficiente para facilitar la manipulación al momento de pasar por las etapas de pulido y lijado.
- No se debe ejercer mucha presión al momento de lijar, de lo contrario se generara rayas profundas que interfieren en el análisis metalográfico.
- Se debe aplicar nital 2 sin dejar quemar la superficie de la probeta, para poder visualizar y analizar su microestructura.
- Se puede utilizar para el ensayo de dureza la misma superficie utilizada en el análisis metalográfico ya que la superficie se encuentra apta para este ensayo.

CAPITULO VI

6. PROPUESTA

6.1 DATOS INFORMATIVOS

Para este tipo de tratamiento térmico de revenidos consecutivos del acero AISI 1045 se deben tener en cuenta los siguientes parámetros para obtener buenos resultados:

Con respecto al tratamiento térmico de temple se lo realizó a una temperatura de 840°C de permanencia durante 30 minutos y enfriados en aceite de oliva, y posteriormente se aplicó los diferentes revenidos consecutivos, en todos los casos se aplicó hasta un tercer revenido.

Los diferentes revenidos se los hizo a temperatura baja, media y alta durante una y dos horas

Para un primer, segundo y tercer revenido consecutivo se aplicó a la temperatura establecida como baja de 100°C de permanencia durante 1 y dos horas.

Para un primer, segundo y tercer revenido consecutivo se aplicó a la temperatura establecida como media de 200°C de permanencia durante 1 y dos horas.

Para un primer, segundo y tercer revenido consecutivo se aplicó a la temperatura establecida como alta de 426°C de permanencia durante 1 hora y dos horas.

Los datos analizados anteriormente en la aplicación de este tratamiento térmico de revenidos consecutivos al acero AISI 1045 templado en aceite de oliva, es de gran importancia para la industria ya que tanto el temple como el revendido son tratamientos combinados muy utilizados para modificar la estructura metalográfica de un acero, por el efecto del tiempo y calor.

Por lo tanto ante el estudio realizado se ha determinado que en comparación para diferentes casos se obtiene una mejor combinación propiedades mecánicas para un segundo revenido consecutivo a una temperatura de 100 °C durante una hora de permanencia, en este proceso se obtiene una variación poco significativa de la resistencia a tracción y dureza mientras que se incrementa la ductilidad y cedencia.

Las pruebas para la toma de datos se los realizaron en los laboratorios de materiales de ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi, Cantón Ambato, Provincia del Tungurahua; para ensayar las probetas de esta investigación se utilizaron los diferentes equipos y materiales: la máquina universal de 30 toneladas, para el ensayo de tracción, el banco de lijas, pulidora, reactivos para revelar la microestructura y el microscopio para analizarla, el durómetro para obtener la dureza de cada una de las muestras a las que se les aplico los tratamientos térmicos.

6.2 Antecedentes de la propuesta

Mediante investigaciones realizadas con anterioridad acerca del temple y revenido en el acero, se puede observar que existen datos de este tipo de tratamiento térmico realizado generalmente para un primer revenido obteniendo buenos resultados de dureza y estructura metalográfica, pero se propone someterlo al acero AISI 1045 hasta un tercer revenido consecutivo previamente templado en un medio de enfriamiento como es el aceite de oliva, la cual ha permitido obtener resultados apreciables, en comparación a los utilizados comúnmente.

En la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica se cuenta con información sobre el tratamiento térmico como es el temple realizado en el acero AISI 1045 enunciado de la siguiente manera: “Estudio del temple en el acero utilizando grasas vegetales y su incidencia en las propiedades mecánicas” esta investigación ha sido de gran utilidad para seguir con el presente estudio.

Luego de realizada la investigación se ha determinado que el segundo revenido consecutivo a 100°C durante una hora, genera la mejor combinación de propiedades mecánicas analizadas.

6.3 Justificación

Esta investigación se lo desarrolló con la finalidad de implementar un proceso de tratamiento térmico al momento de realizar un segundo revenido consecutivo a una temperatura de 100°C durante una hora de permanencia y enfriado al aire hasta la temperatura ambiente aplicado al acero AISI 1045 que previamente ha sido templado en aceite de oliva como medio de enfriamiento, que permita mejorar las propiedades mecánicas y alargando la vida útil de este acero en servicio contribuyendo al sector industrial al evitar el reparo o cambio de elementos mecánicos que causan demoras en la producción y tiempo muerto para retrabajar las partes. Estos problemas afectan de manera adversa la productividad general. Cuando una parte es rechazada por una falla, la empresa incurre en el tiempo, mano de obra y costo de identificar y rectificar el problema. No solo eso, sino que la empresa además corre un mayor riesgo de comprometer la seguridad si el elemento mecánico llegara a fallar en una aplicación crítica.

Es de suma importancia implementar un procedimiento para realizar un tratamiento térmico de revenidos consecutivos en el acero, ya que generalmente se lo somete a un solo revenido, disminuyendo la dureza y resistencia de los aceros templados.

6.4 OBJETIVOS

6.4.1 Objetivo general

- Realizar el tratamiento térmico de un segundo revenido consecutivo a una temperatura de 100°C, con un tiempo de permanencia en el horno de una hora y con un enfriamiento al aire hasta la temperatura ambiente aplicado en el acero AISI 1045 templado en aceite de oliva.

6.4.2 Objetivos específicos

- Realizar el análisis metalográfico del acero AISI 1045 templado en aceite de oliva, sometido a los parámetros establecidos para un segundo revenido consecutivo.
- Efectuar el ensayo de dureza en la escala Rockwell C y evaluar dichos valores obtenidos con este tipo de tratamiento térmico
- Efectuar y evaluar el ensayo de tracción en la máquina universal en el acero AISI 1045 templado en aceite de oliva, sometido a los parámetros establecidos para un segundo revenido consecutivo.
- Establecer el procedimiento para desarrollar del tratamiento térmico para un segundo revenido consecutivo con el fin de obtener los mejores resultados.

6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

La presente investigación se puede determinar que es factible realizarla ya que en nuestro medio existen empresas dedicadas a comercialización del acero, teniendo en este estudio como materia prima al acero AISI 1045 de $\frac{3}{4}$ de pulgada de diámetro.

De igual manera hay talleres con personal muy experimentando en el manejo de tornos indispensables al momento de maquinar las probetas necesarias para el ensayo de tracción. Cabe mencionar que los laboratorios de la facultad de Ingeniería Mecánica disponen ya de un torno con todas las herramientas necesarias para mecanizar, con lo cual se suma más la factibilidad para realizar este estudio.

La Universidad Técnica de Ambato por su parte cuenta con los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, que están orientados a brindar servicios para la realización de este y otro tipo de investigaciones. Estos laboratorios disponen de los equipos y herramientas necesarias para poder alcanzar la propuesta, entre ellos podemos mencionar el horno de mufla para los tratamientos térmicos la máquina universal de 30 toneladas para los ensayos de tracción, el banco de lijas, la pulidora, los reactivos, el microscópico y software para el

análisis de metalográfico, mientras que para proceder con el ensayo de dureza se cuenta con el durómetro. También se contó con el recurso humano técnico adecuado, tutor, ingenieros, que aportaron con el conocimiento necesario para llevar a cabo el tratamiento térmico.

6.5.1 Análisis económico

A continuación se presentan los costos de los materiales, los cuales se utilizaron para la realización del presente proyecto de investigación, con el fin de proporcionar información sobre el análisis económico de este, donde se evaluarán los costos directos e indirectos.

6.5.1.1 Costos directos

Tabla 6.1. Presentación costos directos de la investigación

Procedimiento	Material	Costo
Adquisición material	Envío	8
	AISI 1045 3/4"	88,2
Maquinado	Torneado	600
Tratamiento térmico	16 lt Aceite de oliva	160
	Horno de mufla	0
	Guantes	5
Análisis Metalográfico	Lijas 240, 320, 400, 600, 1000,1500	5
	Paño	4
Ensayo de dureza	Durómetro	0
Ensayo de tracción	Máquina universal	0
	Deformímetro	80
	Subtotal 1	950,2

Fuente: Autor

6.5.1.2 Costos indirectos

Dentro de los costos indirectos se toma en consideración aspectos como insumos para la recolección de información, equipos de computación, herramientas adicionales que facilitan los procedimientos que complementan la realización del tratamiento térmico.

Tabla 6.2. Presentación costos directos de la investigación

Recursos Varios			
Internet	7 meses	\$25/mes	175
transporte	-	50	50
Copias	-	10	10
Material de oficina	-	80	80
Impresiones y empastado	-	150	150
Subtotal 2			465

Fuente: Autor

Total (Subtotal 1+2)	1415,2
10% imprevistos	141,52
Costo total de la investigación	1556,72

6.5.2 Análisis tecnológico

Para el desarrollo de esta investigación se utilizaron conocimientos científicos, la experiencia adquirida por parte del tutor en el área de ingeniería de materiales y referente a tratamientos térmicos en el acero.

En cuanto a equipos utilizados se encuentra: el horno de mufla para efectuar el tratamiento térmico, equipos para el análisis metalográfico tales como, bancos de lijas, pulidora, microscopio, software y computadora, durómetro para el ensayo de dureza y maquina universal para el ensayo de tracción, todos estos equipos deben estar adecuadamente calibrados con el fin de obtener resultados fiables.

6.6 FUNDAMENTACIÓN

La presente propuesta se basa en la información presentada en el Capítulo II, IV y V que se relaciona con el marco teórico, análisis e interpretación de resultados y conclusiones respectivamente, y en normas ASTM.

Con la preparación de las probetas se procede a los cálculos, donde se encuentran fórmulas, recomendaciones para determinar los resultados de los ensayos de tracción, dureza, metalográfico.

6.7 METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el desarrollo del estudio se requiere del seguimiento de varias actividades, las cuales deben seguirse de una manera ordenada, las mismas que se detallan a continuación:

1. Adquisición del material.
2. Maquinado de las probetas.
3. Realización del Tratamiento Térmico.
4. Desarrollo del ensayo de tracción.
5. Evaluación y resultado del ensayo
6. Preparación de la superficie para el análisis metalográfico
7. Ataque químico Nital 2 de 2 a 3 segundos
8. Observación en el microscópico de la estructura
9. Análisis de la microestructura mediante el software
10. Realización del ensayo de dureza
11. Evaluación y resultado del ensayo



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES



Código: A-1	Fecha: 28/06/2013	Revisión: 00
Elaborado por: Daniel Villegas	Revisado por: Daniel Villegas	Aprobado por: Ing. Mg. Segundo Espín
Actividad	Responsable	Tiempo
6.7.1 Adquisición del material	Daniel Villegas	1 día

El material a emplear durante el desarrollo del estudio es el Acero AISI 1045 el cual fue adquirido directamente de ACEROS BOHLER DEL ECUADOR S.A. Se realizó el pedido vía correo electrónico al Señor Juan Carvajal encargado del área de ventas proporcionando de igual manera los datos técnicos de este material (Anexo A. 6).



Figura 6.1: Eje de acero AISI 1045 de fábrica, diámetro de $\frac{3}{4}$ de pulgada

Fuente: Autor



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES



Código: A-2	Fecha: 28/06/2013	Revisión: 00
Elaborado por: Daniel Villegas	Revisado por: Daniel Villegas	Aprobado por: Ing. Mg. Segundo Espín
Actividad	Responsable	Tiempo
6.7.2 Maquinado de las probetas	Operador Sr. Willian Naula	1 día

Para realizar el ensayo de tracción se han maquinado probetas cilíndricas según la norma ASTM E8-04, en dicha norma se cuenta con 5 tipos de probetas con sus dimensiones correspondientes, se ha elegido el espécimen 1 ya que es el único que se ajusta a las sujeciones con las que dispone la máquina universal del Laboratorio de Ingeniería Civil. Se realizó en el taller del Sr. Willian Naula



Figura 6.2: Probetas para ensayo de tracción según norma ASTM E-8 espécimen 1.

Fuente: Autor



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES



Código: A-3	Fecha: 01/07/2013	Revisión: 00
Elaborado por: Daniel Villegas	Revisado por: Daniel Villegas	Aprobado por: Ing. Mg. Segundo Espín
Actividad	Responsable	Tiempo
6.7.3 Realización del tratamiento térmico temple	Daniel Villegas	5 horas

Para realizar el temple en el acero AISI 1045 se utiliza el horno para tratamientos térmicos. Y una vez colocadas las probetas en el horno se debe poner a este en funcionamiento y se demora entre 4 a 5 horas alcanzar la temperatura de 840°C, una vez que el horno llega a la temperatura deben permanecer las probetas en el interior un tiempo de 30 minutos ya que las probetas tienen un diámetro de ½ pulgada.



