

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA

“DETERMINACION REFERENCIAL DE LAS PRINCIPALES PROPIEDADES MECANICAS OBTENIDAS EN TRATAMIENTOS TERMICOS DE CIERTOS ACEROS DE BAJA ALEACION MEDIANTE EL USO DE UN SOFTWARE ESPECIALIZADO”

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

Luis Roberto Sotomayor Maldonado

Director: Ing. Víctor Andrade.

Codirector: Ing. Gonzalo Mora.

Sangolquí, Junio 2006

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “DETERMINACION REFERENCIAL DE LAS PRINCIPALES PROPIEDADES MECANICAS OBTENIDAS EN TRATAMIENTOS TERMICOS DE CIERTOS ACEROS DE BAJA ALEACION MEDIANTE EL USO DE UN SOFTWARE ESPECIALIZADO” fue realizado en su totalidad por Luis Roberto Sotomayor Maldonado, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

.....
Sr. Ing. Víctor Andrade.
DIRECTOR DEL PROYECTO

.....
Sr. Ing Gonzalo Mora.
CODIRECTOR DEL PROYECTO

Sangolquí, 2006-05-25

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

***“DETERMINACION REFERENCIAL DE LAS PRINCIPALES PROPIEDADES
MECANICAS OBTENIDAS EN TRATAMIENTOS TERMICOS DE CIERTOS
ACEROS DE BAJA ALEACION MEDIANTE EL USO DE UN SOFTWARE
ESPECIALIZADO”***

ELABORADO POR:

Luis Roberto Sotomayor Maldonado

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

Cap. Ing. Edgar Pazmiño
DECANO

Sangolquí, 2006-06-08

DEDICATORIA

Este trabajo deseo dedicarlo especialmente a Amparito, mi esposa, quien con su amor me ha brindado apoyo y ánimo durante todo el tiempo de la elaboración del proyecto, han sido muy importantes para alcanzar esta meta.

A mi hijo Luis David por quien he realizado este esfuerzo.

También a mis padres que desde el cielo seguramente están acompañándome en todos los momentos de mi vida.

A mi hermano Max a quien amo y apoyaré siempre.

Luis Sotomayor

AGRADECIMIENTO

Mi más profundo agradecimiento a mi tío el Dr. Vicente Maldonado, su ejemplo de seriedad y esfuerzo siempre ha sido fuente de inspiración en mi vida, junto a su esposa la Dra. Maritza Abdo de Maldonado. Gracias por su cariño y dedicación durante todos estos años en los que siempre han estado a mi lado para apoyarme y animarme.

Agradezco también a Mirek por su tiempo, sus consejos y por compartir grandes momentos en nuestras vidas personales y laborales. Gracias a todos mis familiares quienes por su amor me han estado animando en todo momento a concluir mi carrera profesional.

Deseo también agradecer a mis maestros y formadores especialmente a los ingenieros Guillermo Cabrera, Víctor Andrade, José Pérez, Gonzalo Mora, Fernando Olmedo, Carlos Naranjo y Emilio Tumipamba.

Deseo agradecer al Ing. Pablo Cuenca, Gerente Técnico de Aceros Bohler por la colaboración y facilidades ofrecidas en la elaboración de este proyecto.

INDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACION DEL PROYECTO	ii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
INDICE DE CONTENIDOS	vi
LISTADO DE TABLAS	x
LISTADO DE GRAFICAS	xii
LISTADO DE ANEXOS	xiii
CAPITULO 1	1
GENERALIDADES	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Definición del problema	2
1.3. Objetivos	2
1.3.1. Objetivo general	2
1.3.2. Objetivos específicos	2
1.4. Alcance	3
1.5. Justificación e importancia	5
CAPITULO 2	7
SELECCIÓN DEL SOFTWARE APROPIADO	7
2.1. Estudio de los programas existentes	7
2.1.1. Presentación de los diferentes programas encontrados	8
2.1.2. Selección del programa apropiado	10
2.1.3. Justificación de la selección	12
2.2. Presentación del programa	13
2.2.1. Versiones	13
2.2.2. Autores	13

2.2.3. Detalles específicos del programa	14
2.3. Opciones que brindan los programas	14
2.3.1. Presentación y desarrollo de cada una de las opciones	14
2.3.2. Glosario de términos y variables del programa	52
2.3.3. Ejemplo	54
CAPITULO 3	55
SELECCIÓN DE ENSAYOS Y ACEROS MÁS REPRESENTATIVOS	55
3.1. Estudio para selección de los ensayos más representativos	57
3.1.1. Listado de ensayos disponibles	58
3.1.2. Selección de los ensayos	58
3.1.3. Descripción de los ensayos escogidos	58
3.1.4. Detalles para la ejecución de los ensayos	60
3.2. Estudio para selección de los aceros comerciales más representativos	60
3.2.1. Elaboración de un listado de aceros comerciales de baja aleación	60
3.2.2. Selección de los aceros más representativos	62
3.2.3. Composición química de los aceros escogidos	62
3.2.4. Detalles para la adquisición del acero y elaboración de probetas	63
CAPITULO 4	67
ENSAYOS Y RESULTADOS	67
4.1. Ejecución de los ensayos	67
4.2. Tablas y gráficos de resultados	67
4.2.1. Resultados proporcionados por el software	67
4.2.2. Tablas y gráficos de resultados obtenidos en los ensayos	95
4.3. Análisis de resultados y conclusiones	106
4.3.1. Conclusiones	107

CAPITULO 5	111
DISEÑO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO	111
5.1. Elaboración de las guías de prácticas de laboratorio	111
5.1.1. Descripción de las prácticas	112
5.1.2. Instructivo para la ejecución de las prácticas	113
5.1.3 Formatos de registro	118
5.2. Ejecución de las prácticas	120
5.2.1. Desarrollo de las prácticas según diseño	120
5.2.2. Seguridades y precauciones	121
CAPÍTULO 6	123
ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO	123
6.1. Introducción	123
6.2. Costos directos	123
6.2.1. Materiales	123
6.2.2. Mecanizado y tratamientos térmicos	124
6.2.3. Ensayos	124
6.2.4. Horas de trabajo	125
6.3. Costos indirectos	125
6.3.1. Movilización	125
6.3.2. Varios	126
6.4. Total de costos	126
6.5. Beneficios	127
6.5.1. Gastos de un estudiante	127
6.5.2. Ahorro de un técnico	128
6.5.3. Valoración de las ventajas	129
6.6. Conclusión final	131

CAPITULO 7	133
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	133
7.1. Conclusiones	133
7.2. Recomendaciones	134
BIBLIOGRAFÍA	135
ANEXOS	137

LISTADO DE TABLAS

Tabla 2.1. Matriz de selección del software	12
Tabla 3.1. Ventas de acero año 2005	61
Tabla 3.2. Composición química de lo aceros escogidos	62
Tabla 3.3. Límite en los porcentajes de elementos aleantes del acero	63
Tabla 4.1. Datos de composición química acero V945-STEAL	67
Tabla 4.2. Datos de composición química del acero E920-STEAL	77
Tabla 4.3. Datos de composición química del acero V155-STEAL	86
Tabla 4.4. Dureza desde el extremo acero V945	96
Tabla 4.5. Dureza desde el extremo acero E920	97
Tabla 4.6. Dureza desde el extremo acero V155	98
Tabla 4.7. Dureza muestra 1 acero V945 templado en agua	99
Tabla 4.8. Dureza muestra 2 acero V945 templado en aceite	99
Tabla 4.9. Dureza muestra 1 acero E920 templado en agua	100
Tabla 4.10. Dureza muestra 2 acero E920 templado en aceite	100
Tabla 4.11. Dureza muestra 1 acero V155 templado en agua	101
Tabla 4.12. Dureza muestra 2 acero V155 templado en aceite	101
Tabla 4.13. Dureza probeta 1 acero V945	102
Tabla 4.14. Dureza probeta 2 acero V945	103
Tabla 4.15. Dureza probeta 1 acero E920	103
Tabla 4.16. Dureza probeta 2 acero E920	104
Tabla 4.17. Dureza probeta 1 acero V155	104
Tabla 4.18. Dureza probeta 2 acero V155	105
Tabla 4.19. Comparativo de resultados en muestras templadas	106
Tabla 4.20. Comparativo de resultados en probetas templadas	107
Tabla 6.1. Costo de materiales	124
Tabla 6.2. Costo de mecanizado	124
Tabla 6.3. Costo de elaboración de ensayos	125
Tabla 6.4. Costos de movilización	125
Tabla 6.5. Costos varios	126
Tabla 6.6. Total de gastos	126

Tabla 6.7. Gastos de estudiante caso 1	128
Tabla 6.8. Gastos de estudiante caso 2	128
Tabla 6.9. Criterios de valoración de los beneficios	129
Tabla 6.10. Calificación de las ventajas del programa	130

LISTADO DE GRAFICOS

Gráfico 3.1. Aceros vs. Cantidad	61
Gráfico 4.1. Curva de templabilidad acero V945 - STECAL	69
Gráfico 4.2. Curva Temperatura vs. Dureza acero V945 – STECAL	75
Gráfico 4.3. Curva Temperatura vs. Esfuerzo de fluencia acero V945 - STECAL	75
Gráfico 4.4. Curva Temperatura vs. Esfuerzo último de tracción Acero V945 – STECAL	76
Gráfico 4.5. Gráfico temperatura vs. Porcentaje de elongación Acero V945 – STECAL	76
Gráfico 4.6. Curva de templabilidad acero E920 - STECAL	78
Gráfico 4.7. Curva Temperatura vs. Dureza acero E920 – STECAL	84
Gráfico 4.8. Curva Temperatura vs. Esfuerzo de fluencia acero E920 - STECAL	84
Gráfico 4.9. Curva Temperatura vs. Esfuerzo último de tracción Acero E920 – STECAL	85
Gráfico 4.10. Gráfico temperatura vs. Porcentaje de elongación Acero E920 – STECAL	85
Gráfico 4.11. Curva de templabilidad acero V155 - STECAL	87
Gráfico 4.12. Curva Temperatura vs. Dureza acero V155 – STECAL	93
Gráfico 4.13. Curva Temperatura vs. Esfuerzo de fluencia acero V155 - STECAL	93
Gráfico 4.14. Curva Temperatura vs. Esfuerzo último de tracción Acero V155 – STECAL	94
Gráfico 4.15. Gráfico temperatura vs. Porcentaje de elongación Acero V155 – STECAL	94
Gráfico 4.16. Curva de templabilidad real acero V945	96
Gráfico 4.17. Curva de templabilidad real acero E920	97
Gráfico 4.18. Curva de templabilidad real acero V155	98
Gráfico 5.1. Gráfico probeta para ensayo Jominy	114

LISTADO DE ANEXOS

Anexo 1. Brochure del programa	138
Anexo 2. Especificación de la probeta para ensayo de tracción	140
Anexo 3. Hojas técnicas de los ensayos de temple y revenido	142
Anexo 4. Tablas de resultados de tracción según ASM	155

RESUMEN

El proyecto de grado con el título “Determinación Referencial De Las Principales Propiedades Mecánicas Obtenidas En Tratamientos Térmicos De Ciertos Aceros De Baja Aleación Mediante El Uso De Un Software Especializado” elaborado por Luis Sotomayor y con la dirección de los ingenieros Víctor Andrade y Gonzalo Mora tiene como objetivo principal el análisis de un programa de computación encargado de predecir el comportamiento de diferentes aceros bajo ciertas condiciones .

Mediante la elaboración de este proyecto se quiere aportar con una herramienta, por un lado para la enseñanza a los estudiantes de Ingeniería Mecánica de la ESPE en una de las áreas más importantes como es la de Diseño y Materiales y por otro lado como un soporte adicional para los profesionales especializados en ésta área de manera que puedan utilizar el programa en su trabajo diario.

Tener la mayor cantidad de ayudas didácticas válidas para los estudiantes de ingeniería aumenta la calidad de enseñanza de la Facultad y por ende de la Universidad, sumando al objetivo de liderazgo propuesto en el Mapa Estratégico de la ESPE cumpliendo con su Misión y Visión.

La investigación en la Ciencia de los Materiales en el Ecuador, específicamente en el área de tratamientos térmicos, se la puede profundizar a través de determinar si se puede utilizar al software en forma confiable por parte de los estudiantes de Ingeniería Mecánica como de los técnicos dedicados a los tratamientos térmicos. Esto se lo puede establecer mediante la simulación experimental de los procesos y comparar los resultados obtenidos en forma real con los que brinda el programa.

El estudio de un programa de computación apropiado ayudará a mejorar la comprensión del comportamiento de los aceros sometidos a tratamientos

térmicos siempre y cuando se tenga la certeza de que sus resultados son válidos.

De manera que se proponen en el proyecto la realización de diferentes ensayos susceptibles de realizarse en los Laboratorios de la ESPE, y también otras pruebas en lugares específicos como la planta de tratamientos térmicos de Aceros Bohler del Ecuador, comparar los resultados y sacar las conclusiones y recomendaciones respectivas.

Un primer paso para la elaboración del proyecto consiste en la selección de un software apropiado, tomando en cuenta para ello varias características como son: el idioma, la plataforma de operación, la factibilidad de conseguirlo, la posibilidad de comparar sus resultados de una manera fácil y clara y por último los objetivos que persigue el software, sean estos académicos o científicos.

Una vez escogido el o los programas se presentan en el proyecto sus cualidades, opciones que brindan, es decir, se da a conocer los diferentes cálculos, a partir de que datos se realizan los mismos, que parámetros podemos variar, la visualización de tablas y gráficos para hacer los análisis correspondientes.

El Laboratorio de Metalurgia de la ESPE cuenta al momento con dos software para este estudio, el primero es netamente académico, el cual fue escogido por su capacidad de explicar en forma sencilla pero clara, las instrucciones para la elaboración de prácticas de laboratorio. Puede ser usado como un excelente complemento en la parte académica. El segundo es mucho más avanzado, pues a partir de los datos de composición química del acero puede realizar diferentes cálculos divididos en dos áreas fundamentales: datos para realizar los tratamientos térmicos y resultados obtenidos de los tratamientos térmicos.

Para lograr el objetivo general propuesto es necesario conocer de antemano cuales son las propiedades mecánicas principales de un acero, estas son: la dureza, resistencia a la tracción, resistencia al impacto, resistencia a la fatiga y templabilidad.

De modo que uno de los pasos del proyecto es determinar que ensayos se van a realizar, asegurándose que los resultados de estos se los pueda comparar con los del programa.

El programa entre otras cosas permite determinar la temperatura de austenización, temperaturas críticas, diámetros equivalentes, dureza final después de diferentes tiempos y temperaturas de revenido, esfuerzo de fluencia, esfuerzo último a la tracción, deformación, curva de templabilidad, relación entre el diámetro y la distancia desde el extremo templado, dureza después del temple en diferentes medios de enfriamiento e influencia del tamaño de grano en los resultados.

El programa llamado STECAL, dentro de su menú cuenta nada más con las opciones de dureza y de resistencia a la tracción, en función de esto los ensayos escogidos fueron: dureza en diferentes muestras de una barra redonda sometida al temple en diferentes medios de enfriamiento, dureza en probetas sometidas a temple y revenido y por último ensayo de tracción en una probeta templada y revenida. Los principales parámetros de variación que se utilizan son la temperatura, el tiempo y velocidad de enfriamiento.

Un tercer paso es escoger, de una gran variedad de aceros existentes en el mercado, los más comerciales con el limitante impuesto por el título del proyecto que sean de baja aleación, es decir entre 0.15% y 0.65% de Carbono. Estos datos fueron proporcionados por la empresa Aceros Bohler del Ecuador, basados en las ventas anuales de acero.

Una vez establecidos los ensayos y los aceros con los cuales se va a desarrollar el estudio propuesto, junto al profundo estudio del software, se presenta la metodología seguida que consiste en:

- Compra de las muestras de los aceros
- Realización del diseño y mecanizado de las probetas
- Someter las muestras a los tratamientos térmicos en Aceros Bohler.

- Tomar en el Laboratorio de Metalurgia de la ESPE las medidas de dureza
- Realizar el ensayo de tracción en el Laboratorio de Resistencia de Materiales.
- Presentación de cuadros de resultados
- Comparar los resultados proporcionados: por el software y en forma real.

En una segunda parte se procede a realizar un estudio del ensayo Jominy, por lo que se utiliza una serie de probetas existentes en el Laboratorio de Metalurgia de la ESPE, se obtiene la curva de templabilidad y compara con la gráfica del software.

Para finalizar el proyecto se presenta una propuesta de prácticas de laboratorio como un aporte concreto a la Facultad de Ingeniería Mecánica de la ESPE, de manera que el estudio realizado sirva en el futuro para otros estudiantes. En estas prácticas se presentan los objetivos, instructivos, formatos de registro de cada una de ellas.

El costo del proyecto, tomando en cuenta la compra de materiales, mecanizado, pruebas, tiempos de trabajo, movilización es de 3533.73, una cifra que sin ser muy baja se la puede considerar aceptable si la comparamos con los insuperables beneficios del aprendizaje e investigación de un software como el que se presenta.

Al final del proyecto se exponen las conclusiones y recomendaciones, rescatando como principal la siguiente:

Se pudo estudiar el software STECAL con la suficiente profundidad, su funcionamiento y posibilidades que ofrece, además se pudo validar algunos de sus resultados sobre todo lo que tiene que ver con propiedades mecánicas del acero mediante la selección de aceros y ensayos específicos concluyendo que su uso debe ser referencial.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

Los procesos de manufactura donde se necesitan piezas resistentes al desgaste y al impacto tienen una gran variedad de aplicaciones en todo tipo de industrias, fabricantes, matrices, alimentos y otras.