Figura 6.3: Probetas al rojo vivo alcanzadas el tiempo y temperatura de permanencia para el temple

Fuente: Autor



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES



Código: A-3.1	Fecha: 01/07/2013	Revisión: 00
Elaborado por: Daniel Villegas	Revisado por: Daniel Villegas	Aprobado por: Ing. Mg. Segundo Espín
Actividad	Responsable	Tiempo
Inmersión en el aceite de oliva	Daniel Villegas	5 min

Una vez alcanzado el tiempo y temperatura de permanencia rápidamente se lo sumerge en el medio de enfriamiento que es el aceite de oliva.



Figura 6.4: Enfriamiento rápido en aceite de oliva

Fuente: Autor



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES



Código: A-4	Fecha: 01/07/2013	Revisión: 00
Elaborado por: Daniel Villegas	Revisado por: Daniel Villegas	Aprobado por: Ing. Mg. Segundo Espín
Actividad	Responsable	Tiempo
6.7.4 Realización del tratamiento térmico revenidos consecutivos	Daniel Villegas	2 horas

Una vez completado la fase del temple en aceite de oliva, se procede a efectuar el primer revenido consecutivo para lo cual se debe poner en funcionamiento el horno estableciendo primeramente en el controlador de temperatura, la temperatura de revenido de 100°C e ingresar las probetas y esperar que el horno alcance esta. Una vez llegado a la temperatura de permanencia se mantendrá las probetas durante 1 hora. Al momento de finalizar el tiempo de revenido se retiran las probetas del horno para ser enfriadas al aire hasta la temperatura ambiente.



Figura 6.5: Ingreso de probetas para ser aplicadas el primer revenido consecutivo

Fuente: Autor



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES



Código: A-4.1	Fecha: 01/07/2013	Revisión: 00
Elaborado por: Daniel Villegas	Revisado por: Daniel Villegas	Aprobado por: Ing. Mg. Segundo Espín
Actividad	Responsable	Tiempo
Realización del segundo revenido consecutivo	Daniel Villegas	2 horas

De igual manera que en el primer revenido se deben seguir los mismos pasos para realizar el segundo consecutivo, haciendo énfasis que también se mantendrán la temperatura y tiempo de permanencia 100°C y 1 hora respectivamente. Finalizando con el enfriamiento al aire hasta la temperatura ambiente.



Figura 6.6: Ingreso de probetas para ser aplicadas el segundo revenido consecutivo

Fuente: Autor



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES



Código: A-5	Fecha: 01/07/2013	Revisión: 00
Elaborado por: Daniel Villegas	Revisado por: Daniel Villegas	Aprobado por: Ing. Mg. Segundo Espín
Actividad	Responsable	Tiempo
6.7.5 Análisis metalográfico	Daniel Villegas	45 min

El análisis metalográfico realizó en el laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, siguiendo el siguiente procedimiento:

1. Se procedió a cortar con una cierra un pedazo de una probeta del eje de acero AISI 1045 de unos 2 cm de largo aproximadamente, una distancia lo suficiente para facilitar la sujeción al momento de realizar el desbaste. De igual manera las probetas para este análisis se les aplico el tratamiento térmico de revenidos consecutivos.



Figura 6.7: Corte de la probeta para el análisis metalográfico

Fuente: Autor



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES



Código: A-5.1	Fecha: 02/07/2013	Revisión: 00
Elaborado por: Daniel Villegas	Revisado por: Daniel Villegas	Aprobado por: Ing. Mg. Segundo Espín
Actividad	Responsable	Tiempo
Desbaste	Daniel Villegas	1 hora

2. Desbaste de la probeta, se pasa por el banco de lijas de agua empezando por la lija 240 luego por la 320, 400, 600,1000 y finalmente por la lija 1500 granos/in², se debe tener en cuenta que en cada una de las pasadas no hay que ejercer mucha presión sobre la probeta ya que esto solo genera rayas muy profundas que opacan al momento de analizar la estructura metalográfica. Además se debe ir girando la probeta 90° al instante de pasarse a una lija más fina.



Figura 6.8: Paso de la probeta por el banco de lijas

Fuente: Autor



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES



Código: A-5.2	Fecha: 02/07/2013	Revisión: 00
Elaborado por: Daniel Villegas	Revisado por: Daniel Villegas	Aprobado por: Ing. Mg. Segundo Espín
Actividad	Responsable	Tiempo
Pulido	Daniel Villegas	2 horas

3. Posteriormente se debe pasar la probeta al paño sin ejercer mucha presión sobre esta, y mientras el disco de la pulidora va girando se agrega Alúmina u óxido de aluminio (Al_2O_3) disuelta en agua. Hay que mantenerla hasta que la superficie de la probeta quede sin marcas o asperezas, es decir hasta obtener una superficie tipo espejo.



Figura 6.9: Paso de la probeta por el banco de lijas

Fuente: Autor



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES



Código: A-5.3	Fecha: 02/07/2013	Revisión: 00
Elaborado por: Daniel Villegas	Revisado por: Daniel Villegas	Aprobado por: Ing. Mg. Segundo Espín
Actividad	Responsable	Tiempo
Secado de las probetas	Daniel Villegas	3 min

4. Cuando se consigue tal superficie se la debe lavar con agua y ubicar en un ventilador para secarla con el flujo de aire.



Figura 6.10: Secado de la probeta

Fuente: Autor



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES



Código: A-5.4	Fecha: 02/07/2013	Revisión: 00
Elaborado por: Daniel Villegas	Revisado por: Daniel Villegas	Aprobado por: Ing. Mg. Segundo Espín
Actividad	Responsable	Tiempo
Ataque químico	Daniel Villegas	5 min

5. Ahora esta lista la superficie para ser atacada con el reactivo químico Nital 2 durante 2 a 3 segundos, rápidamente se para el ataque con agua y nuevamente se la ubica en el ventilador para secarla.



Figura 6.11: Ataque químico, reactivo Nital 2

Fuente: Autor



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES



Código: A-5.5	Fecha: 02/07/2013	Revisión: 00
Elaborado por: Daniel Villegas	Revisado por: Daniel Villegas	Aprobado por: Ing. Mg. Segundo Espín
Actividad	Responsable	Tiempo
Observar en el microscopio	Daniel Villegas	30 min

6. Una vez atacada de la probeta esta lista para observarse en el microscopio la estructura metalográfica, se debe regular el macrométrico y micrométrico del microscópico hasta visualizar una imagen clara. Tomamos y grabamos la microfotografía con ayuda del software.



Figura 6.12: Observación en el microscópico

Fuente: Autor



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES



Código: A-6	Fecha: 04/09/2013	Revisión: 00
Elaborado por: Daniel Villegas	Revisado por: Daniel Villegas	Aprobado por: Ing. Mg. Segundo Espín
Actividad	Responsable	Tiempo
6.7.6 Ensayos mecánicos	Daniel Villegas/Ayudante de laboratorio	1h:30 min

Ensayo de tracción. El ensayo de tracción se lo realizó en la Máquina Universal del Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato, con la intervención del ayudante de laboratorio asignado. Para este ensayo se señala 2 pulgadas como la zona de calibración dentro de la cual se debe generar la ruptura. Para anotar la deformación se debe ajustar bien el deformímetro contra la probeta a traccionar. Luego se aplica la carga progresivamente hasta llegar a la fractura. En los ensayos realizados los datos de deformación se tomaron a cada 200 Kg hasta llegar a zona plástica, a partir de ese momento en cambio se registraron los datos de carga cuando el deformímetro avanzaba cada 0.1 mm (Anexo A.7).



Figura 6.13: Ensayo de tracción

Fuente: Autor

Cálculos:

Tabla 6.3. Datos informativos y valores registrados después del ensayo de tracción

Datos Para El Ensayo De Tracción	
Tratamiento térmico	Revenidos Consecutivos
Acero	AISI 1045
Longitud inicial	127 mm
Diámetro inicial (d_o).	12,7 mm
Longitud calibrada. (L_o).	50,8 mm
Datos Registrados	
Carga máxima ($P_{max.}$).	109538,32 N
Longitud final (L_f).	58,58 mm
Diámetro final (d_f).	9,4 mm

Fuente: Autor

Esfuerzo-deformación ingenieril: S-e

Área inicial.

$$A_o = \frac{\pi \cdot d_o^2}{4} \quad \text{Ecu. 6.1}$$

$$A_o = \frac{\pi \cdot (12,7)}{4}$$

$$A_o = 126,667 \text{ mm}^2$$

Deformación Ingenieril

$$e = \frac{\Delta L}{L_o} \quad \text{Ecu. 2.4.}$$

$$e = \frac{2.8 \text{ mm}}{50.8 \text{ mm}}$$

$$e = 0.055 \text{ mm/mm}$$

Esfuerzo Ingenieril

$$S = \frac{P_{\max}}{A_0} \quad \text{Ecu. 2.6}$$

$$S = \frac{109538,32 \text{ N}}{126,667 \text{ mm}^2}$$

$$S = 864.7 \text{ MPa}$$

Curva De Esfuerzo-Deformación verdadera: $\sigma - \epsilon$

Las dimensiones cambian constantemente en el curso del ensayo y el esfuerzo verdadero en un momento es mucho mayor que el presentado por la curva ingenieril, la curva del esfuerzo verdadero es la más importante en las operaciones de formado o de manufactura por que describe las necesidades de la carga real del material.

El esfuerzo verdadero (σ). Se obtiene como la carga P, dividida entre el área real o instantánea.

La deformación verdadera (ϵ). Se obtiene dividiendo con la longitud calibrada L, en cada momento entre la longitud de calibre original L_0 , y obteniendo el logaritmo natural de esta división.

Longitud de calibre

$$L_{\text{ints}} = L_0 + \Delta L \quad \text{Ecu. 6.2}$$

$$L_{\text{ints}} = (50,8 + 2,8)$$

$$L_{\text{ints}} = 53,6 \text{ mm}$$

Área Instantánea

$$A_{\text{ints}} = \frac{A_0 L_0}{L_{\text{ints}}} \quad \text{Ecu. 6.3}$$

$$A_{\text{ints}} = \frac{(126,667)(50,8)}{53,6}$$

$$A_{\text{ints}} = 120,059 \text{ mm}^2$$

ϵ Verdadera

$$\epsilon = \ln \frac{L_{\text{ints}}}{L_0} \quad \text{Ecu. 6.4}$$

$$\epsilon = \ln \frac{53,6 \text{ mm}}{50,8 \text{ mm}}$$

$$\epsilon = 0,0536 \text{ mm/mm}$$

σ Verdadero

$$\sigma = \frac{P_{\text{max}}}{A_{\text{inst}}} \quad \text{Ecu. 6.5}$$

$$\sigma = \frac{109538,32 \text{ N}}{120,059 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma = 912,368 \text{ MPa}$$

Los valores reemplazados en las formulas son tomadas de la carga máxima del ensayo.