Los ingenieros especializados en el área de diseño encontrarán en su trabajo la necesidad de enviar las piezas construidas a tratamiento térmico especialmente de temple, cementado, recocido, normalizado y otros.

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.

Existen programas especializados en determinar las propiedades mecánicas de ciertos aceros, es necesario validar sus resultados.

La investigación en la Ciencia de los Materiales en el Ecuador, específicamente en el área de tratamientos térmicos, se la puede profundizar a través de la comprobación experimental de los resultados entregados por un software especializado.

El proyecto también pretende dar una visión más amplia de la aplicación de los estudios en la vida profesional puesto que el estudiante debe entender para qué y por qué realiza las actividades diseñadas en su plan académico.

1.2 DEFINICION DEL PROBLEMA

El Laboratorio de Metalurgia de la ESPE, desea contar entre sus prácticas con la comprobación de resultados obtenidos de un software que predice las propiedades mecánicas de aceros de baja aleación sometidos a tratamientos térmicos para profundizar el estudio de los materiales y colaborar con el desarrollo de las ciencias en nuestro país.

Actualmente se cuenta con programas que determinan las propiedades mecánicas resultantes de los tratamientos térmicos en aceros. Mediante la elaboración de este proyecto se pretende seleccionar a uno de ellos y validar sus resultados mediante la experimentación en ensayos de laboratorio.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar las principales propiedades mecánicas obtenidas en tratamientos térmicos de ciertos aceros de baja aleación mediante el uso de un software especializado.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Seleccionar el software apropiado para predecir las propiedades mecánicas obtenidas en tratamientos térmicos con ciertos aceros de baja aleación.
2. Presentar y dar a conocer las diferentes posibilidades que ofrece el programa seleccionado para el estudio de los tratamientos térmicos de los aceros de baja aleación.
3. Seleccionar los ensayos y los aceros que se van a realizar para validar los resultados del programa.
4. Realizar los ensayos en el Laboratorio de Metalurgia de la ESPE y documentar los resultados comparándolos con los del programa.

5. Diseñar prácticas de laboratorio para los estudiantes de Ingeniería Mecánica de la ESPE.

1.4 ALCANCE

En el desarrollo de este proyecto se considerarán algunos programas de computación que realizan cálculos a partir de ciertos datos de aceros de baja aleación, y determinar en forma referencial ciertas propiedades mecánicas, principalmente dureza.

El proyecto comprende también la elaboración de ensayos de tracción que van a permitir comprender las características mecánicas de los materiales obtenidas luego de recibir un tratamiento térmico. Esto ayuda en el diseño mecánico a los ingenieros y es el aporte científico que se pretende dar.

Realizar ensayos que validen los resultados proporcionados por el software define la confiabilidad que tiene este y por lo tanto la seguridad que puede tener un diseñador al ocupar esos datos en sus proyectos y en su trabajo diario, junto al ahorro de tiempo y de recursos que conllevaría realizar las pruebas cada vez que se necesiten.

Utilizar un software de estas características como una herramienta en el diseño mecánico constituye un aporte considerable sobre todo en lo que tiene que ver con la selección de materiales y su respectivo tratamiento térmico, en un futuro se debería considerar diversos tipos de acero y no solo los de baja aleación.

Sin embargo el mayor aporte de este trabajo es el área académica pues un buen uso y un adecuado seguimiento por parte de profesores y estudiantes incrementarán la preparación y comprensión de ésta parte de la Ingeniería Mecánica, dando un matiz de mayor profundidad en el estudio de la ciencia de los materiales a los alumnos de la ESPE específicamente.

Se buscará los programas especializados existentes en el mercado y se hará una matriz de selección que nos permita escoger a uno de ellos.

Una vez que se tiene el software analizaremos sus opciones, es decir, estudiaremos a profundidad como funciona de modo que podamos aprovechar las bondades que ofrece de la mejor manera posible, además conocer sus parámetros, variables, menús de trabajo, al final se expondrá un ejemplo para que se visualice los resultados.

En los capítulos tres y cuatro se presenta una selección de los ensayos y aceros más representativos que se utilizarán para comprobar y validar los resultados del software, se hará una descripción de los mismos, con la ayuda por un lado del manual de procedimientos, instructivos y formatos de registro del Laboratorio de Metalurgia de la ESPE más bibliografía apropiada y por otro con catálogos proporcionados por las comercializadoras de aceros en el Ecuador.

A continuación se presenta los resultados obtenidos de la realización de las pruebas de laboratorio y se hace gráficos y cuadros comparativos con los del programa para determinar las respectivas conclusiones.

Se quiere asegurar que el proyecto tenga un aporte académico para los estudiantes de Ingeniería Mecánica de la ESPE y profundicen sus conocimientos en esta área, por lo que se diseñarán prácticas de Laboratorio aplicativas al estudio realizado para que los profesores puedan utilizarlas en sus programas de enseñanza.

Finalmente tendremos un estudio económico y las conclusiones y recomendaciones obtenidas de la elaboración del proyecto.

1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Entender los tratamientos térmicos en aceros es importante para estudiantes y profesionales pues deben considerar las propiedades mecánicas que obtendrán con los materiales sometidos a estos procesos para la selección apropiada en sus diseños.

El estudio de un programa de computación apropiado ayudará a mejorar la comprensión del comportamiento de los aceros sometidos a tratamientos térmicos siempre y cuando se tenga la certeza de que sus resultados son válidos.

Mediante la elaboración de este proyecto se quiere aportar con una herramienta para la enseñanza a los estudiantes de Ingeniería Mecánica de la ESPE en una de las áreas más importantes como es la de Diseño y Materiales.

Es necesario cada día mejorar la formación profesional de los estudiantes de Ingeniería Mecánica de la ESPE, de acuerdo a las nuevas tecnologías y con la mayor cantidad de ayudas disponibles que permitan visualizar y comprender los fenómenos físicos estudiados.

Tener la mayor cantidad de ayudas didácticas válidas para los estudiantes de ingeniería aumenta la calidad de enseñanza de la Facultad y por ende de la Universidad, sumando al objetivo de liderazgo propuesto en el Mapa Estratégico de la ESPE cumpliendo con su Misión y Visión.

CAPITULO 2

SELECCIÓN DEL SOFTWARE APROPIADO

2.1. ESTUDIO DE LOS PROGRAMAS EXISTENTES

En este capítulo se quiere dar a conocer los diferentes programas de computación encontrados y escoger a uno de ellos que por sus características sirva para realizar el estudio propuesto.

La selección del programa se hará mediante una matriz donde se calificará ciertos parámetros importantes que debe poseer para su aplicación.

Exista la posibilidad de realizar la determinación de más de un programa dependiendo de las bondades que cada uno brinde, siempre con el objetivo primordial de comprender de la mejor manera el estudio teórico de las propiedades mecánicas en los aceros sometidos a tratamientos térmicos.

Dentro de este estudio se contemplan temas principales, enmarcados en un marco teórico como son: la templabilidad y la dureza.

Una vez que se tenga el software escogido se lo estudiará a profundidad, se presentará las generalidades del mismo como son las versiones en las que existe, sus autores y demás detalles, así como los diferentes menús que ofrece, los datos que solicita para realizar sus cálculos, las diferentes pantallas que despliega, gráficos y resultados y por último se propone un ejemplo para visualizar su comportamiento, además se expondrá un glosario de términos y variables que ocupa.

2.1.1 PRESENTACIÓN DE LOS DIFERENTES PROGRAMAS ENCONTRADOS

Para la elaboración de este proyecto se ha investigado a través del Internet y otras fuentes la posibilidad de tener un software apropiado para determinar propiedades mecánicas en aceros de baja aleación sometidos a tratamientos térmicos.

Se han conseguido pocos software especializados pero destacamos tres que son: STECAL, TT06-2001, DEFORM HT.

A continuación se expone las características de cada uno de ellos.

2.1.1.1 STECAL

Este programa se tiene disponible en versión 1.1 para DOS. Está diseñado para calcular las principales propiedades mecánicas de aceros de baja aleación a partir de su composición química.

El programa fue creado por el Departamento de Materiales y Producción Aeroespacial de la Escuela Técnica de Ingenieros Aeronáuticos de la Universidad Politécnica de Madrid en el año 1989.

Entre las principales opciones que ofrece están la del Diagrama Hierro-Carbono, Datos principales de tratamientos térmicos, Curvas Dureza-Temperatura, Resultados del Ensayo Jominy.

Actualmente existe en una versión 3.0, su costo es de 350, USD.

VER ANEXO1.

Stecal 3.0 es un programa diseñado para predecir las propiedades obtenidas con tratamientos térmicos en aceros de baja aleación.

Funciona en un formato para Microsoft Windows. Resulta de mucha ayuda para comparar aceros de diferentes composiciones y puede precisar el tratamiento térmico más efectivo para un acero en particular.

Puede determinar datos como temperaturas críticas mínimas, punto crítico de calentamiento, temperatura de austenización, durezas obtenidas, puede generar diagramas, curvas de Dureza vs. Temperatura, cálculo de esfuerzo-deformación, gráficos de templabilidad a partir del ensayo Jominy.

2.1.1.2 TT06-2001

Este programa fue creado en la Universidad de Carabobo, Venezuela, consiste en simular prácticas del Laboratorio de Materiales en cuatro áreas: Análisis Térmico, Tratamientos Térmicos, Templabilidad y Recristalización.

Expone también pequeños conceptos teóricos en las pantallas, no es especialista en aceros, el idioma es el español, contiene un menú de evaluaciones, glosario y calculadora.

Este programa es interesante por ser netamente académico, simula y expone resultados de prácticas de laboratorio que pueden ser realizadas por los estudiantes de Ingeniería Mecánica. Enseña en forma interactiva.

2.1.1.3 DEFORM HT

Este programa es capaz de realizar la simulación de fenómenos complejos durante los procesos de tratamientos térmicos, incluyendo, normalización, recocido, templado, revenido, envejecimiento y carburización. Su programación está basada en métodos avanzados de elementos finitos, puede ser usado para predecir la distribución de dureza, fracción de volumen de estructuras metálicas, distorsión, esfuerzo/deformación, y distribución de contenido de carbono en el proceso de carburización.

Tiene aplicaciones para un amplio rango de sistemas de aleación, incluyendo acero, aluminio y titanio.

El software corre bajo UNIX en estaciones de trabajo HP, IBM, SGI, DEC Alpha y SUN, se requieren 64 MB de RAM, 500 MB de espacio libre en el disco, un monitor a color y es distribuido en formato CD-ROM.

Es diseñado y comercializado por Scientific Forming Technologies Corp.

2.1.2 SELECCIÓN DEL PROGRAMA APROPIADO

2.1.2.1 Forma de Selección

Para la selección del programa apropiado para el proyecto se realizará una matriz de selección, esta matriz consiste en ponderar parámetros establecidos y luego de una sumatoria establecer el de mayor puntaje.

Los parámetros que se ha escogido por su importancia son:

- A. Idioma
- B. Disponibilidad del Software
- C. Objetivos del Software: Académico, No Académico
- D. Factibilidad de comprobar los resultados en el Laboratorio de Metalurgia de la ESPE
- E. Existencia de Parámetros de Dureza y Templabilidad
- F. Plataforma del Programa

Estos parámetros de ponderarán del 1 al 3 de acuerdo a lo siguiente:

A. Idioma

- 1. Otros
- 2. Inglés
- 3. Español

B. Disponibilidad de Software

1. No está disponible
2. Se debe comprar
3. Está disponible

C. Objetivos del Software

1. No Académico
2. Académico
3. Investigación

D. Factibilidad de comprobar los resultados

1. Ninguno es Factible
2. Algunos son Factibles
3. Todos son Factibles

E. Existen las principales propiedades a comprobar: dureza y templabilidad

1. No existen
2. Existe al menos una
3. Si Existen

F. Plataforma en la que funciona el Software

1. Otros
2. DOS
3. Windows

2.1.2.2 Matriz de selección

PROGRAMA	A	B	C	D	E	F	TOTALES
STECAL	2	3	3	2	3	2	15
TT06-2001	3	3	2	3	3	3	17
DEFORM HT	2	2	3	2	2	1	12

Tabla 2.1 Matriz de Selección

2.1.2.3 Resultados de la Matriz

Según la matriz de selección se debe optar por el programa TT6-2001 por el mayor puntaje, sin embargo la diferencia con el STECAL radica básicamente en el idioma por un lado y en la factibilidad de comprobar sus resultados por otro.

2.1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA SELECCIÓN

Para el proyecto de determinar las principales propiedades mecánicas obtenidas en tratamientos térmicos con aceros de baja aleación se ha escogido principalmente al software STECAL ya que posee características muy importantes para este estudio como son su facilidad de comprensión, la posibilidad de tenerlo como una herramienta de trabajo en cualquier PC, ya sea del laboratorio o de los estudiantes. El TT06-2001 cuenta con el menú de ayudas teóricas, glosario de términos, evaluaciones, el idioma en el que se encuentra es el castellano, se encuentra diseñado en un ambiente interactivo de Windows, los ensayos propuestos son fáciles de realizar pero es netamente académico.

El estudio a profundidad del Stecal 1.1 que es la versión disponible, sobre todo en lo que corresponde a la composición química y poder comparar sus resultados con los prácticos cumple de mejor manera con los objetivos del proyecto, además Stecal tiene una perspectiva un poco más científica y de investigación por lo que puede ser de gran ayuda para un estudio de los temas

que conciernen a la Ciencia de los Materiales, lo utilizaremos en lo que tiene que ver con los diagramas de ensayo Jominy, resistencias a la tracción y durezas.

2.2 PRESENTACIÓN DEL PROGRAMA

2.2.1 VERSIONES

El programa TT06-2001 tiene una única versión en formato de Windows.

Stecal tiene su última versión 2005, su costo es de 350,00 USD, pero tenemos disponible la versión 1.1 para DOS que es la que se va a utilizar, puesto que las versiones de los software se basan en sus predecesoras y como el objetivo del proyecto es comprobar sus resultados mediante la experimentación bastará con ella.

2.2.2 AUTORES

El Ing. Eleazar Díaz es el creador del programa HT06-2001, mientras que Pascual Tarín lo es del STECAL.

2.2.3 DETALLES ESPECÍFICOS DEL PROGRAMA

Aparte de los vistos en la presentación del programa y de su selección, donde se pueden apreciar sus ventajas y compararse con otros se puede decir adicionalmente que el HT06-2001 es fácil de usar, tiene muchos gráficos para las diferentes variables, realiza los ensayos paso a paso, nos permite realizar

cálculos de ingeniería prácticos, utilización de fórmulas, parámetros para realizar los ensayos más precisos que nos permitirán reproducirlos en el Laboratorio en forma real y poder sacar mejores conclusiones. Se debe señalar que el programa es multimedia, es decir nos hace saber los pasos a seguir no solo en forma visual sino auditiva también.

El programa STECAL, en cambio basa todos sus cálculos en función de la composición química del acero y de esta manera delimita su estudio a los aceros de baja aleación, es decir aceros con bajo porcentaje de carbono, entre 0.15 y 0.65 % de C.

2.3 OPCIONES QUE BRINDAN LOS PROGRAMAS

2.3.1 PRESENTACIÓN Y DESARROLLO DE CADA UNA DE LAS OPCIONES

INICIO

Para dar inicio a la ejecución del programa se hace doble clic en el icono del ejecutable TT06-2001.

En ese momento se abre una pantalla de bienvenida al programa, junto con un resumen de los temas diseñados en el programa con gráficos y fotos.

A continuación se abre una pantalla donde solicita el nombre del usuario.

Se escribe en el espacio indicado el nombre y la tecla ENTER, ingresando al menú del programa.

DESARROLLO DEL MENU

En esta parte se tienen dos posibilidades: a) Elegir una opción de la barra principal de la ventana o b) elegir uno de los temas para realizar prácticas.

En el primer caso la barra principal nos muestra 4 opciones: File, Información Inicial, Evaluaciones y Ayuda.

FILE

En este menú simplemente se presenta la opción de salir: Quit ctrl.+Q

INFORMACION ADICIONAL

En este menú se desarrollan opciones para escoger la posibilidad de afirmar conocimientos teóricos, estos son: Deformación, Diagramas de Fase, Diagramas de Fase (Cálculo), Diagrama Fe-C, Metalografía y TTT.

Estos menús también se despliegan durante la realización de las prácticas donde es oportuno.

EVALUACION

En este menú aparecen los temas que se pueden escoger para realizar una evaluación o una prueba interactiva de lo que se ha aprendido, estos temas son: Análisis Térmico, Recristalización, Templabilidad, Tratamientos Térmicos, Resultados Totales.

AYUDA

Si se escoge este menú se puede encontrar las opciones de: Glosario, Calculadora, Agradecimiento.

A continuación se detalla la segunda posibilidad, elegir uno de los temas para realizar prácticas, el programa nos muestra 4 tipos de prácticas que podemos realizar: Análisis Térmico, Tratamientos Térmicos, Templabilidad y Recristalización, haciendo un clic en cualquiera de ellos se accederá inmediatamente a la práctica correspondiente, cada una está identificada claramente por el nombre y un gráfico.

ANALISIS TERMICO

Está identificada por el gráfico tiempo-temperatura.

Nos muestra la siguiente pantalla con dos opciones: curvas de enfriamiento o diagramas de fase, las dos para aleaciones plomo-estaño.

CURVAS DE ENFRIAMIENTO

Cuando escogemos la opción de curvas de enfriamiento el programa nos muestra dichas curvas para diferentes composiciones y realiza un análisis de inicio y fin de la solidificación por el cambio de temperatura de mayor a menor. Pregunta al usuario las diferentes temperaturas en donde existe cambio de pendiente en la curva que se muestra en la pantalla.