Cálculo de porcentaje de elongación y reducción de área

Ductilidad

$$\%e = \left(\frac{L_f - L_0}{L_0} \right) * 100 \quad \text{Ecu. 2.7}$$

$$\%e = \left(\frac{58,58 - 50,8}{50,8} \right) * 100\%$$

Reducción de área

$$\%RA = \left(\frac{d_f^2 - d_o^2}{d_f^2} \right) * 100 \quad \text{Ecu. 2.8}$$

$$\%RA = \left(\frac{(12,7)^2 - (9,4)^2}{(12,7)^2} \right) * 100$$

$$\%RA = 45,22\%$$

Cálculo del módulo elástico o de Young

$$E = \frac{(\sum(XY) - K\tilde{Y}\tilde{X})}{(\sum X^2 - K\tilde{X}^2)} \quad \text{Ecu. 2.1}$$

Tabla 6.4. Parámetros calculados para determinar el módulo de elasticidad

K	X	Y	XY	X2
1	0	0	0	0
2	0,00007874	15,4829	0,0012191	0,00000000620
3	0,00011811	30,9659	0,0036574	0,00000001395
4	0,00015748	46,4488	0,0073148	0,00000002480
5	0,00027559	61,9317	0,0170678	0,00000007595
6	0,00035433	77,4147	0,0274304	0,00000012555
7	0,00039370	92,8976	0,0365739	0,00000015500
8	0,00041339	108,3806	0,0448030	0,00000017089
9	0,00061024	123,8635	0,0755860	0,00000037239
10	0,00068642	139,3464	0,0956498	0,00000047117
S	0,003087992	696,73	0,309302146	1,4159E-06

Fuente: Autor

\tilde{X}	0,000308799
\tilde{Y}	69,67321671
Módulo de elasticidad GPa	203,648
Módulo de elasticidad MPsi	29,529

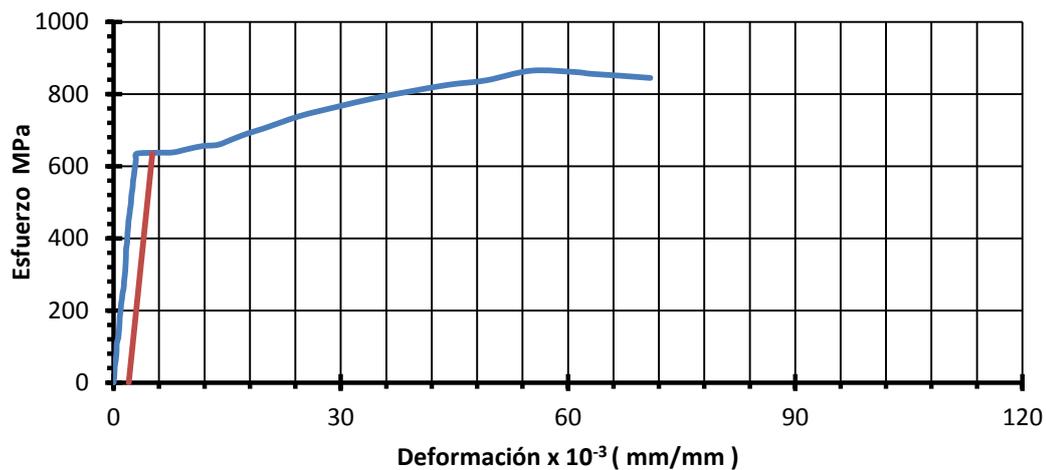
Cálculo de la resistencia a la cedencia con 0.2% de desplazamiento

$$S_y = E(x - 0.002)$$

Ecu. 2.3

x (mm/mm)	Sy (MPa)
0,002	0,000
0,003	203,648
0,004	407,296
0,00512	635,382

Figura 6.14 Gráfica esfuerzo deformación probeta 2.2



Fuente: Autor



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES



Código: A-6.1	Fecha: 10/07/2013	Revisión: 00
Elaborado por: Daniel Villegas	Revisado por: Daniel Villegas	Aprobado por: Ing. Mg. Segundo Espín
Actividad	Responsable	Tiempo
Ensayo de dureza	Daniel Villegas/Ayudante de laboratorio	15 min

Para determinar la dureza se utilizó el durómetro del Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, se aplicó la norma ASTM E-18, con escala de dureza Rockwell C (HRC), con cono de diamante, carga de 1471 N. Se procedió de la siguiente manera para realizar este ensayo: Se ubicó el penetrador y estableció la carga de 1471 Newtons requerida para la escala Rockwell C, colocando la probeta en la mesa del durómetro para coincidir la superficie de la probeta con el indentador. En la pantalla frontal del durómetro en la escala que se visualiza se regula en el número 100, se da la precarga y hay que esperar un momento hasta que se estabilice, finalmente se aplica la carga y se procede a registrar el valor de la dureza, obteniendo los siguientes resultados.

Muestra 2.1D	
N° Medición	Dureza HRC
1	48
2	48
3	50
4	48
5	48
6	46
7	48
8	48
9	47
10	48
Promedio	47,9 HRC



Figura 6.15 Ensayo de dureza

Fuente: Autor

6.8 ADMINISTRACIÓN

El análisis económico de la propuesta se presenta en la tabla 6.4 en donde se desglosan los materiales y recursos utilizados:

Tabla 6.5. Desglose del costo de la investigación.

Recursos Materiales			
DETALLE	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Ejes Acero AISI 1045 3/4" x 520 mm	18 pedazos	4,9	88,2
Envío	4	2	8
Aceite de oliva	16 lt	\$10/lt	160
Paño	0,5 m	\$8/m	4
Deformímetro	1	80	80
Guantes	1	5	5
Lijas # 80	1	0,40	0,4
Lijas # 240	1	0,40	0,4
Lijas # 320	1	0,40	0,4
Lijas # 400	1	0,40	0,4
Lijas # 600	1	0,40	0,4
Lijas # 1000	3	0,50	1,5
Lijas # 1500	3	0,50	1,5
Horno	-	0	0
Maquina Universal	-	0	0
Durómetro	-	0	0
Microscopio	-	0	0
Subtotal 1			\$ 350,20
Recursos Humanos			
Tornero	1	600	600
Subtotal 2			\$ 600,00
Recursos Varios			
Internet	7 meses	\$25/mes	175
transporte	-	50	50
Copias	-	10	10
Material de oficina	-	80	80
Impresiones y empastado	-	150	150
Subtotal 3			\$ 465,00
Total			\$ 1.415,20
10% imprevistos			\$ 141,52
Costo total de la investigación			\$ 1.556,72

Fuente: Autor

Tabla 6.6. Desglose del costo del proceso.

DETALLE	CANTIDAD	COSTO TOTAL	CANTIDAD PROBETAS	COSTO UNITARIO
Ejes Acero AISI 1045 3/4" x 130 mm	0,37 Kg	\$ 2,92/Kg	1	\$ 1,08
Maquinado	1	\$ 10	1	\$10
Aceite de oliva	8 lt	\$ 80	18	\$ 4,44
Temple	1	\$ 50	9	\$ 5,55
Revenido	2	\$ 20	9	\$ 5,55
TOTAL				\$26,62

Fuente: Autor

6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

Una vez concluido el presente trabajo de investigación, el mismo que fue realizado en el laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi, por la disponibilidad de los equipos con los que se cuenta, suficientes para efectuar la investigación, por lo cual se propone en consideración las conclusiones y recomendaciones presentadas en éste trabajo, para el desarrollo de próximas investigaciones.

La aplicación del acero AISI 1045 templado en un medio de enfriamiento como el aceite de oliva, y realizados dos revenidos a la temperatura de 100°C durante una de permanencia seria, en el trazado o rayo del acero al carbono al fabricar tanques para combustible y valdes para volquetas, en herramientas de golpe como puntas de martillos neumáticos, en los cabezales de los vibradores de concreto que sufren un desgaste excesivo.

Esta investigación puede servir de referencia para posteriores investigaciones al ir variando el tiempo y temperatura de permeancia de revenido, parámetros que de gran importancia al momento de realizar el tratamiento térmico, entre otros factores como el espécimen a tratarse, el ver otros medios de enfriamiento, con el fin de llegar a comprender el comportamiento de los materiales dado este tipo de tratamientos térmicos

6.10 BIBLIOGRAFÍA

6.10.1 Libros

- [1] J. Oroño, R Gamboa, M. Roso. (2010). *Tratamientos de revenido de larga duración en acero de temple al aire*. España
- [2] Askeland, D. R. (1998). *Ciencia en ingeniería de los materiales* (3a ed.). Mexico: International Thomson.
- [3] Smith, W. F. (1999). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales* (3a ed.). Madrid: Mc Graw Hill.
- [4] Groover, M. P. (1997). *Fundamentos de manufactura* (1a ed.). Nueva York: Prentice Hall.
- [5] Neely, J. E. (2002). *Metalúrgia y materiales industriales*. México: Limusa.
- [6] Budynas, & Nisbett. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shiley* (8a ed.). Mc Graw Hill.
- [7] Bautemic S.A. (2013). Los tratamientos térmicos en la industria. *Tratamientos Térmicos*, 19-20
- [8] Avner, S. H. (1978). *Introducción al metalurgia física*. México: Mc Graw Hill.
- [9] Callister, W. D. (2009). *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales* (2a ed.). Mexico: Limusa.
- [10] Moore, H. (1987). *Materiales y procesos de fabricación* (1a ed.). Mexico: Limusa.
- [11] Callister, W. D. (2007). *Materials Science and Engineerig* (7a ed.). New York: John Wiley & Sons.
- [12] Magonon, P. L. (2001). *Ciencia de materiales: diseño y seleccion*. México: Pearson Educación.
- [13] Budynas, & Nisbett. (2008). *Shigley's Mechanical Engineering Design* (8a ed.). Mc Graw-Hill.

6.10.2 Biblioteca virtual UTA

<http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/1266/Tesis%20114%20-%20Criollo%20Camacho%20Marcia%20Ximena.pdf?sequence=1>

<http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/2613/Maestr%c3%ada%204%20-%20Vaca%20Ortega%20Wilson%20Henry.pdf?sequence=1>

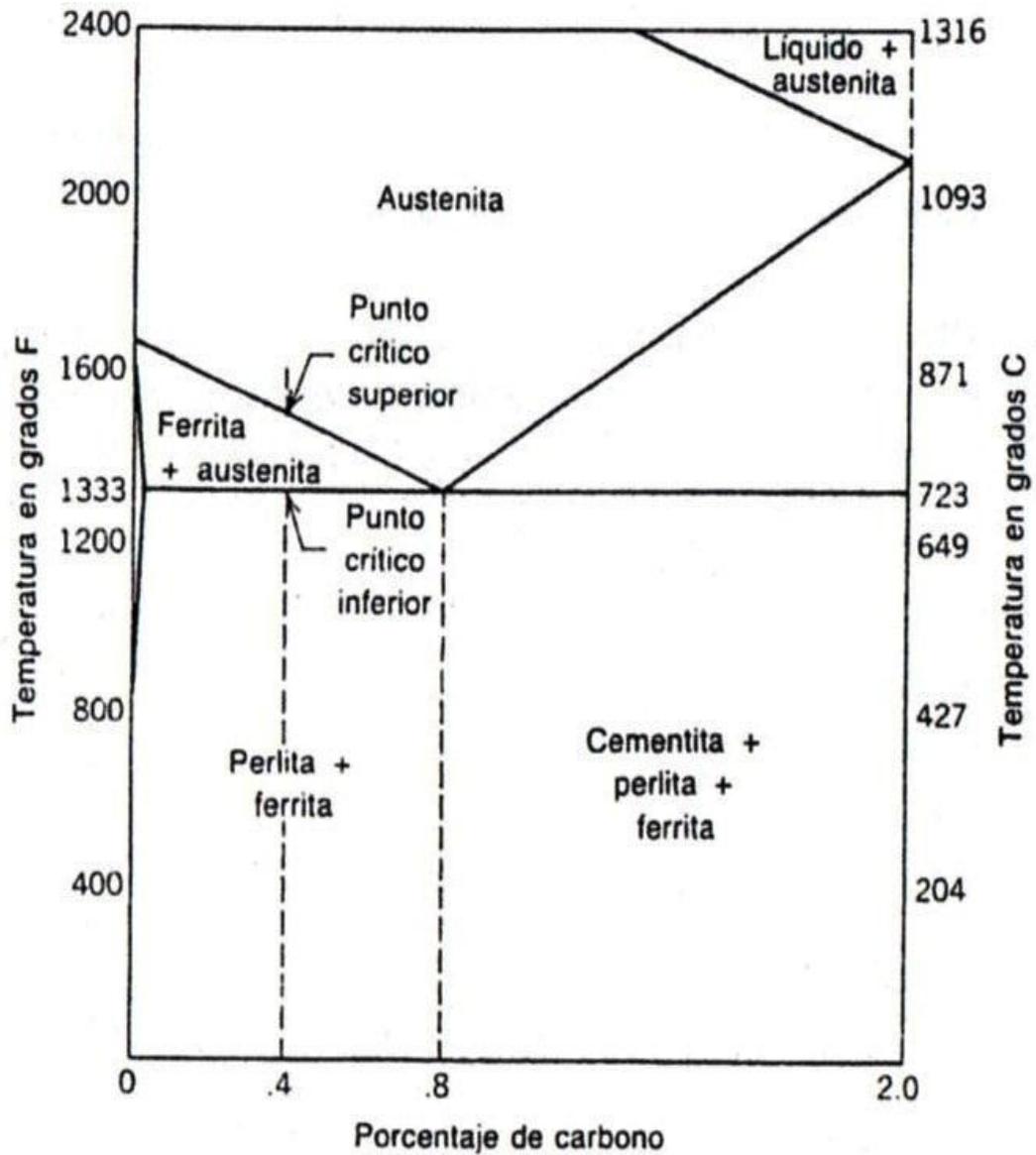
<http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/2220/Maestr%c3%ada%201%20-%20Esp%c3%adn%20Lagos%20Segundo%20Manuel.pdf?sequence=1>

<http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/4337/Tesis%20169%20-%20Atacus%c3%ad%20Hidalgo%20Braulio%20Patricio.pdf?sequence=1>

ANEXOS

ANEXO A. 1

Diagrama de fases simplificado del acero al carbono



Fuente: Neely, J. E. (2002). Metalurgia y materiales industriales. México: Limusa.

ANEXO A. 2

BÖHLER V 945



Tipo de aleación: C 0.45 Si 0.25 Mn 0.65 %

Color de Identificación: Blanco
 Estado de suministro: Recocido 180 HB

Equivalencia	AlSi: ~1045
	DIN: C45
	No. Mat. 1.1191

PROPIEDADES:

Acero al carbono de alta calidad, de mayores propiedades mecánicas que el acero de transmisión, puede mejorar sus propiedades mecánicas si es bonificado.

EMPLEO:

Para la fabricación de partes de maquinaria sometida a esfuerzos normales, como: árboles de transmisión, ejes, pernos, tuercas, ganchos, pines de sujeción, pasadores, cuñas, chavetas, portamatrices.

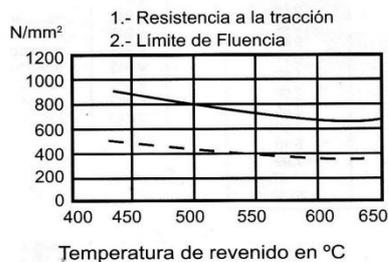
TRATAMIENTO TÉRMICO:

Forjado:	1100 – 850 °C
Recocido:	650 – 700 °C
enfriamiento lento en el horno	
Normalizado:	840 – 870 °C
Distensionado:	500 °C
Temple:	820 – 850 °C
enfriamiento en: agua, aceite (piezas pequeñas)	
Dureza obtenible:	54 – 56 HRC
Revenido:	ver en el diagrama de bonificación la resistencia requerida.
Nitruración:	en baño de sales 580 °C

PROPIEDADES MECÁNICAS

Estado	Diámetro mm	Límite de fluencia N/mm ²	Resistencia a la tracción N/mm ²	Alargamiento (L ₀ =5d) min %	Contracción min. %
Recocido	16 - 100	340	650 - 750	17	35
	100 - 250	330	580 - 700	18	---

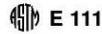
DIAGRAMA DE BONIFICACIÓN



Fuente: Manual de aceros especiales tratamientos térmicos Bolher, 2007

ANEXO A. 3

Extracto de la Norma ASTM E 111 Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus



limits of permissible variation in temperature are not to be construed as minimizing the importance of good practice and precise temperature control. All laboratories are obligated to keep the variation of indicated temperature from the actual temperature as small as is practical. Temperature changes during the test, within the allowable limits, can cause significant strain errors due to differences in thermal expansion of the test specimen and extensometer parts. Temperature changes should be minimized while making strain measurements.

8.7 In low-temperature testing in which the bath is cooled with dry ice or in which a refrigeration system is used, the temperature of the medium around the specimen should be maintained at temperatures within 1.5°C of the specified temperature. Measurement of bath temperatures or of circulating air from a refrigeration system may be done with a copper-constantan thermocouple or a suitable thermometer. If the specimen is submerged in a bath at the boiling point of the bath, sufficient soaking time (see Note 6) must be allowed to provide equilibrium conditions. Specimens tested in boiling liquids must meet the temperature control requirements specified in 8.6.

8.7.1 **Caution**—The boiling point of a commercial liquid gas may not be the same as the published temperature for the pure liquid gas.

8.8 *Temperature Measurement*—The method of temperature measurement must be sufficiently sensitive and reliable to ensure that the temperature of the specimen is within the limits specified in 8.6 and 8.7. Thermocouples in conjunction with potentiometers or millivolt meters are generally used to measure temperatures. A discussion of temperature measurement and the use of thermocouples is given in Test Methods E 21.

9. Interpretation of Data

9.1 If a plot of load-versus-extension is obtained by means of an autographic recorder, the value for Young's modulus may be obtained by determining the slope of the line for loads less than the load corresponding to the proportional limit. Choice of the lower load point depends on the limitations set forth in 8.1. Young's modulus is calculated from the load increment and corresponding extension increment, between two points on the line as far apart as possible, by use of the following equation:

$$E = \left(\frac{\Delta_p}{A_o}\right) \left(\frac{L_o}{\Delta_c}\right) \quad (1)$$

where:

- Δ_p = load increment,
- A_o = original cross-sectional area,
- Δ_c = extension increment, and
- L_o = original gage length.

The precision of the value obtained for Young's modulus will depend upon the precision of each of the values used in the calculation. It is suggested that the report include an estimate of the precision of the reported value of Young's modulus based on the summation of the precisions of the respective values. When the modulus determination is made at strains in excess of 0.25 %, corrections should be made for changes in cross-sectional area and gage length.

9.2 If the load-versus-extension data are obtained in numerical form, the errors that may be introduced by plotting the data and fitting graphically a straight line to the experimental points can be reduced by determining Young's modulus as the slope

of the straight line fitted to the appropriate data by the method of least squares. This method also permits statistical study of the data and therefore an evaluation of the variability of the modulus within the stress range employed. The equation for Young's modulus fitted by the method of least squares (all data pairs having equal weight) is:

$$\text{Young's modulus, } E = (\Sigma(XY) - K\bar{X}\bar{Y})/(\Sigma X^2 - K\bar{X}^2) \quad (2)$$

where:

Y = applied axial stress, and

X = corresponding strain.

In terms of the measured load P_i and measured original cross-sectional area A_o and gage length L_o ,

$$X = \frac{\Delta_c}{L_o}$$

$$Y = \frac{\Delta_p}{A_o}$$

$$\bar{Y} = \frac{\Sigma Y}{K} = \text{average of } Y \text{ values}$$

$$\bar{X} = \frac{\Sigma X}{K} = \text{average of } X \text{ value}$$

K = number of X, Y data pairs and Σ = sum from 1 to K .

The coefficient of determination, r^2 , indicates the goodness of fit achieved in a single test. This coefficient is defined as follows:

$$r^2 = \left(\left[\Sigma XY - \frac{\Sigma X \Sigma Y}{K} \right]^2 \right) / \left(\left[\Sigma X^2 - \frac{(\Sigma X)^2}{K} \right] \left[\Sigma Y^2 - \frac{(\Sigma Y)^2}{K} \right] \right) \quad (3)$$

Values of r^2 close to 1.00 are desirable (see Table 1).

NOTE 11—Many programmable calculators have built-in programs for calculating the slopes of straight lines fitted to a number of data pairs and their coefficient of determination. Details of the procedure may be found in standard textbooks on statistics or numerical analysis.^{6, 7, 8, 9}

⁶ Youden, W. J., *Statistical Methods for Chemists*, John Wiley and Sons, Inc., New York, NY, 1951, Ch. 5, pp. 40–49.

⁷ Fröberg, C. E., *Introduction to Numerical Analysis*, Second Edition, Addison Wesley Publishing Co., Reading, MA, 1969, p. 335.

⁸ *Experimental Statistics*, NBS Handbook No. 91. May be obtained from Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, Washington, DC 20402.

⁹ Bowker, A. H., and Lieberman, G. J., *Engineering Statistics*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1959, pp. 331–333.

TABLE 1 Fitting of Straight Lines Coefficient of Variation of Slope (Percent) (V_1)

Data Pairs (K)	Sample Correlation Coefficients (r)				
	0.90000	0.99000	0.99900	0.99990	0.99999
3	±48.4	±14.2	±4.47	±1.41	±0.447
5	27.9	8.22	2.58	0.816	0.258
10	17.1	5.03	1.58	0.500	0.158
20	11.4	3.35	1.05	0.333	0.105
30	9.1	2.69	0.84	0.267	0.084
50	6.9	2.05	0.64	0.204	0.064
100	4.8	1.44	0.45	0.142	0.045

A coefficient of variation¹⁰ can be assigned to the slope as follows (see Table 1 for representative values):

$$V_1 = 100 \sqrt{\frac{1}{r^2} - 1} \quad (4)$$

where:

V_1 = coefficient of variation, %

NOTE 12—It is recommended that the coefficient of variation be no larger than 2%; however with care, values less than 0.5% have been found to be achievable in aluminum alloys.

9.3 In determining the stress range for which data should be used in these calculations it is often helpful to examine the data by the strain deviation method.^{11, 12, 13} For this test method, random variations in the data are considered as variations in strain, a trial modulus is chosen so that the deviations will be small, and the strain deviations are calculated as follows: Strain deviation = strain - (stress/trial modulus). These deviations are plotted to a large scale as abscissas with the stresses or loads as ordinates (Fig. 2). The stress range for which data are used for obtaining Young's modulus may be determined by examining the deviation graph with the aid of transparent paper on which three equally spaced lines are drawn as indicated in Fig. 2. The spacing of the lines is determined in general by the random variations in strain deviation (extensometer least count).

9.4 Young's modulus may also be determined by means of the deviation graph by fitting graphically a straight line to the appropriate points. From this line the deviation increment corresponding to a given stress increment can be read and substituted in the following equation:

$$\text{Young's modulus} = A[(A/B) + C] \quad (5)$$

where:

A = stress increment,

B = trial modulus, and

C = deviation increment.

It is suggested that the strain corresponding to the spacing of the parallel lines be reported as measure of the variability of the data.

9.5 In the case of nonlinear elastic materials, the stress-strain curve may be obtained by fitting the load-versus-extension or load-versus-strain data pairs to a polynomial approximation⁷ and the chord modulus obtained in calculating the slope between two specified sets of data pairs below the elastic limit on the fitting curve. The choice of the lower of the two sets of data pairs depends on the limitations set forth in 8.1.

9.6 To establish confidence intervals for the regression line the following equation may be used:

$$\pm I = tV_1 \quad (6)$$

where:

I = percent of slope confidence interval,

V_1 = coefficient of variation, expressed in percent (see 9.2), and

t = t -statistic from standard tables at $K - 2$ degrees of freedom and confidence level selected.

Table 2 gives an example of representative values calculated using a 95% confidence interval.

10. Report

10.1 Report the following information:

10.1.1 *Specimen Material*—Describe the specimen material, alloy, heat treatment, mill batch number, grain direction, and so forth, as applicable.

10.1.2 *Specimen Configuration*—Include a sketch of the specimen configuration or reference to the specimen drawing.

10.1.3 *Specimen Dimensions*—State the actual measured dimensions for each specimen.

10.1.4 *Test Fixture*—Describe the test fixture or refer to fixture drawings.

10.1.5 *Testing Machine and Extensometers*—Include the make, model, serial number, and load range of the testing machine and the extensometers.

10.1.6 *Speed of Testing*—Record the test rate and mode of control.

10.1.7 *Temperature*—Record the temperature.

10.1.8 *Stress-Strain Diagram*—Include the stress-strain diagram showing both longitudinal and transverse strain with scales, specimen number, test data, rate, and other pertinent information.

10.1.9 *Young's Modulus, Tangent Modulus, Chord Modulus*—Report the required value in accordance with Section 9.

11. Precision and Bias

11.1 *Precision*—The following parameters are reported to impact upon the precision of this test method:

11.1.1 Characteristics of the specimen such as orientation of grains relative to the axial stress, grain size, residual stress, previous strain history, dimensions, and eccentricity.

11.1.2 Testing conditions such as alignment of the specimen, speed of testing, temperature, temperature variations, conditions of test equipment, ratio of error in load to the range in load values, and ratio of error in extension measurement to the range in extension values.

11.1.3 Interpretation of data such as whether graphical or digital data were taken, calibration of recording or data-logging

TABLE 2 Fitting of Straight Lines for 95 % Confidence Interval Percentage Values of Slope Confidence Interval (I)

Data Pairs (K)	t-Statistic	Sample Correlation Coefficients (r)			
		0.99000	0.99900	0.99990	0.99999
3	12.71	±180	±56.8	±17.9	±5.7
5	3.182	26.2	8.2	2.6	0.8
10	2.306	11.6	3.6	1.2	0.4
20	2.101	7.0	2.2	0.7	0.2
30	2.048	5.5	1.7	0.5	0.17
50	2.011	4.1	1.29	0.41	0.129
100	1.984	2.8	0.89	0.28	0.089

¹⁰ Niemeier, B., "Formability Testing for Precision and Accuracy," *Formability of Metallic Materials—2000 A.D.*, ASTM STP 753, 1979, pp. 296-314.

¹¹ Smith, C. S., "Proportional Limit Tests on Copper Alloys," *Proceedings*, ASTM, Vol 40, 1974, p. 864.