Al final presenta en un gráfico Temperatura vs. Tiempo en forma simultánea todas las curvas de enfriamiento para las diferentes composiciones de Pb-Sn y señala los puntos de: inicio de la solidificación, fin de la solidificación, inicio de la reacción eutéctica y fin de la reacción eutéctica.

Para completar la práctica muestra un registro de preguntas contestadas correctas e incorrectas.

DIAGRAMAS DE FASE

Al escoger la opción de diagramas de fase, se despliega una pantalla con un gráfico Temperatura Vs. Tiempo y una tabla de datos obtenida de las curvas de enfriamiento, a continuación se pide al usuario señalar los diferentes puntos en el gráfico de acuerdo a preguntas que realiza el sistema.

Al final aparecen las líneas: líquido, sólido y solvus por los puntos marcados en el gráfico seguido de el llenado por colores por zonas de acuerdo a: zona líquida, zona sólida de los dos compuestos, zona mixta sólida para los dos compuestos y zona mixta líquido-sólido para los dos compuestos, completando con esto el diagrama de fase.

En esta parte se quiere presentar un comparativo con lo que realiza el SETECAL acerca de este tema de diagramas de fase.

Para iniciar las sesiones en el STECAL, se debe ingresar la composición química de un acero exclusivamente y obligatoriamente de baja aleación es decir con los siguientes parámetros:

%C	0.15 – 0.65	?
%Mn	<2	?
%Si	<1	?
%P	<0.1	?
%S	<0.3	?
%Cr	<1.5	?
%Ni	<4	?
%Mo	<0.5	?
Boro	Y / N	?

Una vez ingresados los datos se pregunta al usuario si los datos son correctos:

DATA CORRECT <Y/N>?

Si escogemos la opción N, podemos reingresar nuevamente los datos, si escogemos Y, entramos al menú principal donde encontramos lo siguiente:

MAIN MENU

SELECT:

1. PORTION OF THE Fe-C DIAGRAM
2. CODE FIGURES OF STEEL
3. DATA FOR HEAT TREATMENTS: IT DIAGRAM
4. CRITICAL DIAMETERS: CT DIAGRAM
5. HARDNESS TEMPERING CURVES
6. JOMINY END-QUENCH HARDENABILITY CURVES
7. HARDNESS DISTRIBUTION IN ROUND BAR

<D> TO MODIFY ANY DATA

<A> ANOTHER STEEL

<E> EXIT

<P> PRINTER OUTPUT: (YES ↔ NO)

<G> GRAPHICS (YES ↔ NO)

<C> TO SEE STEEL DATA

Para el análisis que se está realizando escogemos la opción 1, el programa despliega una pantalla donde nos muestra el porcentaje de carbono y la temperatura de la reacción eutectoide, junto a una tabla de temperaturas críticas para la línea A3.

Damos un ENTER y aparecerá el diagrama de Fase Hierro-Carbono del acero con la composición química ingresada por el usuario.

TRATAMIENTOS TERMICOS

Esta es la segunda opción para las prácticas de laboratorio del HT06-2001 y despliega las siguientes opciones:

ENFRIAMIENTO	RECOCIDO
	NORMALIZADO

xxxiv



Las siguientes opciones funcionan de la misma manera:

RECOCIDO, NORMALIZADO, TEMPLE Y REVENIDO

Cuando se escoge esta opción el programa pide al usuario el % de carbono, se escribe el dato y como resultado se obtiene la temperatura recomendada de recocido, normalizado, temple o revenido, junto a un diagrama de fase Fe-C.

En la siguiente pantalla después de hacer clic en continuar aparece una simulación de una pieza de acero entrando a un horno a la temperatura establecida para el tratamiento térmico y se dibuja un gráfico Temperatura – tiempo para comprender como es el proceso.

El programa nos permite escoger la opción de analizar por medio de metalografía una muestra en el microscopio para ver el resultado obtenido, esto nos abre la posibilidad de comprobarlo experimentalmente en el Laboratorio.

La siguiente opción que se tiene es la de los tratamientos térmicos sin cambio en la composición química con enfriamiento escalonado, estos son:

ISOTÉRMICOS, AUSTEMPERING Y MARTEMPERING

Cuando se hace clic en cualquiera de ellos el programa se comporta de manera similar, aparece una pantalla con el diagrama TTT de un acero eutectoide y dependiendo del tratamiento térmico se indica en un recuadro el objetivo del proceso y las temperaturas a las cuales se lo realiza.

Seguidamente se tiene una simulación que consiste en introducir una pieza de acero al horno, mantenerla por un tiempo determinado, luego sacarla a un ambiente temperado por otro intervalo de tiempo y finalmente al aire. La temperatura del ambiente temperado depende del objetivo que se persigue, es decir si se quiere conseguir perlita (isotérmicos), bainita (austempering) o martensita (martempering), esto se observa acompañado de un gráfico temperatura – tiempo.

Finalmente se observa la muestra metalográfica al microscopio para comprobar la obtención de la estructura deseada.

Para terminar con el estudio de los tratamientos térmicos se puede escoger aquellos en los cuales existe cambio de composición química, estos son:

CEMENTACION Y NITRURACION

Haciendo un clic en cualquiera de ellos inmediatamente se pasa a la simulación del proceso, dependiendo del mismo se lo hace en una atmósfera rica en carbono o en nitruros, acompañado de una gráfica temperatura – tiempo, para luego pasar a mostrar la estructura obtenida en una muestra metalográfica en el microscopio.

TEMPLABILIDAD

Esta práctica considera la elaboración del ensayo Jominy que consiste en calentar una probeta sobre la temperatura de austenización y luego enfriar el extremo con un chorro de agua y medir la dureza a todo el largo de la probeta.

Haciendo clic en continuar aparece la simulación del ensayo, luego se realiza un gráfico, por un lado señalando las distancias desde el extremo enfriado (mm) y por otro la velocidad de enfriamiento en cada punto ($^{\circ}\text{C} / \text{seg.}$)

Luego se indica que se debe mecanizar la probeta a una profundidad de 0.38 mm y se mide las durezas sobre las superficies planas a las diferentes distancias marcadas en el gráfico anterior.

Se señalan los puntos que se cortan en el eje x, distancia al extremo enfriado, y en el eje y la dureza Rc. (Rockwell C)., al unir los puntos se obtiene la curva de templabilidad.

Posteriormente se observan las curvas de velocidad de enfriamiento en cada punto de la probeta y se superponen sobre ellas las curvas de transformación de diferentes aceros con igual composición de carbono pero diferentes aleaciones y paralelamente se observan en otro recuadro las curvas de enfriamiento para esos aceros.

Al final de este estudio se presenta una aplicación práctica, el programa va detallando las instrucciones para el usuario paso a paso. Esta aplicación consiste en determinar el tipo de acero más adecuado para fabricar un eje de 75mm de diámetro con una dureza de 45Rc.

Cuando se ejecuten los ensayos de comprobación se puede utilizar el STECAL 1.1 para comparar resultados por composición química del acero, esto aumentará la comprensión del ensayo Jominy.

RECRISTALIZACION

En esta práctica se realiza la consideración de un alambre trefilado en frío y luego recocido.

Se observa la simulación del trefilado de un alambre de acero 1010 desde un diámetro de 6.3 mm hasta 2.38 mm. La pantalla muestra también las diferentes formas de grano en cada una de las secciones y hace notar la diferencia.

Luego se observa como se toman muestras de cada una de las secciones y se les realiza un ensayo de tracción acompañado de la gráfica carga-deformación.

Aparece una tabla con el diámetro de la sección, carga de fluencia, carga máxima, alargamiento y con estos datos el usuario debe determinar área, esfuerzo de fluencia, esfuerzo máximo, deformación y porcentaje de reducción de área.

Esto se realiza para todas las probetas o muestras de cada sección.

Con los datos obtenidos se elabora el gráfico Propiedades-Reducción de área. El programa indica al usuario colocar los puntos en la gráfica de acuerdo a los datos de la tabla que se muestra en pantalla, obteniendo las curvas de esfuerzo máximo, esfuerzo de fluencia y deformación.

A continuación se simula el recocido de cinco diferentes muestras de la sección final del trefilado a diferentes temperaturas por una hora y se observa una gráfica temperatura-tiempo.

Cada una de estas muestras será sometida a un ensayo de tracción, realizado el mismo procedimiento anterior observando la gráfica y completando la tabla de datos. Con los mismos datos se observa una gráfica Esfuerzo-Temperatura,

allí se muestran las curvas de las propiedades de esfuerzos y deformación a las diferentes temperaturas de recocido.

Posteriormente se observa las gráficas simultáneamente del alambre trabajado en frío y del alambre trabajado en frío y luego recocido. El programa le pide al usuario escoger el diámetro del alambre del cual desea comparar el comportamiento de las propiedades y sacar sus conclusiones.

A continuación se encuentra el análisis completo de las opciones que brinda el STECAL, de forma que se pueda utilizar de la mejor manera posible los programas informáticos y lograr el objetivo propuesto de este proyecto que es determinar ciertas propiedades mecánicas del acero.

Se va a presentar el desarrollo de las opciones que brinda el STECAL, versión 1.1 para DOS.

Al hacer doble clic en el icono ejecutable del STECAL aparece inmediatamente la siguiente pantalla:

SteCal, version 1.1

Computing properties of steels from their composition

Low allow steels: Their properties and how to obtain them

Created by: Pascual Tarín-Remohí

Programmed by Pascual Tarín-Remohí
Ramon Serevent-Miró

Departamento de Materiales y Técnica Aeroespacial
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Aeronáuticos
Universidad Politécnica de Madrid
28040-MADRID. SPAIN

Copyright, 1989. Licensed to ASM INTERNATIONAL

ENTER to continue

Se da ENTER y aparece otra pantalla en inglés. Para efectos del proyecto se la va a traducir.

El programa autorizado, se vende sin garantía de ninguna clase, expresadas o implicadas, incluyendo, pero no limitadas por garantías de comercialización y propiedad intelectual para un propósito en particular. Todo el riesgo como la calidad y el desarrollo del programa autorizado son del cliente.

La licencia no garantiza que las acciones que contienen los programas autorizados vayan a cumplir los requerimientos del cliente o el funcionamiento de los programas autorizados estén libres de errores. Sin embargo, la licencia garantiza que el diskette esté libre de defectos bajo condiciones normales de uso, en un período de 90 días a partir de la fecha de entrega al cliente como consta en la copia de la factura de pago.

ENTER to continue

Nuevamente se da ENTER y comienza la operación misma del programa , el software da inicio pidiendo los datos de acero:

Data of steel?..:

Steel Reference?..:

% C (.15< %C < .65)?..:

% Mn (< 2.0)?.....:

% Si (< 1.0)?.....:

% P (< 0.1)?.....:

% S (< 0.3)?.....:

% Cr (< 1.5)?.....:

% Ni (< 4.0)?.....:

% Mo (< 0.5)?.....:

Boron [Y/N] ?.....:

Grain Size?.....:

ASTM, (4<GS<10)

Data correct [Y/N]?

Se ingresa los datos dependiendo de la composición química del acero y al último el sistema pregunta si los datos son correctos, si se ingresa la Y (yes), pasa a la siguiente pantalla donde se muestra el menú principal, si se ingresa la N (no) se le pide al software que brinde la posibilidad de realizar algún cambio, se abre la pantalla siguiente:

%C %Mo %Si %P %S %Cr %Ni %Mo B GS

Symbol of datum to be modified?:

Aquí se ingresa el símbolo del componente que se desea cambiar el % y de da ENTER

Dependiendo del símbolo marcado aparece la línea correspondiente al símbolo de la primera pantalla, se ingresa el valor deseado y ENTER

Aparece la pregunta:

Any other modification? [Y/N]?

Si Y, se repite lo anterior. Si N pasa al menú principal.

MENU PRINCIPAL
Select: 1.- PORTION OF THE FE-C DIAGRAM 2.- CODE FIGURES OF STEEL 3.- DATA FOR HEAT TREATMENTS: IT DIAGRAM 4.- CRITICAL DIAMETERS: CT DIAGRAM 5.- HARDNESS-TEMPERING CURVES 6.- JOMINY END QUENCH HARDENABILITY CURVES 7.- HARDNESS DISTRIBUTION IN ROUND BAR <1/..7/D/A/E/P/G/C>? <D> to modify any Data <A> Another steel <E> Exit <P> Printer output: (yes ↔ NO)

<G> Graphics.....: (YES ↔ no)

<C> to see steel data

En el Menú Principal se pueden escoger cualquiera de las opciones:

1. - PORTION OF THE FE-C DIAGRAM

PORTION OF Fe-C DIAGRAM	
(Modified by its alloying elements)	
Eutectoid reaction:	
% C =	; T =
Upper critical temperature A3:	
% C	T, °C
<↵> to continue	<C> to see steel data

En esta opción aparece el % de Carbono y la temperatura de la reacción eutectoide, además de una tabla de datos de las temperaturas críticas por arriba de la temperatura donde ocurre la reacción eutectoide para los diferentes porcentajes de carbono.

A continuación aparece el diagrama hierro-carbono del acero.

2.- CODE FIGURES OF STEEL

CODE FIGURES OF STEEL	
Ideal critical diameter:	DI = , (DP99<DB50)

Characteristic hardness:	Hc =
Martensite formation....:	Ms =
<↵> to continue	<C> to see steel data

Esta opción nos muestra el diámetro crítico ideal, además la dureza característica del acero y la temperatura en la cual se da inicio a la formación de martensita.

3.- DATA FOR HEAT TREATMENTS: IT DIAGRAM

DATA FOR HEAT TREATMENTS: IT DIAGRAM
<p>Select:</p> <p>1.- General data</p> <p>2.- Data for IT diagram</p> <p>3.- All Data</p>

En este sub-menú podemos escoger cualquiera de las tres opciones:

3.1.- Datos generales

DATA FOR HEAT TREATMENTS: IT DIAGRAM
<p>General data</p> <p>Lower critical temperature A1 =</p>

Critical points on heating:	
Lower Ac1 =	
Upper Ac3 =	
Highest tempering feasible	:
Austenitizing temperature	:
Retained austenite at 20°C	:
Susceptibility to quench-cracking	:
Hardness available by quench:	:
Structure 99% martensite.....	:
" 90% martensite	:
" 50 % martensite.....	:
Minimum recommended	:
Hardness as normalized (derrite-pearlite)....	:
Softest condition (spheroidized structure)....	:
<L> to continue <C> to see steel data	

Se puede apreciar algunas variables, ellas son:

Temperatura crítica inferior.

Puntos críticos de calentamiento, bajo y alto.

Temperatura más alta posible antes de cambio de estructura.

Temperatura de austenización.

Porcentaje de austenita retenida hasta los 20°C.

Susceptibilidad de sufrir roturas.

Durezas obtenidas por templado:

99% martensita:

90% martensita y

50% martensita

Dureza mínima recomendada:

Dureza con Normalizado

Condición de suavizado.

3.2.- Data for IT diagram:

DATA FOR HEAT TREATMENTS: IT DIAGRAM

Data for IT diagram:

Critical temperatura:

Lower Ac1 = ; Upper Ac3 =

Pearlite formation:

Data for T =

Start at:.....:

50% Transf.. in:

Bainite formation:

Bs = ; B50= ; B99=

Data for T=

Start at:

50% Transf. In.....:

99% Transf. In:

Martensite formation:

Ms =

M10 = ; M50 =

M90 = ; M99 =

<↵> to continue <C> to see steel data

A continuación aparece el diagrama IT (tiempo-Temperatura) , si se desea se puede cambiar las escalas.

3.3.- All data.

Esta opción nos permite ver en forma secuencial las dos pantallas anteriores.

4.- CRITICAL DIAMETERS: CT DIAGRAMS

CRITICAL DIAMETERS: CT DIAGRAMS
<p>Ideal critical diameters, mm :</p> <p>Pearlitic hardenability: DP99 = ; DP50 =</p> <p>Bainitic hardenability: DB99 = ; DB50 =</p> <p>Martensitic hardenability: DM99 = ; DM50 =</p> <p style="text-align: center;">Draw CT diagrams <Y/N>?</p> <p style="text-align: center;"><C> to see steel data</p>

Esta pantalla muestra los diámetros críticos en las diferentes estructuras del acero comparando entre el 99% de la estructura y el 50% de la misma. Pregunta si desea el usuario observar el diagrama CT (tiempo – Temperatura) En la misma pantalla se aumenta el siguiente menú:

CRITICAL DIAMETERS: CT DIAGRAMS
<p>Ideal critical diameters, mm :</p> <p>Pearlitic hardenability: DP99 = ; DP50 =</p> <p>Bainitic hardenability: DB99 = ; DB50 =</p> <p>Martensitic hardenability: DM99 = ; DM50 =</p> <p>Select:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Search for D (given DI and H) 2. Search for H (given DI and D) 3. Search for the equivalent diameter of a specimen 4. Relationship between DI and Jominy distance, d

5. Main menú

<C> to see steel data

4.1 Search for D (given DI and H)

CRITICAL DIAMETERS: CT DIAGRAMS

Search for D (given DI and H):

Ideal critical diameters, mm :

Pearlitic hardenability: DP99 = ; DP50 =

Bainitic hardenability: DB99 = ; DB50 =

Martensitic hardenability: DM99 = ; DM50 =

Ideal critical diameter, mm (10 < DI < 300)?:

<C> to see steel data

Se ingresa el diámetro crítico en mm y aparecen las siguientes opciones:

CRITICAL DIAMETERS: CT DIAGRAMS

Search for D (given DI and H):

Ideal critical diameters, mm :

Pearlitic hardenability: DP99 = ; DP50 =

Bainitic hardenability: DB99 = ; DB50 =

Martensitic hardenability: DM99 = ; DM50 =

Ideal critical diameter, mm ($10 < DI < 300$)?:

Severity of quench (H) for various quenching media:

Media:	Air	Oil	Water
Agitation: None.....:	0.02	0.3	1.0
Moderate.....:	--	0.5	1.5
Violent.....:	0.1	0.8	2.0

Severity of quench, H ($0.02 / 0.1 / (0.3 < H < 5)$)?:

<C> to see steel data

El resultado se muestra en la siguiente pantalla, es decir el valor de D

CRITICAL DIAMETERS: CT DIAGRAMS

Search for D (given DI and H):

DI =

H =

D =

Any other search <Y/N>?