¹² McVetty, P. G., and Mochel, N. L., "The Tensile Properties of Stainless Iron and Other Alloys at Elevated Temperatures," *Transactions*, Am. Soc. Steel Treating, Vol 11, 1927, pp. 78-92.

¹³ Discussion by L. B. Tuckerman of paper by Templin, R. L., "The Determination and Significance of the Proportional Limit in the Testing of Metals," *Proceedings*, ASTM, Vol 29, Part II, 1929, p. 538.

Fuente: NORMA ASTM E 111 – 97 Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus

ANEXO A. 4

TABLAS

INDURA

DUREZA

TABLA COMPARATIVA DE DUREZA

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

Fuente: Manual de soldadura Indura

ANEXO A.5

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Documento: NTE INEN 109 Primera revisión	TÍTULO: ENSAYO DE TRACCIÓN PARA MATERIALES METÁLICOS A TEMPERATURA AMBIENTE	Código: MC 01.02-301
---	--	--------------------------------

ORIGINAL: Fecha de iniciación del estudio:	REVISIÓN: Fecha de aprobación anterior por Consejo Directivo 1973-11-27 Oficialización con el Carácter de OBLIGATORIA por Acuerdo No. 242 de 1975-02-20 publicado en el Registro Oficial No. 769 del 1975-03-25 Fecha de iniciación del estudio: 2007-07-04
--	---

Fechas de consulta pública: de _____ a _____

Subcomité Técnico: **ACEROS**

Fecha de iniciación: 2007-08-23

Fecha de aprobación: 2008-01-14

Integrantes del Subcomité Técnico:

NOMBRES:

INSTITUCIÓN REPRESENTADA:

Ing. Galo Idrobo	ADELCA.
Ing. Adriana Pulgar (Presidente)	NOVACERO S.A.
Ing. Marco Carrera	IDEAL ALAMBREC.
Ing. Ángel Estévez	UNIFER.
Arq. Luis Travez	UNIFER.
Ing. Miguel Erazo	CIMEPI
Ing. Mónica Muñoz	STEEL FLEX
InG. Sofía Yáñez	STEEL FLEX
Ing. Carlos Proaño	MIDUVI
Ing. Marco Paredes	ADELCA.
Ing. Anfbal Viñan	ESCUELA POLITÉCNICA DEL CHIMBORAZO
Ing. Patricio Villena	CAMARA DE LA CONSTRUCCIÓN DE QUITO
Ing Jaime Hernández	EMOP-Q
Ing. Justo Freire (Vicepresidente)	H CONSEJO P PICHINCHA.
Ing. Luis Gavilanes	MIDUVI
Ing. William Peña (Pro Secretario Técnico)	FEDIMETAL

Otros trámites: Esta norma anula a las NTE INEN 121 y 127.

El Directorio del INEN aprobó este proyecto de norma en sesión de 2008-10-24

Oficializada como: Voluntaria
Registro Oficial No. 538 de 2009-03-02

Por Resolución No. 119-2008 de 2009-01-27

ANEXO A.6

ACEROS BOEHLER DEL ECUADOR S.A. BOEHLER
RUC: 1791304667001

CONTRIBUYENTE ESPECIAL
 Resolución 194 del 10/12/1999



GUÍA DE REMISIÓN S004-001-00 0016575

AUTORIZACIÓN S.R.I.: 1112748317

Identificación del destinatario:
 Sr.
 VILLEGAS PROA#O DANIEL ALEJANDRO
 RUC/C.I.: 1804172458
 CALLE LIMPE Y MI#ARICA
 Tel: 032522459
 AMBATO - *Oficinas Los Andes*

Fecha Remisión: 25.06.2013
 N# pedido: 594318390
 Fecha pedido: 25.06.2013
 N# cliente: 59006867

Fecha inicio del traslado:

Fecha terminación del traslado:

Datos del Comprobante de Venta:

Tipo: Factura
 Fecha de Emisión:
 No. de Factura: 30187

Punto de Partida: Quito Sur / Ecuador
 Destino: Oficinas Los Andes
 Motivo del Traslado: Ventas

Item	Descripción	Unidad	Cantidad
10	5057002396 redonda 20 x 520 mm	7 PZA	10,500 KG

Identificación del Transportista:
 Nombre o Razón Social: Los Andes
 RUC:

Francis Jiménez / Gráficas Franco / RUC: 1100341971001 / Adm. 1675 / Fecha de Autorización: 18May2013 / Impreso del 081601 al 0018400 * FECHA DE CADUCIDAD: 16MAYO2014

Matriz: QUITO NORTE
 De las Avellanas El-112 y
 Panamericana Norte Km. 5 1/2
 Telf: 02 2473080 / 02 2473081 / 02 2478415
 02 2476138 / 02 2807937 / 02 2807936
 Fax: 02 2477918 Cel.: 099 4764247

Sucursal: QUITO SUR
 Guajaló - Av. Pedro Vicente Maldonado
 S22-151 y Taura
 Telefax: 02 3061418 / 02 3063721 / 02 3063653
 02 3063730 / 02 3063740 / 02 3063669
 Cel.: 099 7671136

Sucursal: CUENCA
 Av. Hurtado de Mendoza 219 y
 José Joaquín de Olmedo
 Telefax: 07 2805380 / 07 2802313
 Cel.: 099 4766686

Sucursal: GUAYAQUIL
 Via Daule Km. 7 1/2 s/n y Cuarta,
 PBX: 04 2262922
 Fax: 04 2257352
 Cel.: 099 4762359

VE-FO-15 V-1.0 20-12-08

Web Site: www.bohlerandina.com

CLIENTE

ACEROS BOEHLER DEL ECUADOR S.A. BOEHLER

RUC: 1791304667001

CONTRIBUYENTE ESPECIAL

Resolución 194 del 10/12/1999



FACTURA No. S004-001-00 0030187

AUTORIZACIÓN S.R.I.: 1112601547

CLIENTE
VILLEGAS PROA#O DANIEL ALEJANDRO
RUC/C.I.: 1804172458
DIRECCIÓN:
CALLE LIMPE Y MI#ARICA
TEL: 032522459
AMBATO

Fecha de factura: 25.06.2013
Expedida en: EC04 - Quito Sur
Nr. pedido cliente: Daniel Villegas
Vendedor: Gerencia Quito Sur
Cond. de entrega: FV Quito Sur
Condiciones de pago: CO12 Contado
Vencimiento: 25.06.2013
Guia de Remisión No: 16575
Referencia: 594717303

30187

Pos.	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Descuento	Valor USD
000010	5057002396 ACERO AISI/SAE 1045/CK45 Rd 20.00mm redonda 20 mm x 520 mm	10,500 KG	2,92 USD/KG		30,66
Subtotal 12%					30,66
Subtotal 0%					
Descuento					
Subtotal IVA					30,66
			12,00 %	30,66 USD	3,68
Valor total					34,34

Observaciones:

Despacho a Provincias
[Signature]
Jefe de Bodega

EL PRODUCTO QUE SE ENVIE POR
TRANSPORTES QUE NO PERTENECEN A LA
ORGANIZACION, VIAJA POR CUENTA Y
RIESGO DEL COMPRADOR

ACEROS BOEHLER DEL ECUADOR S.A.
CAJA - QUITO SUR

25 JUN. 2013

~~CANCELADO~~

[Signature]
DESPACHADO POR:

RECIBÍ CONFORME

Declaro haber recibido a entera satisfacción los productos y servicios detallados en esta factura y a la vez acepto la obligación del pago de este documento y todos los términos y condiciones que constan al reverse del mismo. Estimado cliente: Solo se dará por cancelada esta factura mediante la presentación del recibo de caja emitido y suscrito por ACEROS BOEHLER DEL ECUADOR S.A. Sirvase cancelar con cheque cruzado a la orden de ACEROS BOEHLER DEL ECUADOR S.A.

Matriz: QUITO NORTE
De las Avellanas El-112 y
Panamericana Norte Km. 5 1/2
Telf: 02 2473080 / 02 2473081 / 02 2478415
02 2476138 / 02 2807937 / 02 2807936
Fax: 02 2477918 Cel.: 09 94764247

Sucursal: QUITO SUR
Av. Pedro Vicente Maldonado
S22-151 y Taura - Guajala
Teléfono: 02 3061418 / 02 3063721 / 02 3063653
02 3063730 / 02 3063740 / 02 3063669
Cel.: 09 97671136

Sucursal: CUENCA
Av. Hurtado de Mendoza 219 y
José Joaquín de Olmedo
Teléfono: 07 2805380 / 07 2802313
Cel.: 09 94766686

Sucursal: GUAYAQUIL
Via Daule Km. 7 1/2 s/n y Cuarta
PBX: 04 2262922
Fax: 04 2257352
Cel.: 09 94762359

VE-FO-10 V-4.1 10-06-11

CLIENTE

Francelin Jimenez / Graficas Franco / RUC: 1100341971001 / Aut. 1675 / Fecha de Autorización: 16/Abril/2013 / Impreso del 0029501 al 0033100 • FECHA DE CADUCIDAD: 16/ABRIL/2014

ANEXO A. 7

Formato de registro de datos para el ensayo de tracción

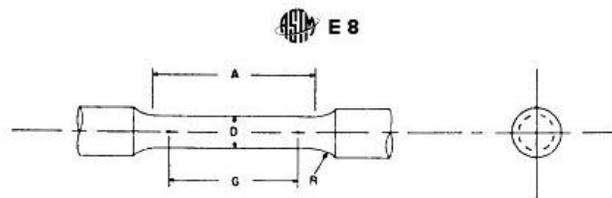
Carga	Deformación
0	
200	
400	
600	
800	
1000	
1200	
1400	
1600	
1800	
2000	
2200	
2400	
2600	
2800	
3000	
3200	
3400	
3600	
3800	
4000	
4200	
4400	
4600	
4800	
5000	
5200	
5400	
5600	
5800	
6000	
6200	
6400	
6600	
6800	
7000	
7200	
7400	
7600	
7800	
8000	
8200	
8600	
8800	
9000	

Deformación	Carga
10	
20	
30	
40	
50	
60	
70	
80	
90	
100	
110	
120	
130	
140	
150	
160	
170	
180	
190	
200	
210	
220	
230	
240	
250	
260	
270	
280	
290	
300	
310	
320	
330	
340	
350	
360	
370	
380	
390	
400	
410	
420	
430	
440	
450	

Fuente: Autor

ANEXO A. 8

Extracto de la Norma ASTM E 8 Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials.



	Dimensions				
	Standard Specimen		Small-Size Specimens Proportional to Standard		
	in.	in.	in.	in.	in.
Nominal Diameter	0.500	0.350	0.250	0.160	0.113
G—Gage length	2.000 ± 0.005	1.400 ± 0.005	1.000 ± 0.005	0.640 ± 0.005	0.450 ± 0.005
D—Diameter (Note 1)	0.500 ± 0.010	0.350 ± 0.007	0.250 ± 0.005	0.160 ± 0.003	0.113 ± 0.002
R—Radius of fillet, min	3/4	1/4	3/16	3/32	3/32
A—Length of reduced section, min (Note 2)	2 1/4	1 3/4	1 1/4	3/4	3/4

NOTE 1—The reduced section may have a gradual taper from the ends toward the center, with the ends not more than 1 % larger in diameter than the center (controlling dimension).

NOTE 2—If desired, the length of the reduced section may be increased to accommodate an extensometer of any convenient gage length. Reference marks for the measurement of elongation should, nevertheless, be spaced at the indicated gage length.

NOTE 3—The gage length and fillets may be as shown, but the ends may be of any form to fit the holders of the testing machine in such a way that the load shall be axial (see Fig. 9). If the ends are to be held in wedge grips it is desirable, if possible, to make the length of the grip section great enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips.

NOTE 4—On the round specimens in Figs. 8 and 9, the gage lengths are equal to four times the nominal diameter. In some product specifications other specimens may be provided for, but unless the 4-to-1 ratio is maintained within dimensional tolerances, the elongation values may not be comparable with those obtained from the standard test specimen.

NOTE 5—The use of specimens smaller than 0.250-in. diameter shall be restricted to cases when the material to be tested is of insufficient size to obtain larger specimens or when all parties agree to their use for acceptance testing. Smaller specimens require suitable equipment and greater skill in both machining and testing.

NOTE 6—Five sizes of specimens often used have diameters of approximately 0.505, 0.357, 0.252, 0.160, and 0.113 in., the reason being to permit easy calculations of stress from loads, since the corresponding cross-sectional areas are equal or close to 0.200, 0.100, 0.0500, 0.0200, and 0.0100 in.², respectively. Thus, when the actual diameters agree with these values, the stresses (or strengths) may be computed using the simple multiplying factors 5, 10, 20, 50, and 100, respectively. (The metric equivalents of these five diameters do not result in correspondingly convenient cross-sectional areas and multiplying factors.)

FIG. 8 Standard 0.500-in. Round Tension Test Specimen with 2-in. Gage Length and Examples of Small-Size Specimens Proportional to the Standard Specimen

6.6 Specimens for Wire, Rod, and Bar

6.6.1 For round wire, rod, and bar, test specimens having the full cross-sectional area of the wire, rod, or bar shall be used wherever practicable. The gage length for the measurement of elongation of wire less than 1/8 in. in diameter shall be as prescribed in product specifications. In testing wire, rod, or bar that has a 1/8-in. or larger diameter, unless otherwise specified, a gage length equal to four times the diameter shall be used. The total length of the specimens shall be at least equal to the gage length plus the length of material required for the full use of the grips employed.

6.6.2 For wire of octagonal, hexagonal, or square cross section, for rod or bar of round cross section where the specimen required in 6.6.1 is not practicable, and for rod or bar of octagonal, hexagonal, or square cross section, one of the following types of specimens shall be used:

6.6.2.1 *Full Cross Section* (Note 11)—It is permissible to reduce the test section slightly with abrasive cloth or paper, or machine it sufficiently to ensure fracture within the gage marks. For material not exceeding 0.188 in. in diameter or distance between flats, the cross-sectional area may be reduced to not less than 90 % of the original area without changing the shape of the cross section. For material over 0.188 in. in diameter or distance between flats, the diameter or distance between flats may be reduced by not more than 0.010 in.

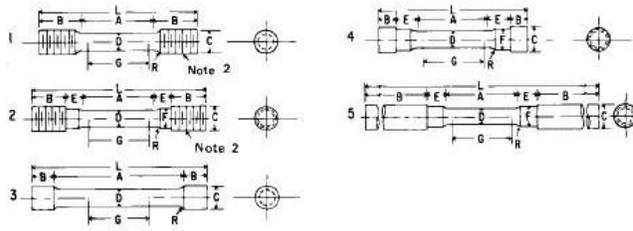
without changing the shape of the cross section. Square, hexagonal, or octagonal wire or rod not exceeding 0.188 in. between flats may be turned to a round having a cross-sectional area not smaller than 90 % of the area of the maximum inscribed circle. Fillets, preferably with a radius of 3/16 in., but not less than 1/8 in., shall be used at the ends of the reduced sections. Square, hexagonal, or octagonal rod over 0.188 in. between flats may be turned to a round having a diameter not smaller than 0.010 in. less than the original distance between flats.

NOTE 11—The ends of copper or copper alloy specimens may be flattened 10 to 50 % from the original dimension in a jig similar to that shown in Fig. 10, to facilitate fracture within the gage marks. In flattening the opposite ends of the test specimen, care shall be taken to ensure that the four flattened surfaces are parallel and that the two parallel surfaces on the same side of the axis of the test specimen lie in the same plane.

6.6.2.2 For rod and bar, the largest practical size of round specimen as described in 6.4 may be used in place of a test specimen of full cross section. Unless otherwise specified in the product specification, specimens shall be parallel to the direction of rolling or extrusion.

6.7 *Specimens for Rectangular Bar*—In testing rectangular bar one of the following types of specimens shall be used:

6.7.1 *Full Cross Section*—It is permissible to reduce the width of the specimen throughout the test section with abrasive



	Dimensions				
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
	in.	in.	in.	in.	in.
G—Gage length	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005	2.000 ± 0.005
D—Diameter (Note 1)	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010	0.500 ± 0.010
R—Radius of fillet, min	3/8	3/8	1/16	3/8	3/8
A—Length of reduced section	2 1/4, min	2 1/4, min	4, approximately	2 1/4, min	2 1/4, min
L—Over-all length, approximate	5	5 1/2	5 1/2	4 1/4	9 1/2
B—Length of end section (Note 3)	1 3/4, approximately	1, approximately	3/4, approximately	1/2, approximately	3, min
C—Diameter of end section	3/4	3/4	2 3/2	3/4	3/4
E—Length of shoulder and fillet section, approximate	...	3/4	...	3/4	3/4
F—Diameter of shoulder	...	3/4	...	3/4	1 1/2

NOTE 1—The reduced section may have a gradual taper from the ends toward the center with the ends not more than 0.005 in. larger in diameter than the center.

NOTE 2—On Specimens 1 and 2, any standard thread is permissible that provides for proper alignment and aids in assuring that the specimen will break within the reduced section.

NOTE 3—On Specimen 5 it is desirable, if possible, to make the length of the grip section great enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips.

FIG. 9 Various Types of Ends for Standard Round Tension Test Specimens

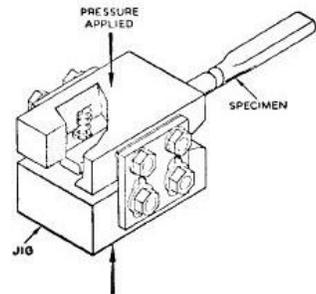


FIG. 10 Squeezing Jig for Flattening Ends of Full-Size Tension Test Specimens

cloth or paper, or by machining sufficiently to facilitate fracture within the gage marks, but in no case shall the reduced width be less than 90 % of the original. The edges of the midlength of the reduced section not less than 1/4 in. in length shall be parallel to each other and to the longitudinal axis of the specimen within 0.002 in. Fillets, preferably with a radius of 1/8 in. but not less than 1/16 in. shall be used at the ends of the reduced sections.

6.7.2 Rectangular bar of thickness small enough to fit the grips of the testing machine but of too great width may be reduced in width by cutting to fit the grips, after which the cut surfaces shall be machined or cut and smoothed to ensure

failure within the desired section. The reduced width shall be not less than the original bar thickness. Also, one of the types of specimens described in 6.2, 6.3, and 6.4 may be used.

6.8 Shapes, Structural and Other—In testing shapes other than those covered by the preceding sections, one of the types of specimens described in 6.2, 6.3, and 6.4 shall be used.

6.9 Specimens for Pipe and Tube (Note 12):

6.9.1 For all small tube (Note 12), particularly sizes 1 in. and under in nominal outside diameter, and frequently for larger sizes, except as limited by the testing equipment, it is standard practice to use tension test specimens of full-size tubular sections. Snug-fitting metal plugs shall be inserted far enough into the ends of such tubular specimens to permit the testing machine jaws to grip the specimens properly. The plugs shall not extend into that part of the specimen on which the elongation is measured. Elongation is measured over a length of 4D unless otherwise stated in the product specification. Fig. 11 shows a suitable form of plug, the location of the plugs in the specimen, and the location of the specimen in the grips of the testing machine.

NOTE 12—The term "tube" is used to indicate tubular products in general, and includes pipe, tube, and tubing.

6.9.2 For large-diameter tube that cannot be tested in full section, longitudinal tension test specimens shall be cut as indicated in Fig. 12. Specimens from welded tube shall be located approximately 90° from the weld. If the tube-wall thickness is under 1/4 in., either a specimen of the form and

Fuente: Norma ASTM E 8 Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials. (Página 6 – 7)

ANEXO A. 9

Extracto de la Norma ASTM E 3 Practica Estándar Para La Preparación De Muestras Metalográficas



Designation: E 3 – 95

An American National Standard

Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens¹

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 reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

1. Scope

1.1 The primary objective of metallographic examinations is to reveal the constituents and structure of metals and their alloys by means of the light 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 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, 1984.

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:*
- E 7 Terminology Relating to Metallography²
- E 45 Practice for Determining the Inclusion Content of Steel²
- E 340 Test Method for Macroetching Metals and Alloys²
- E 407 Test Methods for Microetching Metals and Alloys²
- E 1077 Test Method for Estimating the Depth of Decarburization of Steel Specimens²
- E 1268 Practice for Assessing the Degree of Banding or Orientation of Microstructures²
- E 1558 Guide to Electrolytic Polishing of Metallographic Specimens²

¹ This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee E-4 on Metallography and is the direct responsibility of Subcommittee E04.01 on Sampling, Specimen Preparation, and Photography.

Current edition approved Jan. 15, 1995. Published March 1995. Originally published as E 3 – 21 T. Last previous edition E 3 – 80 (1986).

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

3. Significance and Use

3.1 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.

3.2 Many specifications contain a requirement regarding microstructure; hence, a major use for metallographic examination is inspection to ensure that the requirement is met. Other major uses for metallographic examination are in failure analysis, and in research and development.

3.3 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.

4. Selection of Metallographic Specimens

4.1 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:

4.1.1 *General Studies or Routine Work*—Specimens from locations that are most likely to reveal the maximum variations within the material under study should be chosen. For example, specimens should be taken from a casting in the zones wherein maximum segregation might be expected to occur as well as specimens from sections where segregation should be at a minimum. In the examination of strip or wire, test specimens should be taken from each end of the coils.

4.1.2 *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. Specimens should be taken in many cases from a sound area for a comparison of structures and properties.

4.1.3 *Research Studies*—The nature of the study will dictate specimen location, orientation, etc. Sampling will usually be more extensive than in routine examinations.

4.2 Having established the location of the metallographic samples to be studied, the type of section to be examined must

be decided. 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. In hot-worked or cold-worked metals, both transverse and longitudinal sections should be studied. Special investigations may at times require specimens with surfaces prepared parallel to the original surface of the product. 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.

4.3 Cross sections or transverse sections taken perpendicular to the main axis of the material are more suitable for revealing the following information:

- 4.3.1 Variations in structure from center to surface,
- 4.3.2 Distribution of nonmetallic impurities across the section,
- 4.3.3 Decarburization at the surface of a ferrous material (see Test Method E 1077),

4.3.4 Depth of surface imperfections,

4.3.5 Depth of corrosion,

4.3.6 Thickness of protective coatings, and

4.3.7 Structure of protective coating.

4.4 Longitudinal sections taken parallel to the main axis of the material are more suitable for revealing the following information:

4.4.1 Inclusion content of steel (see Practice E 45),

4.4.2 Degree of plastic deformation, as shown by grain distortion,

4.4.3 Presence or absence of banding in the structure (see Practice E 1268), and

4.4.4 The quality attained with any heat treatment.

4.5 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.

5. Size of Metallographic Specimens

5.1 The 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 round. The height of the specimen should be no greater than necessary for convenient handling during polishing.

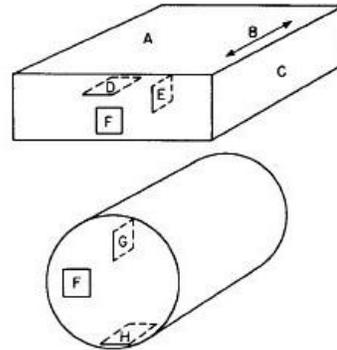
5.2 It is not always possible to secure specimens having the dimensions given in 5.1, when the material to be examined is smaller than the ideal dimensions. For example, in the polishing of wire, strip, and other small articles, it is necessary to mount the specimens because of their size and shape.

5.2.1 Larger samples may be mounted or not, as the available equipment dictates. However, the larger the specimen, the more difficult it is to prepare, especially by manual methods.

5.2.2 Specimens that are 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 Sections 7-9).

6. Cutting of Metallographic Specimens

6.1 In cutting the metallographic specimen from the main



Symbol in Diagram	Suggested Designation
A	Rolled surface
B	Direction of rolling
C	Rolled edge
D	Longitudinal (or lengthwise) section parallel to rolled surface
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.

body of the material, care must be exercised to minimize altering the structure of the metal. Three common types of sectioning are as follows:

6.1.1 Sawing, whether by hand or machine with lubrication, is easy and fast, and relatively cool. It can be used on all materials with hardnesses below approximately 35 HRC. It does produce a rough surface containing extensive plastic flow that must be removed in subsequent preparation.

6.1.2 An abrasive cut-off wheel will produce a smooth surface often ready for fine grinding. This method of sectioning is normally faster than sawing. The choice of cut-off wheel, 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 overheat the specimen, producing an alteration of the microstructure. As a general rule, soft materials are cut with a hard bond wheel and hard materials with a soft bond wheel. Aluminum oxide abrasive wheels are preferred for ferrous metals and silicon carbide wheels are preferred for nonferrous alloys. Abrasive cut-off wheels are essential for sectioning metals with hardnesses above about 35 HRC. Extremely hard metallic materials and ceramics may be more effectively cut using diamond-impregnated cutting wheels. Manufacturer's instructions should be followed as to the choice of wheel and speeds.