Si Y: repite el cálculo en la pantalla anterior.

Si N: regresa al menú de la opción 4.

4.2 Search for H (given DI and D)

CRITICAL DIAMETERS: CT DIAGRAMS

Search for H (given D and DI):

Diameter of round bar , mm ($4 < D < 300$)?

Ideal critical diameters, mm :

Pearlitic hardenability: DP99 = ; DP50 =

Bainitic hardenability: DB99 = ; DB50 =

Martensitic hardenability: DM99 = ; DM50 =

Ideal critical diameter, mm ($10 < DI < 300$)?

(Must be $DI > D$)

<C> to see steel data

Se ingresa el diámetro crítico e inmediatamente el programa da el resultado, es decir el valor de H en la siguiente pantalla:

CRITICAL DIAMETERS: CT DIAGRAMS

Search for H (given D and DI):

D =

DI =

H =

Severity of quench (H) for various quenching media:

Media: Air Oil Water

Agitation: None.....:	0.02	0.3	1.0
Moderate.....:	--	0.5	1.5
Violent.....:	0.1	0.8	2.0
Any other search <Y/N>?			

Si Y: repite el cálculo en la pantalla anterior.

Si N: regresa al menú de la opción 4.

4.3 Search for the equivalent diameter of a specimen

CRITICAL DIAMETERS: CT DIAGRAMS
<p>Select:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Plate 2. Square section 3. Rectangular section 4. Hexagonal section 5. Circular section

Dependiendo del tipo de sección el programa calcula el diámetro equivalente, en cada caso solicita los datos necesarios según la forma del material:

4.3.1 Plate

CRITICAL DIAMETERS: CT DIAGRAMS

Search for the equivalent diameter of a specimen:

Shape: Plate

Thickness, mm ($4 < E < 110$)?.....:

En este caso pide que se ingrese el espesor del plato con el límite entre 4 y 110 mm, una vez ingresado el dato, inmediatamente se da como resultado el diámetro equivalente, además se pregunta si se desea realizar el cálculo otra vez:

Any other search <Y/N>?

Si Y: repite el cálculo en la pantalla anterior.

Si N: regresa al menú de la opción 4

4.3.2 Square section

CRITICAL DIAMETERS: CT DIAGRAMS

Search for the equivalent diameter of a specimen:

Shape: Square section

Length, mm ($4 < L < 110$)?.....:

<+> very long

Gauge, mm ($4 < G < 110$)?.....:

En este caso pide que se ingrese el largo y el espesor de la sección con el límite entre 4 y 110 mm, una vez ingresado el dato, inmediatamente se da como resultado el diámetro equivalente, además se pregunta si se desea realizar el cálculo otra vez:

Any other search <Y/N>?

Si Y: repite el cálculo en la pantalla anterior.

Si N: regresa al menú de la opción 4

4.3.3 Rectangular section

CRITICAL DIAMETERS: CT DIAGRAMS
<p>Search for the equivalent diameter of a specimen:</p> <p>Shape: Rectangular section</p> <p>Length, mm ($4 < L < 110$)?.....: <+> very long</p> <p>Minor Gauge, mm ($4 < A < 110$)?.....:</p> <p>Major Gauge, mm ($4 < B < 110$)?.....:</p>

En este caso pide que se ingrese el largo y el espesor de la sección tanto ancho como alto con el límite entre 4 y 110 mm, una vez ingresado el dato, inmediatamente se da como resultado el diámetro equivalente, además se pregunta si se desea realizar el cálculo otra vez:

Any other search <Y/N>?

Si Y: repite el cálculo en la pantalla anterior.

Si N: regresa al menú de la opción 4

4.3.4 Hexagonal section

CRITICAL DIAMETERS: CT DIAGRAMS

Search for the equivalent diameter of a specimen:

Shape: Hexagonal section

Length, mm ($4 < L < 110$)?.....:

<+> very long

Gauge, mm ($4 < G < 110$)?.....:

En este caso pide que se ingrese el largo y el lado de la sección hexagonal con el límite entre 4 y 110 mm, una vez ingresado el dato, inmediatamente se da como resultado el diámetro equivalente, además se pregunta si se desea realizar el cálculo otra vez:

Any other search <Y/N>?

Si Y: repite el cálculo en la pantalla anterior.

Si N: regresa al menú de la opción 4

4.3.5 Circular section

CRITICAL DIAMETERS: CT DIAGRAMS

Search for the equivalent diameter of a specimen:

Shape: Circular section

Length, mm ($4 < L < 110$)?.....:

<+> very long

Diameter, mm ($6 < G < 150$)?.....:

En este caso pide que se ingrese el largo y el diámetro de la sección circular con el límite entre 6 y 150 mm, una vez ingresado el dato, inmediatamente se da como resultado el diámetro equivalente, además se pregunta si se desea realizar el cálculo otra vez:

Any other search <Y/N>?

Si Y: repite el cálculo en la pantalla anterior.

Si N: regresa al menú de la opción 4

4.4 Relationship between DI and Jominy distance, d

CRITICAL DIAMETERS: CT DIAGRAMS

Relationship between DI and Jominy distance, d

Select:

1. Conversion $d \rightarrow DI$
2. Conversion $DI \rightarrow d$

Si se escoge la opción 1:

4.4.1 Conversion $d \rightarrow DI$

CRITICAL DIAMETERS: CT DIAGRAMS
Relationship between DI and Jominy distance, d
Conversion Jominy distance d → DI:
Jominy distance, mm (1 < d < 50)?.....:

Se ingresa la distancia desde el extremo y se obtiene el diámetro crítico ideal en mm. Además se pregunta si se desea realizar el cálculo otra vez:

Any other search <Y/N>?

Si Y: repite el cálculo en la pantalla anterior.

Si N: regresa al menú de la opción 4

4.4.2 Conversion DI → d

CRITICAL DIAMETERS: CT DIAGRAMS
Relationship between DI and Jominy distance, d
Conversion DI → Jominy distance d:
Ideal critical diameters, mm :
Pearlitic hardenability: DP99 = ; DP50 =
Bainitic hardenability: DB99 = ; DB50 =
Martensitic hardenability: DM99 = ; DM50 =
Ideal critical diameter, mm (10 < DI < 170)?

--

Esta pantalla es contraria a la anterior, se ingresa el diámetro crítico ideal dependiendo de los parámetros según la estructura y se obtiene la distancia equivalente Jominy.

Además se pregunta si se desea realizar el cálculo otra vez:

Any other search <Y/N>?

Si Y: repite el cálculo en la pantalla anterior.

Si N: regresa al menú de la opción 4

4.5 Main menú

Se regresa al Menú principal.

En el Menú Principal se debe analizar la opción número 5.

5.- HARDNESS – TEMPERING CURVES

Esta opción analiza las propiedades mecánicas de los aceros después del templado y revenido.

HARDNESS – TEMPERING CURVES
<p>Select:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Alter complete hardening ($H_q = H_m = 49.5 \text{ HRC}$)2. After incomplete hardening ($H_q < 49.5 \text{ HRC}$)

5.1 Alter complete hardening ($H_q = H_m = 49.5 \text{ HRC}$)

La opción número 1 permite pasar a una pantalla donde el programa pide al usuario se ingrese el tiempo de revenido del acero con un límite entre 0.1 y 9 horas, una vez proporcionado este dato se se despliega una pantalla con una tabla de datos de la siguiente manera:

HARDNESS – TEMPERING CURVES					
Complete hardening: Hq = Hm = 49.5 HRC					
Time at tempering temperatura, hours (0.1 < t < 9)?					

Se ingresa el tiempo:

HARDNESS – TEMPERING CURVES					
Complete hardening: Hq = Hm = 49.5 HRC					
Tempered for 2.0 hours					
T, °C	HRC	HV	UTS (MPa)	YS (MPa)	EI (%)
<↵> to continue			<C> to see steel data		

A continuación el programa presenta dos gráficos en uno solo, por un lado Resistencia (MPa) Vs. T (°C) y por otro lado Dureza (HRC) Vs. T (°C).

El diagrama se completa con las curvas de esfuerzo último de tracción, esfuerzo de fluencia y % de elongación.

5.2. After incomplete hardening ($H_q < 49.5$ HRC)

Esta opción pretende analizar lo mismo que la anterior pero cuando el proceso de templado no fue completado, es decir se interrumpió el enfriamiento obteniendo durezas menores a las ideales, como este caso que es 49.5 HRC.

HARDNESS – TEMPERING CURVES
Incomplete hardening: Hardeness as quenched, HRC ($37.5 < H_q < 49.5$)? 37.5 HRC = H_q , (50% martensita)

En este caso el programa pide que se ingrese la dureza a la que se llegó luego del enfriamiento dando como límites 37.5 HRC y 49.5 HRC, suponiendo que el límite inferior es cuando se ha obtenido un 50% de martensita.

Una vez ingresada la dureza se pide el tiempo de revenido:

HARDNESS – TEMPERING CURVES
Incomplete hardening: Hardeness as quenched, HRC ($37.5 < H_q < 49.5$)? 37.5 HRC = H_q , (50% martensita) Time at tempering temperatura, hours ($0.1 < t < 9$)?

Con esos datos despliega los datos de esfuerzos y elongación similar a la opción 5.1. y a continuación presenta los gráficos correspondientes.

5.3 Main Menú

Se regresa al Menú principal.

6. JOMINY END QUENCH HARDENABILITY CURVES

JOMINY END QUENCH HARDENABILITY CURVES	
<p>Select:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Specimen quenched only2. Specimen quenched and Q+tempered	

El programa nos ofrece dos opciones en este menú: el análisis de las muestras del acero templadas o templadas y revenidas.

6.1 Specimen quenched only

JOMINY END QUENCH HARDENABILITY CURVES	
<p>Specimen quenched only:</p>	
d (mm)	HRC
<p>Jominy distance → DI <Y/N>)?</p>	

En esta pantalla se despliega una tabla en dos columnas, en la primera se encuentran las distancias Jominy desde el extremo templado y en la segunda las durezas tomadas en cada una de esas distancias.

Además pregunta al usuario si desea transformar la distancia Jominy en el diámetro equivalente DI.

Si se responde con Y:

JOMINY END QUENCH HARDENABILITY CURVES	
Specimen quenched only:	Conversion d → DI:
d (mm) HRC (HRC):	Hardness as quenched H, (99%M) H, (90%M) H, (50%M) Min , rec H = d, mm (1 < d < 50)?....:

El programa indica a través de esta pantalla las durezas con las diferentes posibilidades de retención de martensita y solicita al usuario ingrese el valor de d, que corresponde a la distancia Jominy para convertirla en Diámetro Equivalente.

Al final hace una pregunta:

Any other conversion <Y/N>?

Si Y, realiza el proceso de cálculo nuevamente .

Si N:

JOMINY END QUENCH HARDENABILITY CURVES	
Specimen quenched only:	
d (mm)	HRC
Search for HV, UTS, YS and EL (given HRC) <Y/N>?	

Se pregunta al usuario si desea analizar los valores de las propiedades mecánicas de esfuerzos y elongación a partir del dato de dureza.

JOMINY END QUENCH HARDENABILITY CURVES	
Specimen quenched only:	Search for HV, UTS, YS and EL (given HRC):
d (mm)	HRC
HRC (20 < HRC < 65)?:	

Luego de ingresar el valor de dureza aparecen los resultados de HV, UTS, YS y EL.

JOMINY END QUENCH HARDENABILITY CURVES	
Specimen quenched only:	Search for HV, UTS, YS and EL (given HRC):
d (mm)	HRC
HRC (20 < HRC < 65)?: HV UTS (MPa) YS (MPa) EL (%)	
Any other search <Y/N>?	

Si Y se repite el cálculo anterior.

Si N:

JOMINY END QUENCH HARDENABILITY CURVES	
Specimen quenched only:	
d (mm)	HRC
<↵> to continue <C> to see steel data	

Si se ingresa ENTER, aparecerá en pantalla el gráfico de templabilidad del acero.

6.2 Specimen quenched and Q+tempered.

JOMINY END QUENCH HARDENABILITY CURVES
Specimen quenched and Q+tempered:
Tempering temperatura, °C (450 < T < 700)?.....:
Time at tempering temperature, hours (0.1 < t < 9)?.....:

Se pide al usuario ingresar la temperatura a la que de quiere realizar el tempering:

Con un límite entre 450 y 700 °C, a continuación solicita el tiempo entre 0.1 y 9 horas., se obtiene la siguiente pantalla con una tabla:

JOMINY END QUENCH HARDENABILITY CURVES		
Specimen quenched and Q+tempered:		
d (mm)	Quenched HRC	Q+T HRC
Jominy distance → DI <Y/N>?)		

A partir de este punto se regresa a las opciones del 6.1

En cualquiera de los dos casos, al final se despliega la siguiente pantalla:

JOMINY END QUENCH HARDENABILITY CURVES
<p>Select:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Another tempering 2. Main Menu

Si 1, se repiten los cálculos tanto de 6.1 como de 6.2.
Si 2. se regresa al menú principal.

7. HARDNESS DISTRIBUTION IN ROUND BAR

HARDNESS DISTRIBUTION IN ROUND BAR
<p>Select:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Round bar quenched only 2. Round Bar quenched and Q+Tempered

7.1 Round bar quenched only

HARDNESS DISTRIBUTION IN ROUND BAR
<p>Round bar quenched only:</p> <p>Diameter of round bar, mm ($4 < D < 250$)?.....:</p> <p>Severity of quench (H) for various quenching media:</p>

Media:	Air	Oil	Water
Agitation: None.....:	0.02	0.3	1.0
Moderate.....:	--	0.5	1.5
Violent.....:	0.1	0.8	2.0

Severity of quench, H (0.3 < H < 5)?.....:

Una vez ingresado el dato del diámetro y del índice de severidad del temple se muestra la siguiente pantalla:

HARDNESS DISTRIBUTION IN ROUND BAR	
Round bar quenched only:	
Bar diameter.....	
Severity of quench, H =	
r/R	HRC
Search for HV, UTS, YS and EL (given HRC) <Y/N>?	

Si N: inmediatamente se muestra la pantalla con el gráfico de dureza Vs. r

Si Y: Se ingresa al menú descrito en 6.1

7.2 Round bar quenched and Q+ Tempered.

Esta opción realiza los mismos cálculos que la anterior en forma combinada con el análisis de 6.2., es decir además del diámetro de la barra y de la severidad del temple, pide como datos la temperatura y el tiempo del tempering.

A partir de esos datos realiza los cálculos mostrados en el menú 6.2

Al final siempre tenemos la posibilidad de regresar al Menú principal.

Las otras opciones del Menú Principal se describen a continuación:

D.- TO MODIFY ANY DATA

Esta opción permite cambiar los datos de la composición química del acero, muestra una pantalla con los porcentajes de cada uno de los componentes, el usuario puede hacer los cambios que desee.

A.- ANOTHER STEEL

Por medio de esta opción se puede ingresar una nueva composición química de un acero que se quiera analizar.

E.- EXIT

Sirve para salir del programa.

Al escoger esta opción se pregunta al usuario (Y/N)?

Si Y: regresa a Windows

Si N: regresa al Menú Principal.

P.- PRINTER OUTPUT

El usuario puede escoger imprimir los resultados con la opción “yes”

Viene por default indicada "NO"

G.- GRAPHICS

Esta opción es para escoger si hacer el análisis con gráficos o sin ellos.

C.- TO SEE STEEL DATA

Esta opción que aparece en varias pantallas permite visualizar en cualquier momento la composición química del acero ingresada inicialmente.

2.3.2 GLOSARIO DE TÉRMINOS Y VARIABLES DEL PROGRAMA

En el programa HT-T2000 tenemos la ventaja de tener un glosario de términos en el menú del mismo, este funciona de la siguiente manera: haciendo un clic en Ayuda y luego en Glosario.

Aparece una pantalla con la opción de escoger la letra con la que empieza la palabra que se desea buscar, haciendo clic en la letra aparecen las diferentes palabras, se escoge la palabra y aparece el significado de la misma. También aparece un botón para salir del glosario.

GLOSARIO STECAL

%C	Porcentaje de Carbono
%Mn	Porcentaje de Manganeso
%Si	Porcentaje de Silicio
%P	Porcentaje de Fósforo
%S	Porcentaje de Azufre
%Cr	Porcentaje de Cromo
%Ni	Porcentaje de Níquel
%Mo	Porcentaje de Molibdeno
Boro (Y/N)	Presencia de Boro
Grain Size	Tamaño de grano

T	Temperatura (°C)
C	Carbono
F+A	Hierro + austenita
Aust.	Austenita
A+C	Austenita + Carbono
F+P	Hierro + Perlita
C+P	Carbono + Perlita
Steel	Acero
Hc	Dureza Característica
Ms	Temperatura de inicio de formación de martensita
DI	Diámetro Crítico
Ac1	Punto Crítico inferior de calentamiento
Ac3	Punto Crítico superior de calentamiento
Bs	Temperatura de inicio de formación de bainita
B50	Temperatura con 50% de formación de bainita
B99	Temperatura con 99% de formación de bainita
M50	Temperatura con 50% de formación de martensita
M99	Temperatura con 99% de formación de martensita
H	Severidad de enfriamiento en diferentes medios
D	Diámetro de una barra de sección redonda
d	Distancia equivalente Jominy
Hq	Dureza luego de temple
t	Tiempo para revenido
UTS	Resistencia última a la tracción
YS	Resistencia de Fluencia
EL	Porcentaje de Elongación
Tempering	Revenido

2.3.3 EJEMPLO

Se va a ilustrar un ejemplo de cada uno de los software.

2.3.3.1 Ejemplo del TT6-2001

- 1) Se escoge la opción de tratamientos térmicos
- 2) Luego la opción de temple
- 3) El programa solicita ingresar el %C (solo 1 decimal)
- 4) El programa calcula la temperatura de austenización
- 5) El programa ilustra un video del temple
- 6) Se grafica una curva tiempo – temperatura
- 7) El programa realiza una pregunta de evaluación al usuario.
- 8) Se observa la estructura microscópica del acero templado.

2.3.3.2 Ejemplo del STECAL

- 1) Ingresamos la composición química del acero
- 2) Escogemos la opción 3 del menú principal
- 3) El programa nos da todos los datos para tratamiento térmico
 - a. Temperatura Crítica
 - b. Temperatura inferior crítica
 - c. Temperatura superior crítica
 - d. Temperatura de austenización
 - e. Susceptibilidad de rotura durante el temple
 - f. Durezas con diferentes porcentajes de martensita
 - g. Dureza mínima recomendada
- 4) El programa presenta el diagrama de transformación de fase

CAPITULO 3

SELECCIÓN DE ENSAYOS Y ACEROS REPRESENTATIVOS

INTRODUCCION.

Determinar las propiedades mecánicas de ciertos aceros de baja aleación mediante un software apropiado, tiene como base la comprobación de resultados proporcionados por el programa mediante la elaboración de ensayos o pruebas de laboratorio donde se puedan tomar datos reales. Por lo tanto determinar que ensayos se van a realizar y que aceros se van a utilizar, es el objetivo de este capítulo.

Antes de realizar la selección se va a exponer a través de un marco teórico que tipos de ensayos tiene disponible la Ingeniería, pues se conoce que los resultados de esas pruebas constituyen las propiedades mecánicas de los aceros.

Se hará un análisis de las posibilidades que brinda el programa según el estudio del capítulo dos para escoger los ensayos que nos permitan validar el programa.

Para la selección de los aceros se recogerá la información proporcionada por Aceros Bohler del Ecuador en la Tesis de Hermes Coronado y Esteban Almeida:” Desarrollo de un software educativo virtual para la enseñanza y aprendizaje de prácticas correspondientes a tratamientos térmicos y templabilidad de aceros en el Laboratorio de Metalurgia de la ESPE.” Ya que esa información es reciente, veraz y exacta.

Marco Teórico

En Ingeniería Mecánica existen cuatro pruebas muy importantes que permiten a través de la experimentación determinar propiedades mecánicas de los

materiales, ellas son: Ensayo de Tracción, Ensayo de Impacto, Ensayo de Fatiga y Ensayo de Dureza.

ENSAYO DE TRACCION

El ensayo de tracción mide la resistencia de un material a la aplicación gradual de una fuerza tensora. Los resultados de este ensayo deben traducirse a determinar el esfuerzo y la deformación que son parámetros de uso en la ingeniería. Con estos parámetros se puede determinar el esfuerzo de fluencia, el esfuerzo máximo y el porcentaje de elongación. De este ensayo también se puede determinar la ductilidad.

ENSAYO DE IMPACTO

El ensayo de impacto sirve para medir la resistencia de un material a un choque o golpe intenso repentino. La capacidad de un material para resistir el impacto suele denominarse tenacidad del material. El ensayo de impacto se utiliza mejor para la comparación y selección de los materiales que para obtener criterios de diseño.

ENSAYO DE FATIGA

En muchas aplicaciones un componente se somete a la aplicación repetida de un esfuerzo inferior al de fluencia del material. Este esfuerzo repetido puede ocurrir como resultado de cargas de rotación, flexión o vibración. Aunque el esfuerzo sea inferior al punto de fluencia, el metal puede fracturarse después de numerosas aplicaciones del esfuerzo. Los resultados más importantes de una serie de ensayos de fatiga son la duración a la fatiga para un esfuerzo en particular y el límite de resistencia a la fatiga para el material.

ENSAYO DE DUREZA

El ensayo de dureza mide la resistencia a la penetración sobre la superficie de un material, efectuada por un objeto duro. Se han diseñado diversas pruebas de dureza, pero las comúnmente usadas son el ensayo Rockwell y el Brinell.

Los índices de dureza se usan principalmente como base de comparación para los materiales, especificaciones de fabricación y tratamiento térmico, control de calidad y correlación con otras propiedades y comportamiento de los materiales.

3.1 ESTUDIO PARA SELECCIÓN DE LOS ENSAYOS MÁS REPRESENTATIVOS

La selección de los ensayos es la parte medular de este proyecto pues en esta parte se define el aporte científico que se dará con este estudio.

Después del análisis del capítulo 2 se debe determinar que opciones de las que brinda son susceptibles de comprobarse de forma relativamente sencilla y obtener resultados comparables entre el software y las prácticas de laboratorio.

Una de las dificultades del proyecto es justamente plantear esos ensayos, la forma de realizarlos y obtener resultados que permitan a los usuarios del programa confiar en los datos proporcionados sin necesidad de comprobarlos a futuro sino simplemente utilizarlos en la realización de los tratamientos térmicos.

A continuación se confrontará las opciones del programa con la teoría de las propiedades mecánicas para obtener el mejor provecho de esta herramienta computacional.

3.1.1 LISTADO DE ENSAYOS DISPONIBLES

Los ensayos disponibles más importantes en los laboratorios de Ingeniería Mecánica de la ESPE, relacionados con las propiedades mecánicas del acero son los siguientes:

1. Ensayo Jominy.
2. Ensayo de Tracción
3. Ensayo de Fatiga
4. Ensayo de Impacto
5. Ensayo de Dureza
6. Metalografía

3.1.2 SELECCIÓN DE LOS ENSAYOS

Los ensayos propuestos para la validación de resultados del software y relacionados directamente con las propiedades mecánicas de los aceros de baja aleación junto con los resultados susceptibles de obtenerse del programa son:

1. Ensayo Jominy
2. Ensayo de Dureza
3. Ensayo de Tracción

3.1.3 DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS ESCOGIDOS

3.1.3.1 Ensayo Jominy

Mediante esta prueba se desea comparar los resultados de las curvas de templabilidad dados por el programa y en forma real en el Laboratorio.

Se realizará el ensayo Jominy en los aceros seleccionados en la siguiente sección según el manual de procedimientos del Laboratorio de Metalurgia de las ESPE. Antes de ello se recomienda estudiar este ensayo en el software

TT06-2001, en él se explica de una manera excelente como se realiza este ensayo, su aplicación y como se obtiene la curva de templabilidad.

El ensayo se lo realizará de acuerdo a lo siguiente:

1. Estudio del Ensayo Jominy en el software TT0-2001
2. Ensayo Jominy
3. Obtener la curva de Templabilidad
4. Ingreso de datos al programa STECAL
5. Escoger la opción que brinda visualizar la curva de templabilidad
6. Comparar resultados.

3.1.3.2 Ensayo De Dureza

1. Corte de las probetas (2 por cada tipo de acero)
2. Se medirá la dureza del acero en el durómetro del Laboratorio de Metalurgia de la ESPE, antes y después de los tratamientos térmicos.
3. Temple de cada uno de los aceros en dos medios diferentes (agua y aceite)
4. Conclusiones

3.1.3.3 Ensayo De Tracción

El ensayo de tracción permite obtener los datos de esfuerzo y deformación de las probetas y se lo realizará de la siguiente manera:

1. Preparación de las probetas de acuerdo a la norma ASTM
2. Temple de las probetas según los datos del programa
3. Revenido a la misma temperatura por igual tiempo.
4. Medición de dureza obtenida en las probetas
5. Ensayo de Tracción a las probetas
6. Escoger la opción del programa que brinda visualizar los datos de esfuerzo y deformación.
7. Comparación de las curvas esfuerzo-deformación

3.1.4 DETALLES PARA LA EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS

El objetivo de los ensayos es validar el programa por lo tanto serán suficientes pocos ensayos con dos o tres aceros para demostrar la confiabilidad del software pues si los resultados son correctos en las pruebas propuestas suponemos que lo serán siempre, esa es la meta del proyecto.

Para la validación de las curvas de templabilidad se utilizarán las muestras disponibles en el Laboratorio.

Para las mediciones de dureza se tomará en cuenta el procedimiento de operación del equipo de Laboratorio, y se tomarán una serie de cinco medidas en cada probeta para luego realizar un promedio.

En el caso de los ensayos de tracción también es necesario tomar la medida de la dureza para definir la resistencia dependiendo de la dureza del acero.

3.2 ESTUDIO PARA SELECCIÓN DE LOS ACEROS COMERCIALES MÁS REPRESENTATIVOS

3.2.1 ELABORACIÓN DE UN LISTADO DE ACEROS COMERCIALES DE BAJA ALEACIÓN

Para seleccionar los aceros comerciales más representativos en este estudio se recopiló la información proporcionada por Aceros Bohler del Ecuador en donde se indican las ventas totales del acero en el año 2005, también se tiene como dato el costo de cada kilogramo de los diferentes aceros, por lo tanto se puede obtener el número total de kilogramos de aceros vendidos en ese año, estos resultados se lo presenta en la siguiente tabla y gráfico:

Ventas Aceros Bohler Año 2005			
Tipo	Total (\$)	Costo por	Kilos

		Kg. (\$)	vendidos
S600	780,00	16,02	48,69
W320	2940,00	3,84	765,63
W320	3500,00	11,07	316,17
K100	22020,00	6,62	3326,28
K460	17506,00	5,02	3487,25
M238	19964,00	6,25	3194,24
V320	19678,00	1,88	10467,02
V155	34693,00	2,14	16211,68
V945	8750,00	1,88	4654,26
E410	12896,00	2,34	5511,11
E920	18344,00	0,97	18911,34

Tabla 3.1 Total ventas de acero año 2005 – Bohler

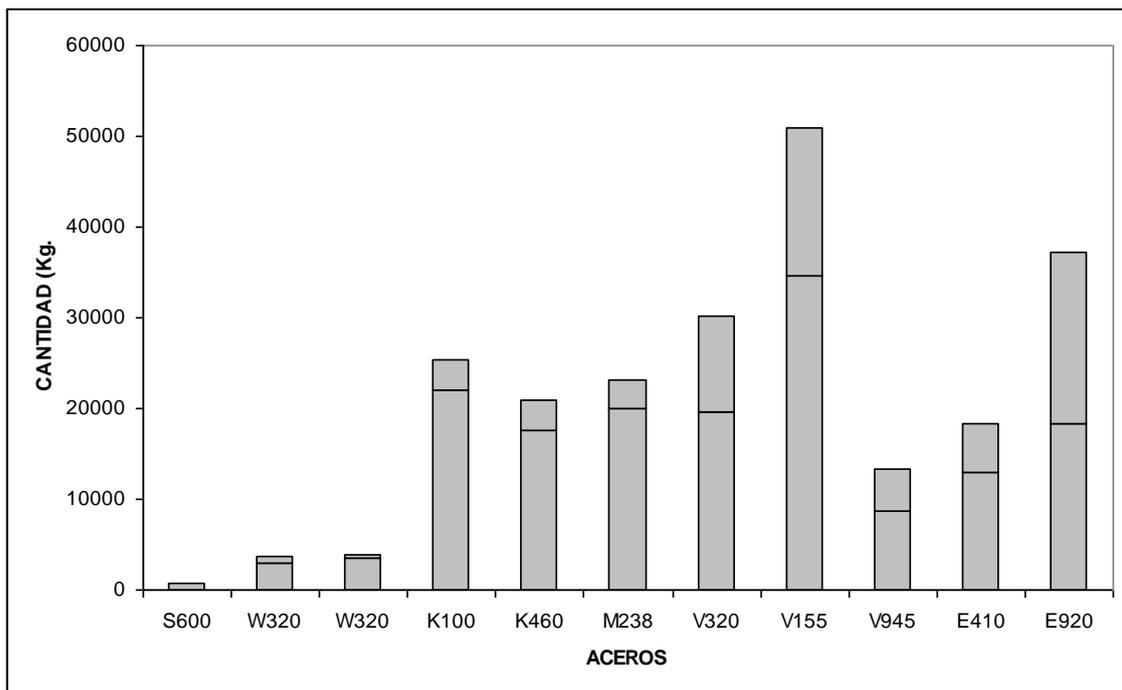


Gráfico 3.1 Aceros Vs. Cantidad (Kg.)

3.2.2 SELECCIÓN DE LOS ACEROS MÁS REPRESENTATIVOS

El estudio de este proyecto contempla específicamente a los aceros de baja aleación, es decir con porcentaje de carbono entre 0.17% y 0.65%

Según estos datos se determinó que los aceros con los cuales se va a realizar los ensayos para la validación del software son:

Acero V945, Acero V155, Acero E920

Como se puede ver en la gráfica el acero V320 tiene un volumen de ventas mayor que el V945 pero se escogió el acero V945 en vez del V320 por la diferencia de elementos aleantes que nos permitirán hacer un análisis más variado.

3.2.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ACEROS ESCOGIDOS

COMPOSICION QUIMICA									
COD	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	P	S	P
V945	0.45	0.30	0.70	-	-	-	no	-	-
V155	0.34	0.30	0.50	1.50	0.20	1.50	no	-	-
E920	0.17	0.25	0.70	-	-	-	no	-	-

Tabla 3.2 Composición Química de los Aceros

Fuente: Catálogo Bohler

El programa STECAL para procesar la información pide como datos la composición química del acero en mención con los siguientes límites, es la forma de asegurarse que se trata de un acero de baja aleación:

% C	0.15 < %C < .65
% Mn	< 2.0

% Si	< 1.0
% P	< 0.1
% S	< 0.3
% Cr	< 1.5
% Ni	< 4.0
% Mo	< 0.5
Boro	Y/N

Tabla 3.3 Límite de los elementos aleantes del Acero

3.2.4 DETALLES PARA LA ADQUISICIÓN DEL ACERO Y ELABORACIÓN DE PROBETAS.

Para la adquisición del acero se acudió a Aceros Bohler del Ecuador con el propósito de hablar con el Ing. Pablo Cuenca, Gerente Técnico, sin más trámite que la explicación de los objetivos del proyecto se facilitó las muestras y la información necesaria.

Era importante escoger a esta prestigiosa empresa por las facilidades que presta con respecto a otras empresas y también para dar continuidad al estudio de los tratamientos térmicos propuesto por los ingenieros Hermes Coronado y Esteban Almeida.

Como se menciona en su tesis al final existe una carta del mismo Ing. Cuenca donde hace la recomendación del estudio de tracción y fatiga, por lo que este proyecto hace su aporte científico en este sentido.

3.2.4.1 Elaboración De Probetas Para Ensayo De Tracción

Para los ensayos de tracción en el Laboratorio de Mecánica de Materiales se debe diseñar la probeta según la norma ASTM Parte 4 Pág. 333 Figura 6 Espécimen 3. Anexo 2

En el anexo se podrá encontrar el plano de la probeta.

Se envía el plano al torno para la fabricación de las muestras, una vez terminadas se someterán a los ensayos propuestos.

3.2.4.2 Resumen De Ensayos Y Muestras

Este resumen pretende mostrar los ensayos, aceros y tratamientos térmicos que se realizarán de forma que sean comparables con los resultados del software.

El ensayo de dureza se realizará antes y después del temple tanto en agua como en aceite de todas las muestras de modo que podamos analizar los datos del programa solo con temple en probetas de forma redonda mediante la opción del menú numero 7.

Por otro lado para los ensayos de tracción se escogerán las diferentes probetas de la siguiente manera:

1. Probeta acero v945 templada en agua y revenida a 425°C por 6 min.
2. Probeta acero v945 templada en agua y revenida a 450°C por 6 min.
3. Probeta acero v155 templada en agua y revenida a 425°C por 12 min.
4. Probeta acero v155 templada en agua y revenida a 450°C por 12 min.
5. Probeta acero e920 templada en agua y revenida a 400°C por 6 min.
6. Probeta acero e920 templada en agua y revenida a 425°C por 6 min.

Se aprovechará estas probetas para realizar en las mismas condiciones, mediciones de dureza para realizar el análisis comparativo, mediante gráficos, de las resistencias del acero con diferentes durezas.

El ensayo de tracción se lo comparará con la opción del menú N° 5.

Para el ensayo Jominy compararemos las curvas de templabilidad del acero proporcionada por el programa con la obtenida en el Laboratorio en forma real, y se utilizará la opción del menú N° 6 con los tres aceros escogidos.

En el Anexo N° 3 se podrá observar las hojas técnicas entregadas por Aceros Bohler de cada uno de los tratamientos térmicos realizados.

CAPITULO 4

ENSAYOS Y RESULTADOS

INTRODUCCION

En este capítulo se presentará los resultados obtenidos de los ensayos propuestos en el capítulo anterior pero previamente se expondrán los resultados que nos da el software en las mismas condiciones de forma que sean comparables. En la parte final serán presentadas unas conclusiones en lo que tiene que ver únicamente con la comparación de datos reales con los teóricos tomando estos últimos como los especificados por el software.