6.1.3 Flame cutting completely alters the structure of the metal at the flame cut edge. If flame cutting is necessary to remove the specimen, it should be cut sufficiently large so that it can be recut to the proper size by some other method that will not substantially alter the structure. Exercise care to ensure that

the region of interest is not altered by the heat of the cutting flame.

6.2 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.

7. Cleanliness

7.1 Cleanliness (see Appendix X1) during specimen preparation is essential. All greases and oils on the specimen should be removed by some suitable organic solvent. Failure to clean thoroughly can prevent cold mounting castable resins from adhering to the specimen surface. Ultrasonic cleaning is particularly effective in removing the last traces of residues on a specimen surface.

7.2 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. The coating can be removed by digestion in cold nitric acid (HNO_3 , sp gr 1.42), in dilute sulfuric acid (H_2SO_4) or in dilute hydrochloric acid (HCl). The 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.

7.3 Oxidized or corroded surfaces may be cleaned as described in Appendix X1.

8. Mounting of Specimens

8.1 There are many instances where it will be advantageous to mount the specimens prior to grinding and polishing. Mounting of the specimen is usually performed on small, flimsy, or oddly shaped specimens, fractures, or in instances where the specimen edges are to be examined.

8.2 Specimens may be either mechanically mounted, mounted in plastic, or a combination of the two can be used to provide optimum results.

8.3 Mechanical Mounting

8.3.1 Strip and sheet specimens are frequently mounted by binding or clamping several specimens into a pack held together by two end pieces and two bolts. Clamp mounting generally affords a means of rapid mounting with very good edge retention.

8.3.2 The specimens should be tightly bound together to prevent absorption and subsequent exudation of polishing materials or etchants.

8.3.3 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.

8.3.4 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.

8.3.5 Alternatively, the specimens may be coated with a

layer of phenolic or epoxy resin before being placed in the clamp in order to minimize the absorption of polishing materials or etchants.

8.3.6 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.

8.3.7 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.

8.3.8 Exercise care in clamping the specimen. Excessive clamping pressure may damage soft specimens; however, good sealing is required to prevent absorption of polishing materials or etchants.

8.4 Plastic Mounting

8.4.1 Specimens may be embedded in plastic to protect them from damage and to provide a uniform format for both manual and automatic preparation. This is the most common method for mounting metallographic specimens. Mounting plastics may be divided into two classes—compression mounting and castable.

8.4.2 When mounting specimens in plastic, exercise care in order to avoid rounding of specimen edges during the grinding operation. There are several methods available that prevent rounding. The specimens may be surrounded by hard shot, small rivets, rings, etc., of approximately the same hardness or, when using casting resin, a slurry of resin and alumina may be poured around the specimen to prevent rounding. The specimens may also be plated before mounting (see Section 9).

8.4.3 *Compression Mounting*—Thermosetting plastics require the use of a mounting press providing heat (up to approximately 160°C) and pressure (up to approximately 30 MPa). *The finished mounts can be ejected hot but the best results are obtained when the finished mount is cooled under pressure.* There are three types of thermosetting compression mounting plastics used predominantly in the metallographic laboratory. Regardless of the resin used to compression mount specimens, the best results are obtained when (1) the specimens are clean and dry, and (2) the cured mount is cooled under full pressure to below 30°C before ejection from the press.

8.4.3.1 Wood-filled bakelite resins cure in 5 to 10 min, are relatively inexpensive, can be obtained in several colors, and are opaque. These resins have a tendency to pull away from the specimen leaving a crevice, which will trap liquids that later can smear, stain, and obscure a portion of the specimen.

8.4.3.2 Diallyl phthalate resins are less likely to shrink and are more resistance to attack by etchants. They are more expensive than the phenolic resins with about the same hardness.

8.4.3.3 Filled dry epoxy resins provide minimal shrinkage. Commercial resins intended for metallography are usually filled with hard material, minimizing edge rounding during preparation. These resins are the most expensive of the three types of thermosetting plastics. Cost can be reduced by first adding a layer of filled epoxy resin and filling up the remainder of the press cavity with phenolic resin.

8.4.3.4 Resins are used in a similar fashion. Because of the

ANEXO A. 10

Extracto de la Norma ASTM E 112 – 96 Standard Test Method for Determining Average Grain Size



E 112

sections, produced by a random plane (surface of observation) through such a structure, would have a distribution of areas varying from a maximum value to zero, depending upon where the plane cuts each individual crystal. Clearly, no two fields of observation can be exactly the same.

5.2 The size and location of grains in a microstructure are normally completely random. No nominally random process of positioning a test pattern can improve this randomness, but random processes can yield poor representation by concentrating measurements in part of a specimen. *Representative* implies that all parts of the specimen contribute to the result, not, as sometimes has been presumed, that fields of average grain size are selected. Visual selection of fields, or casting out of extreme measurements, may not falsify the average when done by unbiased experts, but will in all cases give a false impression of high precision. For representative sampling, the area of the specimen is mentally divided into several equal coherent sub-areas and stage positions prespecified, which are approximately at the center of each sub-area. The stage is successively set to each of these positions and the test pattern applied blindly, that is, with the light out, the shutter closed, or the eye turned away. No touch-up of the position so selected is allowable. Only measurements made on fields chosen in this way can be validated with respect to precision and bias.

6. Sampling

6.1 Specimens should be selected to represent average conditions within a heat lot, treatment lot, or product, or to assess variations anticipated across or along a product or component, depending on the nature of the material being tested and the purpose of the study. Sampling location and frequency should be based upon agreements between the manufacturers and the users.

6.2 Specimens should not be taken from areas affected by shearing, burning, or other processes that will alter the grain structure.

7. Test Specimens

7.1 In general, if the grain structure is equiaxed, any specimen orientation is acceptable. However, the presence of an equiaxed grain structure in a wrought specimen can only be determined by examination of a plane of polish parallel to the deformation axis.

7.2 If the grain structure on a longitudinally oriented specimen is equiaxed, then grain size measurements on this plane, or any other, will be equivalent within the statistical precision of the test method. If the grain structure is not equiaxed, but elongated, then grain size measurements on specimens with different orientations will vary. In this case, the grain size should be evaluated on at least two of the three principle planes, transverse, longitudinal, and planar (or radial and transverse for round bar) and averaged as described in Section 16 to obtain the mean grain size. If directed test lines are used, rather than test circles, intercept counts on non-equiaxed grains in plate or sheet type specimens can be made using only two principle test planes, rather than all three as required for the planimetric method.

7.3 The surface to be polished should be large enough in area to permit measurement of at least five fields at the desired

magnification. In most cases, except for thin sheet or wire specimens, a minimum polished surface area of 160 mm² (0.25 in.²) is adequate.

7.4 The specimen shall be sectioned, mounted (if necessary), ground, and polished according to the recommended procedures in Practice E 3. The specimen shall be etched using a reagent, such as listed in Practice E 407, to delineate most, or all, of the grain boundaries (see also Annex A3).

TABLE 1 Suggested Comparison Charts for Metallic Materials

NOTE 1—These suggestions are based upon the customary practices in industry. For specimens prepared according to special techniques, the appropriate comparison standards should be selected on a structural-appearance basis in accordance with S 2.

Material	Plate Number	Basic Magnification
Aluminum	I	100X
Copper and copper-base alloys (see Annex A4)	III or IV	75X, 100X
Iron and steel:		
Austenitic	II or IV	100X
Ferritic	I	100X
Carburized	IV	100X
Stainless	II	100X
Magnesium and magnesium-base alloys	I or II	100X
Nickel and nickel-base alloys	II	100X
Super-strength alloys	I or II	100X
Zinc and zinc-base alloys	I or II	100X

8. Calibration

8.1 Use a stage micrometer to determine the true linear magnification for each objective, eyepiece and bellows, or zoom setting to be used within $\pm 2\%$.

8.2 Use a ruler with a millimetre scale to determine the actual length of straight test lines or the diameter of test circles used as grids.

9. Preparation of Photomicrographs

9.1 When photomicrographs are used for estimating the average grain size, they shall be prepared in accordance with Guide E 883.

10. Comparison Procedure

10.1 The comparison procedure shall apply to completely recrystallized or cast materials with equiaxed grains.

10.2 When grain size estimations are made by the more convenient comparison size method, repeated checks by individuals as well as by interlaboratory tests have shown that unless the appearance of the standard reasonably well approaches that of the sample, errors may occur. To minimize such errors, the comparison charts are presented in four categories as follows:⁴

10.2.1 *Plate I*—Un-twinned grains (flat etch). Includes grain size numbers 00, 0, 1/2, 1, 1 1/2, 2, 2 1/2, 3, 3 1/2, 4, 4 1/2, 5, 5 1/2, 6, 6 1/2, 7, 7 1/2, 8, 8 1/2, 9, 9 1/2, 10, at 100X.

10.2.2 *Plate II*—Twinned grains (flat etch). Includes grain size numbers, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, at 100X.

⁴ Plates I, II, III, and IV are available from ASTM Headquarters. Order Adjunct: ADJ/E011201 (Plate I), ADJ/E011202 (Plate II), ADJ/E011203 (Plate III), and ADJ/E011204 (Plate IV). A combination of all four plates is also available. Order Adjunct: ADJ/E011214.

10.2.3 *Plate III*—Twinned grains (contrast etch). Includes nominal grain diameters of 0.200, 0.150, 0.120, 0.090, 0.070, 0.060, 0.050, 0.045, 0.035, 0.025, 0.020, 0.015, 0.010, 0.005 mm at 75X.

10.2.4 *Plate IV*—Austenite grains in steel (McQuaid-Ehn). Includes grain size numbers 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, at 100X.

10.3 Table 1 lists a number of materials and the comparison charts that are suggested for use in estimating their average grain sizes. For example, for twinned copper and brass with a contrast etch, use Plate III.

NOTE 1—Examples of grain-size standards from Plates I, II, III, and IV are shown in Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3, and Fig. 4.

10.4 The estimation of microscopically-determined grain size should usually be made by direct comparison at the same magnification as the appropriate chart. Accomplish this by comparing a projected image or a photomicrograph of a representative field of the test specimen with the photomicrographs of the appropriate standard grain-size series, or with suitable reproductions or transparencies of them, and select the photomicrograph which most nearly matches the image of the test specimen or interpolate between two standards. Report this estimated grain size as the ASTM grain size number, or grain diameter, of the chart picture that most closely matches the image of the test specimen or as an interpolated value between two standard chart pictures.

10.5 Good judgment on the part of the observer is necessary to select the magnification to be used, the proper size of area (number of grains), and the number and location in the specimen of representative sections and fields for estimating the characteristic or average grain size. It is not sufficient to visually select what appear to be areas of average grain size. Recommendations for choosing appropriate areas for all procedures have been noted in 5.2.