4.1 EJECUCION DE LOS ENSAYOS

Los ensayos han sido ejecutados según la selección realizada en el capítulo 3. Los resultados se presentan a continuación:

4.2 TABLAS Y GRAFICOS DE RESULTADOS

4.2.1 RESULTADOS PROPORCIONADOS POR EL SOFTWARE

ACERO V945

% C	0.15 < %C < .65	0.45
% Mn	< 2.0	0.70
% Si	< 1.0	0.30

% P	< 0.1	0.00
% S	< 0.3	0.00
% Cr	< 1.5	0.00
% Ni	< 4.0	0.00
% Mo	< 0.5	0.00
Boro	Y/N	N

Tabla 4.1 Datos de Composición Química del Acero V945 - STECAL

4.2.1.1 Ensayo Jominy

Escogemos la Opción N° 6.

Seleccionamos la opción 1.

JOMINY END QUENCH HARDENABILITY CURVES	
Specimen quenched only:	
d (mm)	HRC
0	58.0
2	53.0
4	39.5
6	31.5
8	28.0
10	26.5
12	25.0
14	23.5
18	21.5
22	20.0
26	18.5
30	17.5
34	16.5
38	15.5
42	14.5

46	14.0
50	13.0

Jominy distance → DI <Y/N>)?

A continuación se selecciona la opción que nos permite ver la curva:

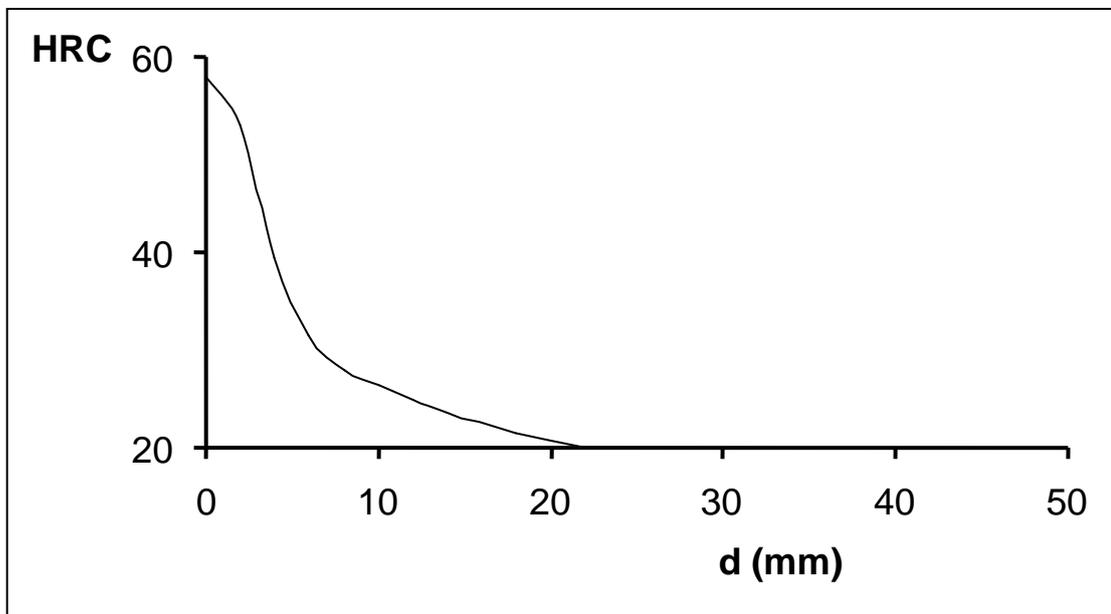


Gráfico 4.1 Curva de Templabilidad Acero 945 – STECAL

4.2.1.2.1 Ensayo de dureza del acero V945 templado en agua

Escogemos la Opción N° 7

Seleccionamos la opción 1.

HARDNESS DISTRIBUTION IN ROUND BAR
Round bar quenched only:

Diameter of round bar, mm ($4 < D < 250$)?.....: 25

Severity of quench (H) for various quenching media:

Media:	Air	Oil	Water
Agitation: None.....:	0.02	0.3	1.0
Moderate.....:	--	0.5	1.5
Violent.....:	0.1	0.8	2.0

Severity of quench, H ($0.3 < H < 5$)?.....: 2

Ingresados los datos de diámetro y el índice de severidad de enfriamiento, aparecen los siguientes resultados.

HARDNESS DISTRIBUTION IN ROUND BAR

Round bar quenched only:

Bar diameter.....25 mm

Severity of quench, H = 2.0

r/R	HRC
1.0	58.0
0.9	58.0
0.8	57.0
0.7	50.5
0.6	46.5
0.5	44.5
0.4	44.0
0.3	43.5
0.2	42.5
0.1	38.5
0.0	32.5

Search for HV, UTS, YS and EL (given HRC) <Y/N>?

Esto permite ver que la dureza promedio de toda la barra es de **46.91 HRC**

Si queremos ver las resistencias a la tracción debemos escribir “Y”

HARDENESS DISTRIBUTION IN ROUND BAR

Specimen quenched only: **Search for HV, UTS, YS and EL (given HRC):**

r/R	HRC	
1.0	58.0	HRC (20 < HRC < 65)?:
0.9	58.0	
0.8	57.5	
0.7	50.5	HV
0.6	46.5	UTS (MPa)
0.5	44.5	YS (MPa)
0.4	44.0	EL (%)
0.3	43.5	
0.2	42.5	
0.1	38.5	
0.0	32.5	

Any other search <Y/N>?

4.2.1.2.2 Ensayo de dureza del acero v945 templado en aceite

Escogemos la Opción N° 7

Seleccionamos la opción 1.

HARDNESS DISTRIBUTION IN ROUND BAR

Round bar quenched only:

Diameter of round bar, mm ($4 < D < 250$)?.....: 25

Severity of quench (H) for various quenching media:

Media:	Air	Oil	Water
Agitation: None.....:	0.02	0.3	1.0
Moderate.....:	--	0.5	1.5
Violent.....:	0.1	0.8	2.0

Severity of quench, H ($0.3 < H < 5$)?.....: 0.8

HARDNESS DISTRIBUTION IN ROUND BAR

Round bar quenched only:

Bar diameter.....25 mm

Severity of quench, H = 0.8

r/R	HRC
1.0	43.5
0.9	40.5
0.8	38.0
0.7	35.5
0.6	34.0
0.5	33.5

0.4	34.0
0.3	34.0
0.2	33.5
0.1	31.0
0.0	28.5

Search for HV, UTS, YS and EL (given HRC) <Y/N>?

Esto permite ver que la dureza promedio de toda la barra es de **35.1 HRC**

Si queremos ver las resistencias a la tracción debemos escribir "Y"

HARDENESS DISTRIBUTION IN ROUND BAR

Specimen quenched only: **Search for HV, UTS, YS and EL (given HRC):**

r/R	HRC	
1.0	43.5	HRC (20 < HRC < 65)?:
0.9	40.5	
0.8	38.0	
0.7	35.5	HV
0.6	34.0	UTS (MPa)
0.5	33.5	YS (MPa)
0.4	34.0	EL (%)
0.3	34.0	
0.2	33.5	
0.1	31.0	
0.0	28.5	

Any other search <Y/N>?

4.2.1.3 ENSAYO DE TRACCION

Escogemos la Opción Nº 5

Seleccionamos la opción 1.

HARDNESS – TEMPERING CURVES	
Complete hardening: Hq = Hm = 58 HRC	
Time at tempering temperatura, hours (0.1 < t < 9)?: 0.1	

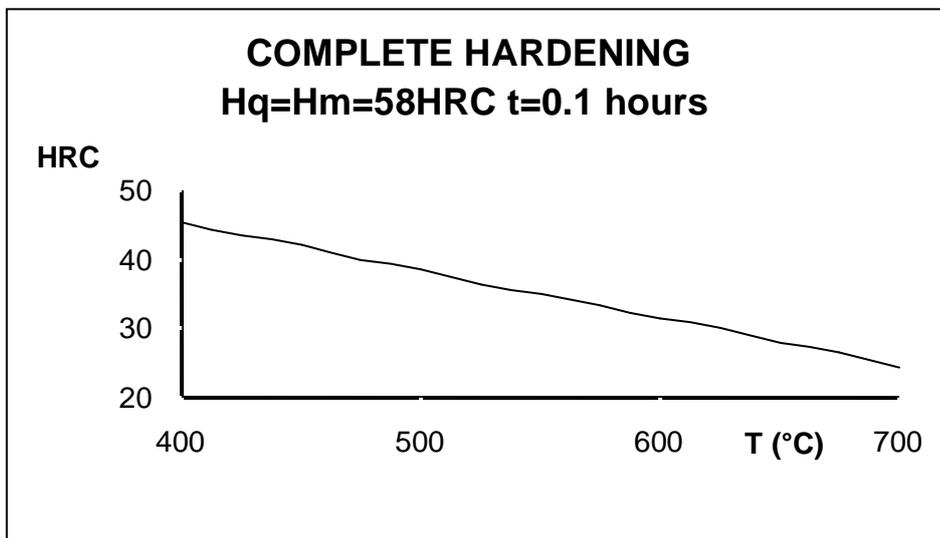
Inmediatamente aparecerán los siguientes resultados:

HARDNESS – TEMPERING CURVES					
Complete hardening: Hq = Hm = 58 HRC					
Tempered for 0.1 hours					
T, °C	HRC	HV	UTS (MPa)	YS (MPa)	EI (%)
400	45.5	450	1500		
425	43.5	430	1410	1270	4
450	42.0	410	1340	1190	5
475	40.0	390	1270	1120	6
500	38.5	375	1200	1050	6
525	36.5	360	1140	990	7
550	35.0	345	1080	930	7

575	33.5	330	1030	870	8
600	31.5	315	990	820	9
625	30.0	305	950	770	9
650	28.0	290	910	720	10
675	26.5	280	870	680	10
700	24.5	265	840	640	11

<↵> to continue <C> to see steel data

Si se ingresa ENTER, aparecen las curvas:



**Gráfico 4.2 Curva Temperatura (°C) Vs. Dureza (HRC)
Acero V945 - STECAL**

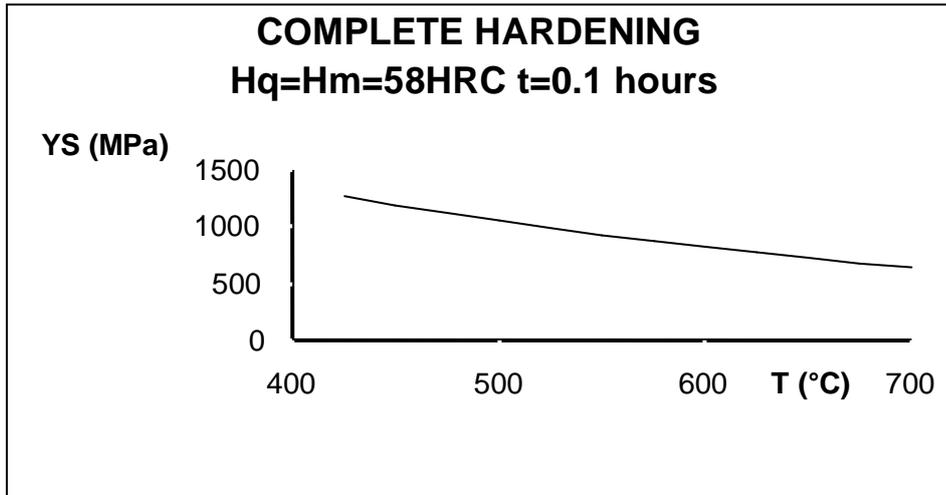


Gráfico 4.3 Curva Temperatura (°C) Vs. Esfuerzo de Fluencia (MPa)
Acero V945 - STECAL

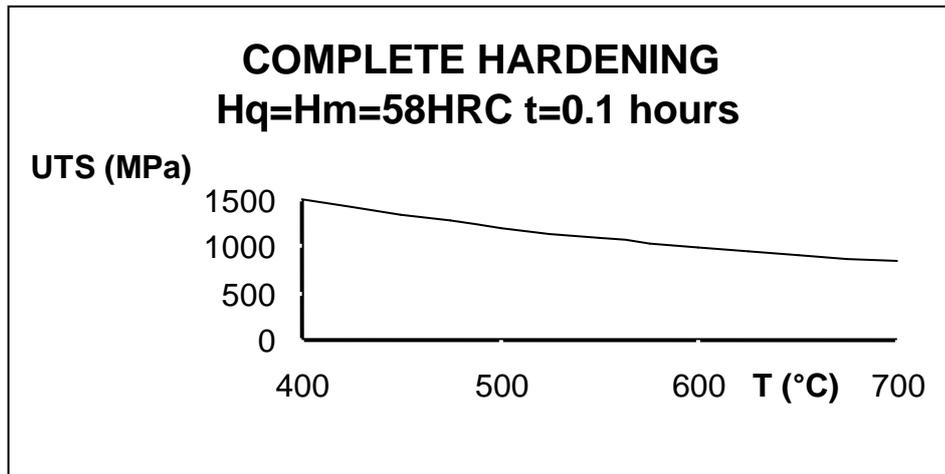


Gráfico 4.4 Curva Temperatura (°C) Vs. Esfuerzo Ultimo de Tracción (MPa)
Acero V945 – STECAL

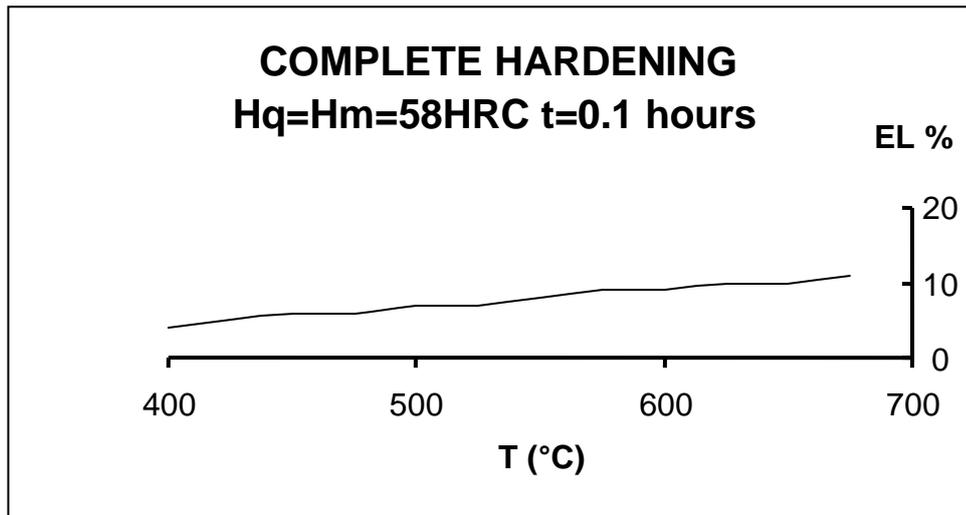


Gráfico 4.5 Curva Temperatura (°C) Vs. Elongación (%)
Acero V945 - STECAL

Cabe destacar que estas cuatro curvas, en el programa aparecen montadas en un solo gráfico.

ACERO E920

% C	0.15 < %C < .65	0.17
% Mn	< 2.0	0.70
% Si	< 1.0	0.25
% P	< 0.1	0.00
% S	< 0.3	0.00
% Cr	< 1.5	0.00
% Ni	< 4.0	0.00
% Mo	< 0.5	0.00
Boro	Y/N	N

Tabla 4.2 Datos de Composición Química del Acero E920 - STECAL

4.2.2.1 Ensayo Jominy

Escogemos la Opción N° 6.

Seleccionamos la opción 1.

JOMINY END QUENCH HARDENABILITY CURVES	
Specimen quenched only:	
d (mm)	HRC
0	41.0
2	15.0
4	10.5
6	7.5
8	5.5
10	4.0
12	3.0
14	1.5
18	
22	
26	
30	
34	
38	
42	
46	
50	
Jominy distance → DI <Y/N>)?	

A continuación se selecciona la opción que nos permite ver la curva:

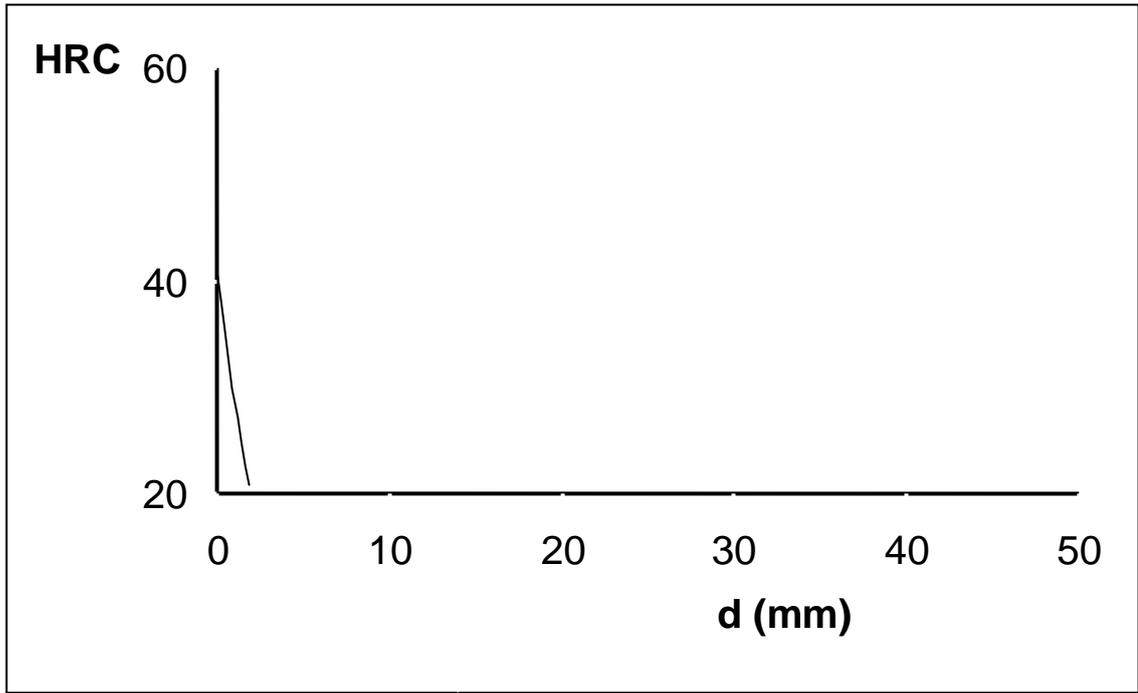


Gráfico 4.6 Curva de Templabilidad Acero E920 - STECAL

4.2.2.2.1 Ensayo de dureza del acero E920 templado en agua

Escogemos la Opción N° 7

Seleccionamos la opción 1.

HARDNESS DISTRIBUTION IN ROUND BAR			
Round bar quenched only:			
Diameter of round bar, mm (4 < D < 250)?.....: 25			
Severity of quench (H) for varius quenching media:			
Media:	Air	Oil	Wather
Agitation: None.....:	0.02	0.3	1.0
Moderate.....:	--	0.5	1.5

Violent.....:	0.1	0.8	2.0
Severity of quench, H (0.3 < H < 5)?.....: 2			

Ingresados los datos de diámetro y el índice de severidad de enfriamiento, aparecen los siguientes resultados

HARDNESS DISTRIBUTION IN ROUND BAR	
Round bar quenched only:	
Bar diameter.....25 mm	
Severity of quench, H = 2.0	
r/R	HRC
1.0	38.5
0.9	24.0
0.8	17.5
0.7	14.0
0.6	13.0
0.5	12.0
0.4	12.0
0.3	12.0
0.2	11.5
0.1	10.0
0.0	8.0
Search for HV, UTS, YS and EL (given HRC) <Y/N>?	

Esto permite ver que la dureza promedio de toda la barra es de **14.8 HRC**

Si queremos ver las resistencias a la tracción debemos escribir “Y”

HARDNESS DISTRIBUTION IN ROUND BAR		
Round bar quenched only:		
r/R	HRC	Search for HV, UTS, YS and EL (given HRC):
1.0	38.5	
0.9	24.0	
0.8	17.5	HRC (20 < HRC < 65)?:
0.7	14.0	
0.6	13.0	
0.5	12.0	HV545
0.4	12.0	UTS (MPa)1880
0.3	12.0	(MPa)
0.2	11.5	EL (%)
0.1	10.0	
0.0	8.0	
Search for HV, UTS, YS and EL (given HRC) <Y/N>?		

4.2.2.2.2 Ensayo de dureza del acero E920 templado en aceite

Escogemos la Opción N° 7

Seleccionamos la opción 1.

HARDNESS DISTRIBUTION IN ROUND BAR
Round bar quenched only:
Diameter of round bar, mm (4< D < 250)?.....: 25
Severity of quench (H) for various quenching media:

Media:	Air	Oil	Water
Agitation: None.....:	0.02	0.3	1.0
Moderate.....:	--	0.5	1.5
Violent.....:	0.1	0.8	2.0
Severity of quench, H (0.3 < H < 5)?.....: 0.8			

Ingresados los datos de diámetro y el índice de severidad de enfriamiento, aparecen los siguientes resultados

HARDNESS DISTRIBUTION IN ROUND BAR	
Round bar quenched only:	
Bar diameter.....25 mm	
Severity of quench, H = 0.8	
r/R	HRC
1.0	11.5
0.9	11.0
0.8	10.0
0.7	9.0
0.6	8.5
0.5	8.5
0.4	8.5
0.3	8.5
0.2	8.0
0.1	7.5
0.0	6.0

Search for HV, UTS, YS and EL (given HRC) <Y/N>?

Esto permite ver que la dureza promedio de toda la barra es de **8.8 HRC**

Si queremos ver las resistencias a la tracción debemos escribir “Y”

HARDNESS DISTRIBUTION IN ROUND BAR

Round bar quenched only:

r/R	HRC	Search for HV, UTS, YS and EL (given HRC):
1.0	11.5	
0.9	11.0	
0.8	10.0	HRC (20 < HRC < 65)?:
0.7	9.0	
0.6	8.5	
0.5	8.5	HV
0.4	8.5	UTS (MPa)
0.3	8.5	(MPa)
0.2	8.0	EL (%)
0.1	7.5	
0.0	6.0	

Search for HV, UTS, YS and EL (given HRC) <Y/N>?

4.2.2.3 ENSAYO DE TRACCION

Escogemos la Opción Nº 5

Seleccionamos la opción 1.

HARDNESS – TEMPERING CURVES

Complete hardening: Hq = Hm = 41 HRC

Time at tempering temperatura, hours (0.1 < t < 9)?: 0.1

Inmediatamente aparecerán los siguientes resultados:

HARDNESS – TEMPERING CURVES

Complete hardening: Hq = Hm = 41 HRC

Tempered for 0.1 hours

T, °C	HRC	HV	UTS (MPa)	YS (MPa)	EI (%)
400	31.0	310	970	770	15
425	29.0	295	930	730	16
450	27.0	285	890	690	17
475	25.5	270	850	660	18
500	23.5	260	820	620	18
525	21.5	245	790	590	19
550	19.5	235	760	570	20
575	18.0	220	730	540	20
600	16.0	210	710	520	21
625	14.0	195	690	500	21
650	12.0	180	670	480	22
675	10.5	170	640	450	22
700	8.5	155	620	430	22

<↵> to continue <C> to see steel data

Si se ingresa ENTER, aparecen las curvas:

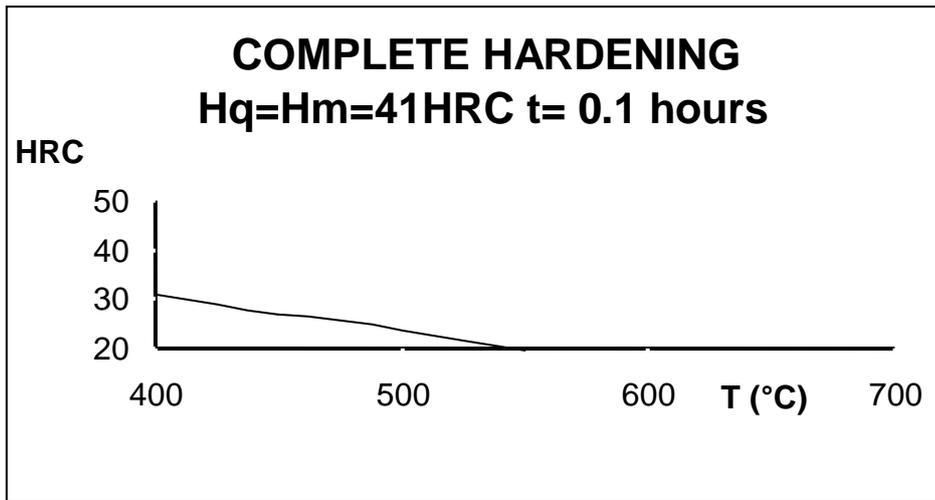


Gráfico 4.7 Curva Temperatura (°C) Vs. Dureza (HRC)
Acero E920 - STECAL

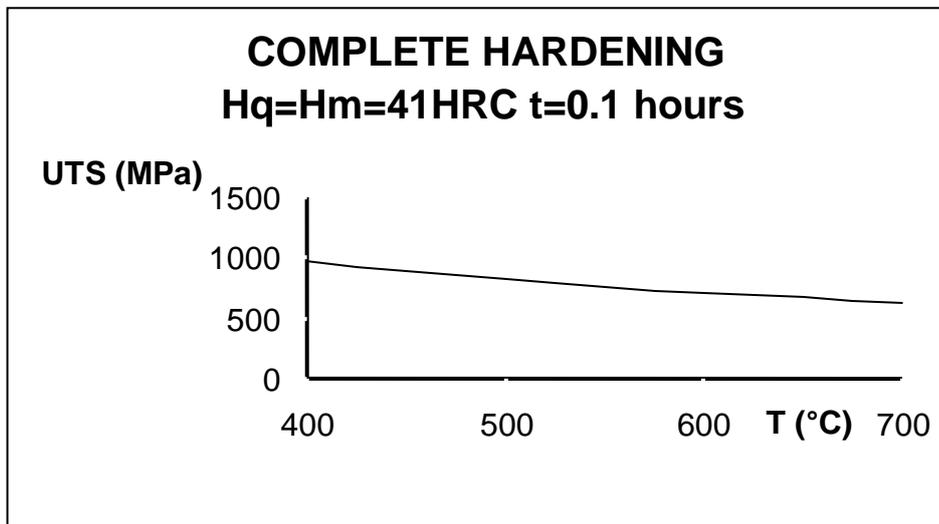
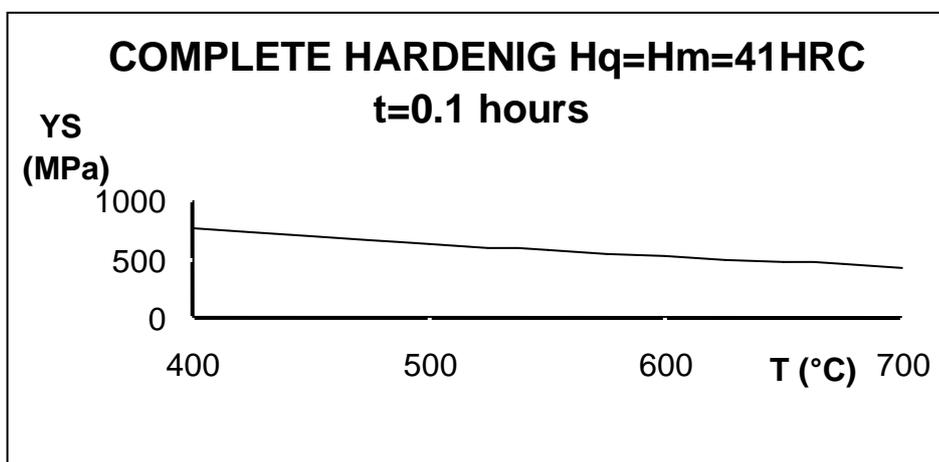
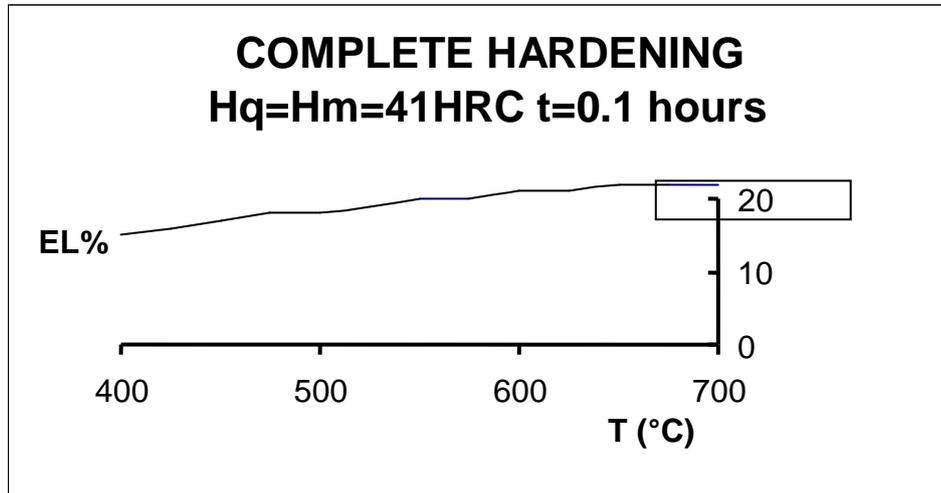


Gráfico 4.8 Curva Temperatura (°C) Vs. Esfuerzo Ultimo de Tracción (MPa)
Acero E920 – STECAL



**Gráfico 4.9 Curva Temperatura (°C) Vs. Esfuerzo de Fluencia (MPa)
Acero E920 – STECAL**



**Gráfico 4.10 Curva Temperatura (°C) Vs. Elongación (%)
Acero E920 - STECAL**

ACERO V155

% C	0.15 < %C < .65	0.34
% Mn	< 2.0	0.50
% Si	< 1.0	0.30
% P	< 0.1	0
% S	< 0.3	0
% Cr	< 1.5	1.50
% Ni	< 4.0	1.50

% Mo	< 0.5	0.20
Boro	Y/N	N

Tabla 4.3 Datos de Composición Química del Acero V155 - STECAL

4.2.3.1 ENSAYO JOMINY

Escogemos la Opción Nº 6.

Seleccionamos la opción 1.

JOMINY END QUENCH HARDENABILITY CURVES	
Specimen quenched only:	
d (mm)	HRC
0	52.0
2	52.0
4	52.0
6	52.0
8	52.0
10	52.0
12	52.0
14	52.0
18	52.0
22	52.0
26	52.0
30	52.0
34	52.0
38	52.0
42	51.0
46	50.0
50	48.5
Jominy distance → DI <Y/N>?)	

A continuación se selecciona la opción que nos permite ver la curva:

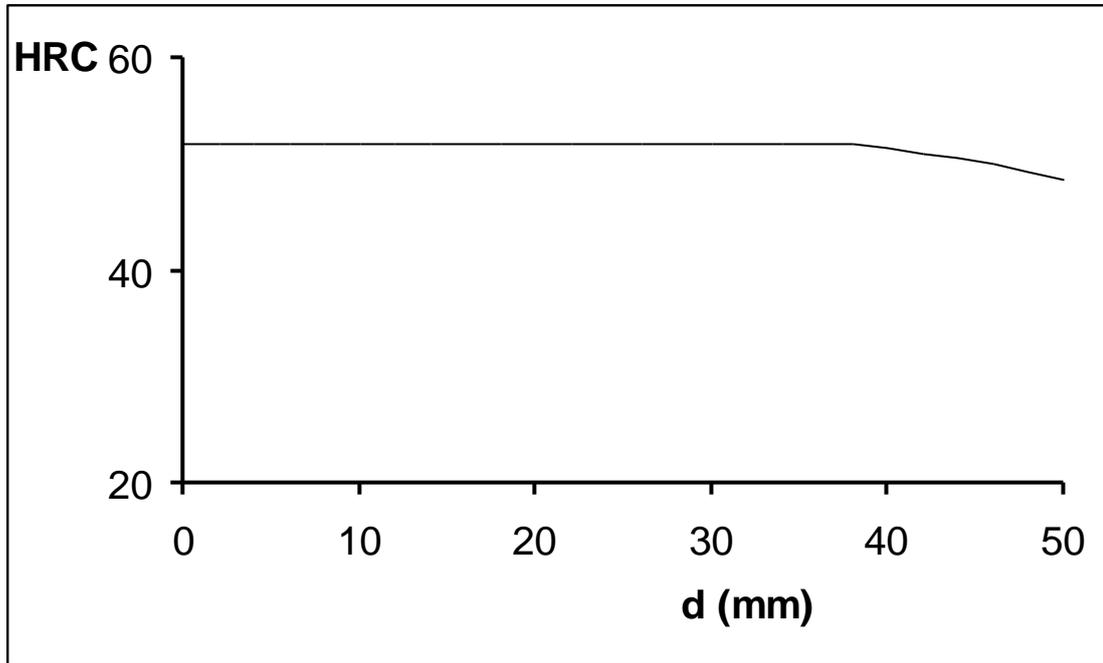


Gráfico 4.11 Curva de Templabilidad Acero V155 - STECAL

4.2.1.2.1 Ensayo de dureza del acero V155 templado en agua

Escogemos la Opción Nº 7

Seleccionamos la opción 1.

HARDNESS DISTRIBUTION IN ROUND BAR			
Round bar quenched only:			
Diameter of round bar, mm ($4 < D < 250$)?.....: 25			
Severity of quench (H) for various quenching media:			
Media:	Air	Oil	Water

Agitation: None.....:	0.02	0.3	1.0
Moderate.....:	--	0.5	1.5
Violent.....:	0.1	0.8	2.0
Severity of quench, H (0.3 < H < 5)?.....: 2			

Ingresados los datos de diámetro y el índice de severidad de enfriamiento, aparecen los siguientes resultados

HARDNESS DISTRIBUTION IN ROUND BAR	
Round bar quenched only:	
Bar diameter.....25 mm	
Severity of quench, H = 2.0	
r/R	HRC
1.0	52.0
0.9	52.0
0.8	52.0
0.7	52.0
0.6	52.0
0.5	52.0
0.4	52.0
0.3	52.0
0.2	52.0
0.1	52.0
0.0	52.0
Search for HV, UTS, YS and EL (given HRC) <Y/N>?	

Esto permite ver que la dureza promedio de toda la barra es de **52.00 HRC**

Si queremos ver las resistencias a la tracción debemos escribir "Y"

HARDNESS DISTRIBUTION IN ROUND BAR		
Specimen quenched only:		Search for HV, UTS, YS and EL (given HRC):
r/R	HRC	
1.0	52.0	HRC (20 < HRC < 65)?:
0.9	52.0	
0.8	52.0	
0.7	52.0	HV
0.6	52.0	UTS (MPa)
0.5	52.0	YS (MPa)
0.4	52.0	EL (%)
0.3	52.0	
0.2	52.0	
0.1	52.0	
0.0	52.0	
Any other search <Y/N>?		

4.2.1.2.2 Ensayo de dureza del acero V155 templado en aceite

Escogemos la Opción N° 7

Seleccionamos la opción 1.