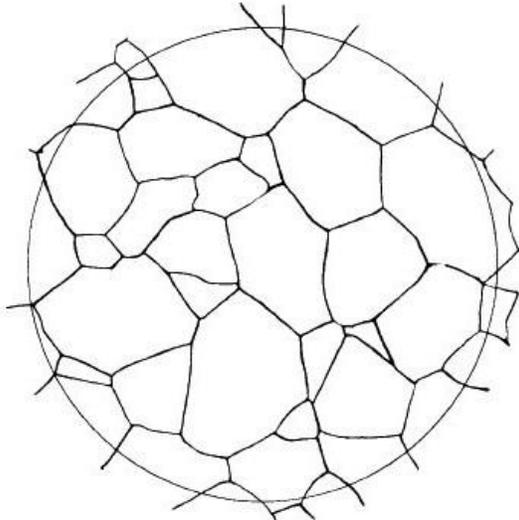


FIG. 1 Example of Untwinned Grains (Flat Etch) from Plate I. Grain Size No. 3 at 100X

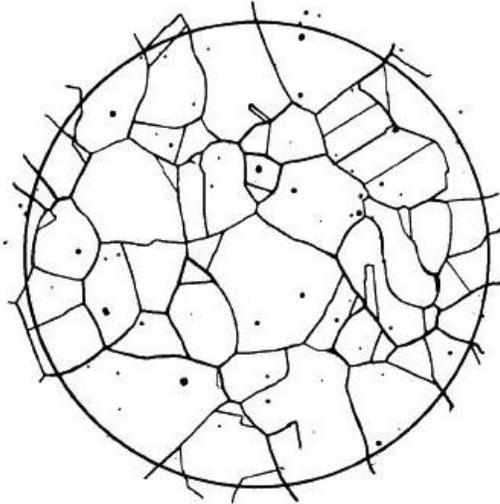


FIG. 2 Example of Twin Grains (Flat Etch) from Plate II. Grain Size No. 3 at 100X



FIG. 3 Example of Twin Grains (Contrast Etch) from Plate III. Grain Size 0.090 mm at 75X

10.6 Grain size estimations shall be made on three or more representative areas of each specimen section.

10.7 When the grains are of a size outside the range covered by the standard photographs, or when magnifications of 75X or 100X are not satisfactory, other magnifications may be employed for comparison by using the relationships given in Note 2 and Table 2. It may be noted that alternative magnifications

TABLE 4 Grain Size Relationships Computed for Uniform, Randomly Oriented, Equiaxed Grains

Grain Size No. <i>G</i>	\bar{N}_A Grains/Unit Area		\bar{A} Average Grain Area		\bar{d} Average Diameter		\bar{r} Mean Intercept		\bar{N}_L No./mm
	No./in. ² at 100X	No./mm ² at 1X	mm ²	μm ²	mm	μm	mm	μm	
00	0.25	3.88	0.2581	258004	0.5080	508.0	0.4525	452.5	2.21
0	0.50	7.75	0.1290	129032	0.3592	359.2	0.3200	320.0	3.12
0.5	0.71	10.96	0.0912	91239	0.3021	302.1	0.2891	289.1	3.72
1.0	1.00	15.50	0.0645	64516	0.2540	254.0	0.2263	226.3	4.42
1.5	1.41	21.92	0.0456	45620	0.2136	213.6	0.1903	190.3	5.26
2.0	2.00	31.00	0.0323	32258	0.1796	179.6	0.1600	160.0	6.25
2.5	2.83	43.84	0.0228	22810	0.1510	151.0	0.1345	134.5	7.43
3.0	4.00	62.00	0.0161	16129	0.1270	127.0	0.1131	113.1	8.84
3.5	5.68	87.68	0.0114	11405	0.1068	106.8	0.0951	95.1	10.51
4.0	8.00	124.00	0.00806	8065	0.0898	89.8	0.0800	80.0	12.50
4.5	11.31	175.36	0.00570	5703	0.0755	75.5	0.0673	67.3	14.87
5.0	16.00	248.00	0.00403	4032	0.0635	63.5	0.0566	56.6	17.88
5.5	22.63	350.73	0.00285	2851	0.0534	53.4	0.0476	47.6	21.02
6.0	32.00	496.00	0.00202	2016	0.0449	44.9	0.0400	40.0	25.00
6.5	45.25	701.45	0.00143	1426	0.0378	37.8	0.0336	33.6	29.73
7.0	64.00	992.00	0.00101	1008	0.0318	31.8	0.0283	28.3	35.36
7.5	90.51	1402.9	0.00071	713	0.0267	26.7	0.0238	23.8	42.04
8.0	128.00	1984.0	0.00050	504	0.0225	22.5	0.0200	20.0	50.00
8.5	181.02	2805.8	0.00036	356	0.0189	18.9	0.0168	16.8	59.46
9.0	256.00	3968.0	0.00025	252	0.0159	15.9	0.0141	14.1	70.71
9.5	362.04	5611.6	0.00018	178	0.0133	13.3	0.0119	11.9	84.09
10.0	512.00	7936.0	0.00013	126	0.0112	11.2	0.0100	10.0	100.0
10.5	724.08	11223.2	0.000089	89.1	0.0094	9.4	0.0084	8.4	118.9
11.0	1024.00	15872.0	0.000063	63.0	0.0079	7.9	0.0071	7.1	141.4
11.5	1448.15	22446.4	0.000045	44.8	0.0067	6.7	0.0060	5.9	168.2
12.0	2048.00	31744.0	0.000032	31.5	0.0056	5.6	0.0050	5.0	200.0
12.5	2896.31	44892.9	0.000022	22.3	0.0047	4.7	0.0042	4.2	237.8
13.0	4096.00	63488.0	0.000016	15.8	0.0040	4.0	0.0035	3.5	282.8
13.5	5792.62	89785.8	0.000011	11.1	0.0033	3.3	0.0030	3.0	336.4
14.0	8192.00	126976.3	0.000008	7.9	0.0028	2.8	0.0025	2.5	400.0

11. Planimetric (or Jeffries') (3) Procedure

11.1 In the planimetric procedure inscribe a circle⁸ or rectangle of known area (usually 5000 mm² to simplify the calculations) on a micrograph or on the ground-glass screen of the metallograph. Select a magnification which will give at least 50 grains in the field to be counted. When the image is focused properly, count the number of grains within this area. The sum of all the grains included completely within the known area plus one half the number of grains intersected by the circumference of the area gives the number of equivalent whole grains, measured at the magnification used, within the area. If this number is multiplied by the Jeffries' multiplier, *f*, in the second column of Table 5 opposite the appropriate magnification, the product will be the number of grains per square millimetre N_A . Count a minimum of three fields to ensure a reasonable average. The number of grains per square millimetre at 1X, N_A , is calculated from:

$$N_A = f \left(N_{\text{inside}} + \frac{N_{\text{intersected}}}{2} \right) \quad (4)$$

where *f* is the Jeffries' multiplier (see Table 5), N_{inside} is the number of grains completely inside the test circle and $N_{\text{intersected}}$ is the number of grains that intercept the test circle. The average grain area, \bar{A} , is the reciprocal of N_A , that is, $1/N_A$, while the mean grain diameter, \bar{d} , as listed on Plate III (see 10.2.3), is the square root of \bar{A} . This grain diameter has no

⁸ A transparent grid for the planimetric method is available from ASTM Headquarters. The transparency consists of two test circles, one with a diameter of 79.8 mm (5000 mm² area) and the other with a diameter of 159.6 mm (20 000 mm² area). Order Adjunct: AD/ED11223.

TABLE 5 Relationship Between Magnification Used and Jeffries' Multiplier, *f*, for an Area of 5000 mm² (a Circle of 79.8-mm Diameter) (*f* = 0.0002 *M*²)

Magnification Used, <i>M</i>	Jeffries' Multiplier, <i>f</i> , to Obtain Grains/mm ²
1	0.0002
10	0.02
25	0.125
50	0.5
75 ^A	1.125
100	2.0
150	4.5
200	8.0
250	12.5
300	18.0
500	50.0
750	112.5
1000	200.0

^A At 75 diameters magnification, Jeffries' multiplier, *f*, becomes unity if the area used is 5625 mm² (a circle of 84.5-mm diameter).

physical significance because it represents the side of a square grain of area \bar{A} , and grain cross sections are not square.

11.2 To obtain an accurate count of the number of grains completely within the test circle and the number of grains intersecting the circle, it is necessary to mark off the grains on the template, for example, with a grease pencil or felt tip pen. The precision of the planimetric method is a function of the number of grains counted (see Section 19). The number of grains within the test circle, however, should not exceed about 100 as counting becomes tedious and inaccurate. Experience suggests that a magnification that produces about 50 grains within the test circle is about optimum as to counting accuracy per field. Because of the need to mark off the grains to obtain an accurate count, the planimetric method is less efficient than

the intercept method (see Section 12).

11.3 Fields should be chosen at random, without bias, as described in 5.2. Do not attempt to choose fields that appear to be typical. Choose the fields blindly and select them from different locations on the plane of polish.

11.4 By original definition, a microscopically-determined grain size of No. 1 has 1 000 grains/in.² at 100X, hence 15 500 grains/mm² at 1X. For areas other than the standard circle, determine the actual number of grains per square millimetre, N_A , and find the nearest size from Table 4. The ASTM grain size number, G , can be calculated from N_A (number of grains per mm² at 1X) using (Eq 1) in Table 6.

12. General Intercept Procedures

12.1 Intercept procedures are more convenient to use than the planimetric procedure. These procedures are amenable to use with various types of machine aids. It is strongly recommended that at least a manual tally counter be used with all intercept procedures in order to prevent normal errors in counting and to eliminate bias which may occur when counts appear to be running higher or lower than anticipated.

12.2 Intercept procedures are recommended particularly for all structures that depart from the uniform equiaxed form. For anisotropic structures, procedures are available either to make separate size estimates in each of the three principal directions, or to rationally estimate the average size, as may be appropriate.

12.3 There is no direct mathematical relationship between the ASTM grain size number, G , and the mean lineal intercept, unlike the exact relationship between G , N_{AE} , N_L and \bar{A} (Eq 1) for the planimetric method. The relationship

$$\ell = \left(\frac{\pi}{4} \bar{A} \right)^{1/2} \tag{5}$$

between the mean lineal intercept, ℓ , and the average grain area, \bar{A} , is exact for circles but not quite exact for a structure of uniform equiaxed grains (see A2.2.2). Consequently, the relationship between the ASTM grain size number G and the mean lineal intercept has been defined so that ASTM No. 0 has a mean intercept size of precisely 32.00 mm for the macroscopically determined grain size scale and of 32.00 mm on a field of view at 100X magnification for the microscopically determined grain size scale. Thus:

$$G = 2 \log_2 \frac{\ell_0}{\ell} \tag{6}$$

TABLE 6 Grain Size Equations Relating Measured Parameters to the Microscopically Determined ASTM Grain Size, G

NOTE 1—Determine the ASTM Grain Size, G , using the following equation:

NOTE 2—The second and third equations are for single phase grain structures.

NOTE 3—To convert micrometres to millimetres, divide by 1000.

NOTE 4—A calculated G value of -1 corresponds to ASTM $G=00$.

Equation	Units
$G = (3.321928 \log_{10} \bar{N}_A) - 2.954$	N_A in mm^{-2}
$G = (6.643856 \log_{10} N_L) - 3.288$	N_L in mm^{-1}
$G = (6.643856 \log_{10} P_L) - 3.288$	P_L in mm^{-1}
$G = (-6.643856 \log_{10} \ell) - 3.288$	ℓ in mm

$$G = 10.00 - 2 \log_2 \ell \tag{7}$$

$$G = 10.00 + 2 \log_2 \bar{N}_L \tag{8}$$

where ℓ_0 is 32 mm and \bar{N}_L and \bar{N}_L are in millimetres at 1X or number of intercepts per mm for the macroscopically determined grain size numbers and in millimetres or number per mm on a field at 100X for the microscopically determined grain size numbers. Using this scale, measured grain size numbers are within about 0.01 G units of grain size numbers determined by the planimetric method, that is, well within the precision of the test methods. Additional details concerning grain size relationships are given in Annex A1 and Annex A2.

12.4 The mean intercept distance, $\bar{\ell}$, measured on a plane section is an unbiased estimate of the mean intercept distance within the solid material in the direction, or over the range of directions, measured. The grain boundary surface area-to-volume ratio is given exactly by $S_v = 2 N_L$ when N_L is averaged over three dimensions. These relations are independent of grain shape.

13. Heyn (4) Lineal Intercept Procedure

13.1 Estimate the average grain size by counting (on the ground-glass screen, on a photomicrograph of a representative field of the specimen, or on the specimen itself) the number of grains intercepted by one or more straight lines sufficiently long to yield at least 50 intercepts. It is desirable to select a combination of test line length and magnification such that a single field will yield the required number of intercepts. One such test will nominally allow estimation of grain size to the nearest whole ASTM size number, at the location tested. Additional lines, in a predetermined array, should be counted to obtain the precision required. The precision of grain size estimates by the intercept method is a function of the number of grain interceptions counted (see Section 19). Because the ends of straight test lines will usually lie inside grains (see 14.3), precision will be reduced if the average count per test line is low. If possible, use either a longer test line or a lower magnification.

13.2 Make counts first on three to five blindly selected and widely separated fields to obtain a reasonable average for the specimen. If the apparent precision of this average (calculated as indicated in Section 15) is not adequate, make counts on sufficient additional fields to obtain the precision required for the specimen average.

13.3 An *intercept* is a segment of test line overlaying one grain. An *intersection* is a point where a test line is cut by a grain boundary. Either may be counted, with identical results in a single phase material. When counting intercepts, segments at the end of a test line which penetrate into a grain are scored as half intercepts. When counting intersections, the end points of a test line are not intersections and are not counted except when the end appears to exactly touch a grain boundary, when 1/2 intersection should be scored. A tangential intersection with a grain boundary should be scored as one intersection. An intersection apparently coinciding with the junction of three grains should be scored as 1 1/2. With irregular grain shapes, the test line may generate two intersections with different parts of the same grain, together with a third intersection with the

Fuente: Norma ASTM E 112 Standard Test Method for Determining Average Grain Size. (Páginas: 4-5, 8-9).