HARDNESS DISTRIBUTION IN ROUND BAR
Round bar quenched only:
Diameter of round bar, mm (4 < D < 250)?.....: 25

Severity of quench (H) for various quenching media:

Media:	Air	Oil	Water
Agitation: None.....:	0.02	0.3	1.0
Moderate.....:	--	0.5	1.5
Violent.....:	0.1	0.8	2.0

Severity of quench, H (0.3 < H < 5)?.....: 0.8

Ingresados los datos de diámetro y el índice de severidad de enfriamiento, aparecen los siguientes resultados

HARDNESS DISTRIBUTION IN ROUND BAR

Round bar quenched only:

Bar diameter.....25 mm

Severity of quench, H = 0.8

r/R	HRC
1.0	52.0
0.9	52.0
0.8	52.0
0.7	52.0
0.6	52.0
0.5	52.0
0.4	52.0
0.3	52.0
0.2	52.0

0.1	52.0
0.0	52.0
Search for HV, UTS, YS and EL (given HRC) <Y/N>?	

Esto permite ver que la dureza promedio de toda la barra es de **52.00 HRC**

Si queremos ver las resistencias a la tracción debemos escribir "Y"

HARDENESS DISTRIBUTION IN ROUND BAR			
Specimen quenched only:		Search for HV, UTS, YS and EL (given HRC):	
r/R	HRC		
1.0	34.0		HRC (20 < HRC < 65)?:
0.9	31.5		
0.8	29.5		
0.7	28.5		HV
0.6	27.5		UTS (MPa)
0.5	27.5		YS (MPa)
0.4	27.5		EL (%)
0.3	27.5		
0.2	27.5		
0.1	26.5		
0.0	24.5		
Any other search <Y/N>?			

4.2.1.3 ENSAYO DE TRACCION

Escogemos la Opción Nº 5

Seleccionamos la opción 1.

HARDNESS – TEMPERING CURVES

Complete hardening: $H_q = H_m = 52$ HRC

Time at tempering temperatura, hours ($0.1 < t < 9$)?: 0.2

Inmediatamente aparecerán los siguientes resultados:

HARDNESS – TEMPERING CURVES

Complete hardening: $H_q = H_m = 52$ HRC

Tempered for 0.1 hours

T, °C	HRC	HV	UTS (MPa)	YS (MPa)	EI (%)
400	46.0	455	1520		
425	45.0	445	1480	1320	5
450	44.0	435	1430	1270	5
475	43.5	430	1400	1240	6
500	42.0	415	1350	1190	6
525	41.0	400	1290	1130	7
550	39.5	385	1240	1070	7
575	38.0	370	1190	1020	8
600	36.5	360	1140	970	9
625	35.0	345	1080	910	11
650	33.0	330	1030	850	12
675	31.5	315	980	800	13
700	29.5	300	940	750	13

<↵> to continue <C> to see steel data

Si se ingresa ENTER, aparecen las curvas:

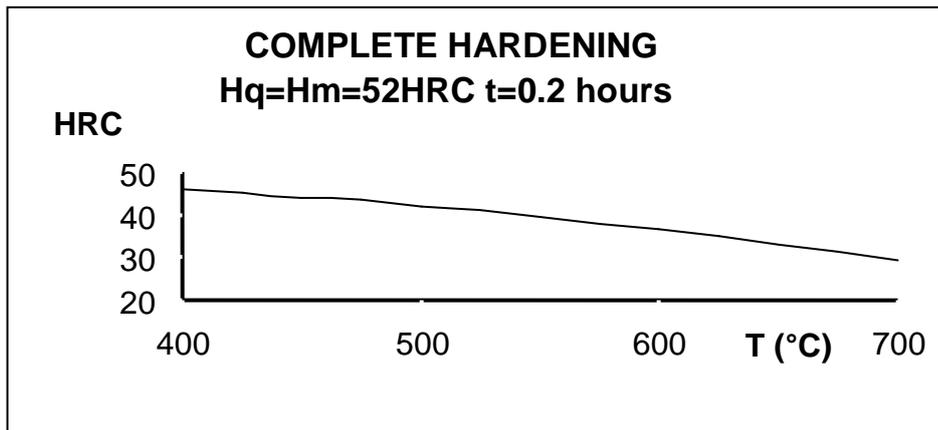


Gráfico 4.12 Curva Temperatura (°C) Vs. Dureza (HRC)
Acero V155 - STECAL

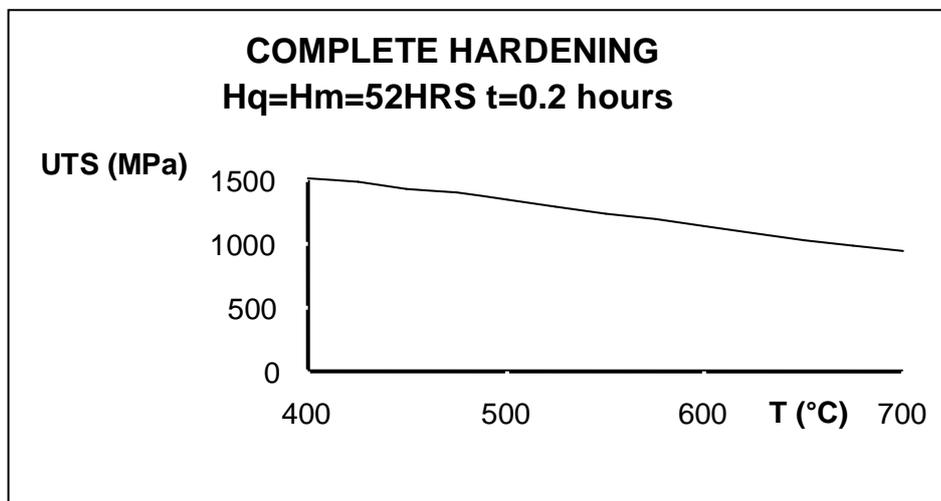


Gráfico 4.13 Curva Temperatura (°C) Vs. Esfuerzo Ultimo de Tracción
(MPa) Acero V155 – STECAL

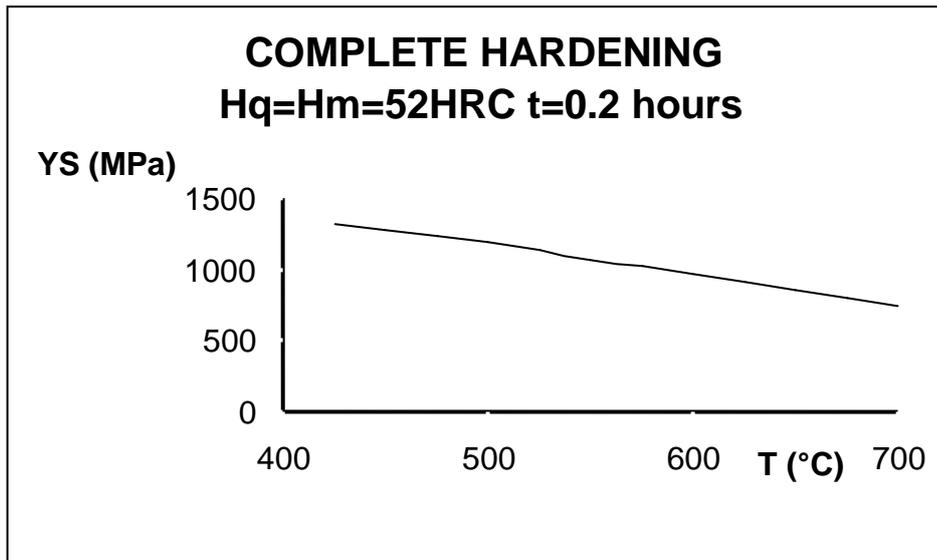


Gráfico 4.14 Curva Temperatura (°C) Vs. Esfuerzo de Fluencia (MPa)
Acero V155 – STECAL

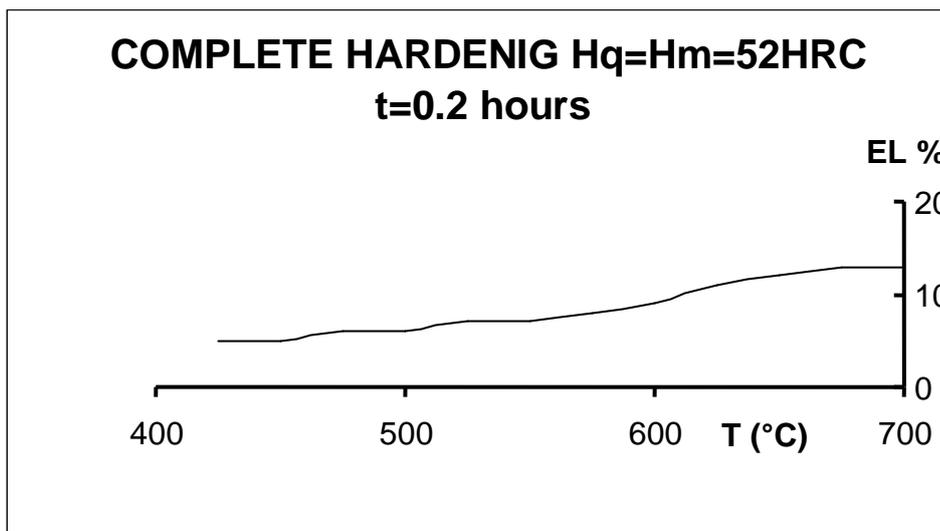


Gráfico 4.15 Curva Temperatura (°C) Vs. Elongación (%)
Acero V155 - STECAL

4.2.2 TABLAS Y GRÁFICOS DE RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO.

En esta parte se presenta los resultados obtenidos de los ensayos realizados con los tres tipos de aceros, tanto de dureza como de tracción, acompañados de tablas y gráficos para una mejor comprensión.

Los datos de dureza se obtuvieron del Durómetro del Laboratorio de Metalurgia y los datos de esfuerzos de fluencia y último de tracción en la máquina para Ensayos de Tracción del Laboratorio de Resistencia de Materiales.

Para obtener la curva de templabilidad real de los aceros se aprovechó la existencia en el Laboratorio de Metalurgia de la ESPE de probetas desarrolladas para ensayo Jominy, templadas y rectificadas, realizadas por Esteban Almeida y Hermes Coronado en su Tesis “Desarrollo de un software educativo virtual para la enseñanza y aprendizaje de prácticas correspondientes a tratamientos térmicos y templabilidad de aceros, en el laboratorio de metalurgia de la FIME”. En dichas probetas se tomaron las lecturas de dureza a diferentes distancias desde el extremo.

Todos los ensayos fueron realizados de conformidad a lo expuesto en el capítulo tres.

4.2.2.1 Resultados del Ensayo o Prueba Jominy

Las durezas obtenidas en las probetas del Laboratorio de la ESPE se muestran en la tabla y gráficos siguientes:

4.2.2.1.1 ACERO V945

d (mm)	HRC
2	52.00
4	48.00
6	36.00
8	33.00
10	33.00
12	31.50
16	28.00
20	22.50
24	17.50
28	19.00
36	19.00
44	18.00

Tabla 4.4 Dureza desde el extremo Acero V945

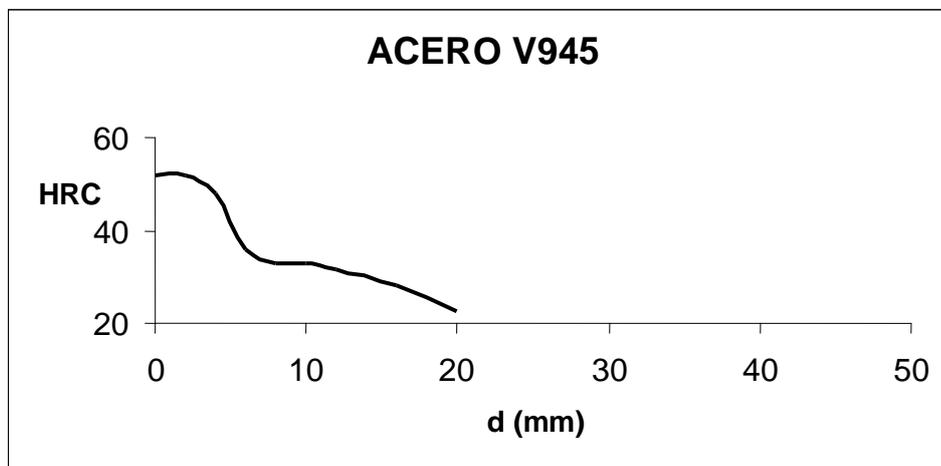
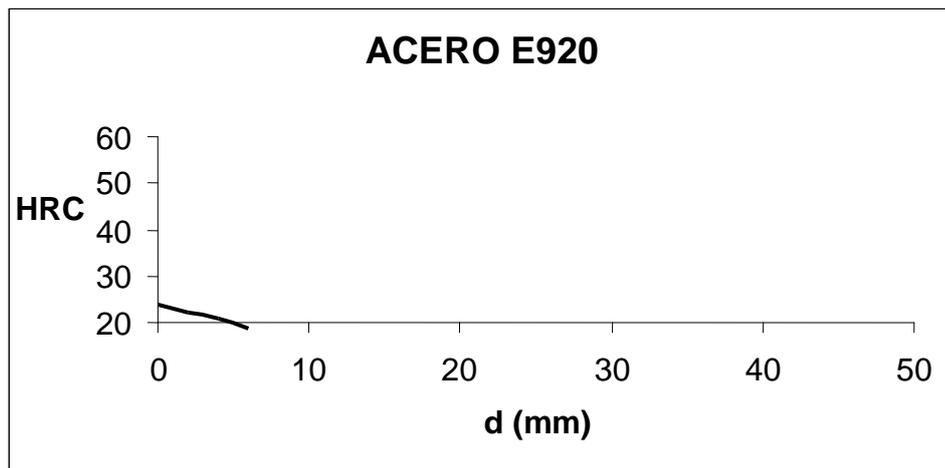


Gráfico 4.16 Curva de Templabilidad Real Acero V945

4.2.2.1.2 ACERO E920

d (mm)	HRC
2	22.00
4	21.00
6	18.50
8	17.50
10	17.00
12	17.00
16	12.50
20	11.00
24	10.00
28	6.00
36	5.50
44	6.0

Tabla 4.5 Dureza desde el extremo Acero E920

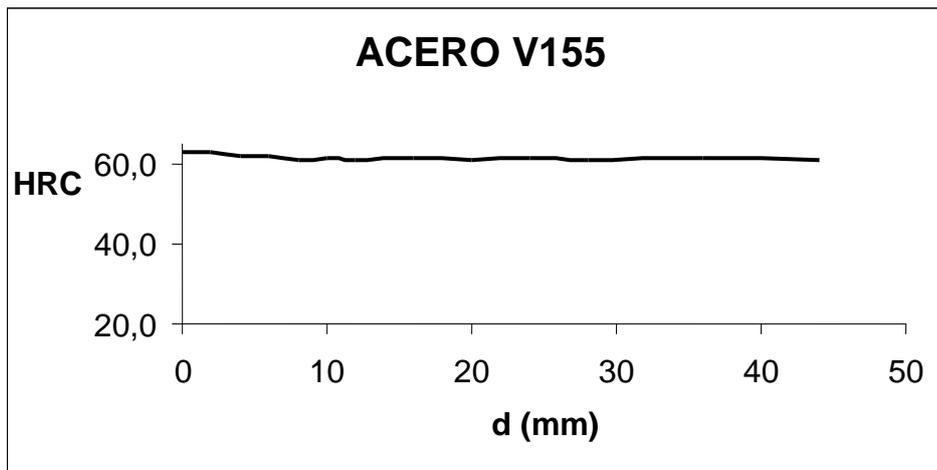


4.17 Curva de Templabilidad Real Acero E920

4.2.2.1.3 ACERO V155

d (mm)	HRC
2	63.00
4	62.00
6	62.00
8	61.00
10	61.50
12	61.50
16	61.50
20	61.00
24	61.00
28	61.00
36	61.00
44	61.00

Tabla 4.6 Dureza desde el extremo Acero V155



4.18 Curva de Templabilidad Real Acero V155

4.2.2.2 Resultados de Pruebas de Dureza

Para medir la dureza en el Laboratorio de Metalurgia se realizan 5 tomas con el durómetro y se hace un promedio entre ellas para obtener el resultado final:

$$\text{Promedio} = \Sigma x / n \quad (4.1)$$

4.2.2.2.1 Muestra 1: Acero V945

Esta muestra fue templada a 813°C en Agua (Anexo 3)

Prueba Nº	HRC
1	60.0
2	63.0
3	65.0
4	64.0
5	64.5

Tabla 4.7 Dureza Muestra 1 Acero V945

$$\text{Dureza Promedio: } (60+63+65+64+64.5) / 5 = \mathbf{63.3 \text{ HRC}}$$

4.2.2.2.2 Muestra 2: Acero V945

Esta muestra fue templada a 813°C en Aceite (Anexo 3)

Prueba Nº	HRC
1	31.5
2	32.5
3	30.0
4	33.0
5	33.5

Tabla 4.8 Dureza Muestra 2 Acero V945

Dureza Promedio: $(31.5+32.5+30+33+33.5) / 5 = 32.1 \text{ HRC}$

4.2.2.2.3 Muestra 1: Acero E920

Esta muestra fue templada a 862°C en Agua (Anexo 3)

Prueba Nº	HRC
1	54.5
2	54.5
3	54.5
4	55.0
5	54.0

Tabla 4.9 Dureza Muestra 1 Acero E920

Dureza Promedio: $(54.5+54.5+54.5+55+54) / 5 = 54.5 \text{ HRC}$

4.2.2.2.4 MUESTRA 2: ACERO E920

Esta muestra fue templada a 862°C en Aceite (Anexo 3)

Prueba Nº	HRC
1	9.0
2	6.0
3	12.0
4	10.5
5	9.5

Tabla 4.10 Dureza Muestra 2 Acero E920

Dureza Promedio: $(9+6+12+10.5+9.5) / 5 = 9.4 \text{ HRC}$

4.2.2.2.5 MUESTRA 1: ACERO V155

Esta muestra fue templada a 869°C en Agua (Anexo 3)

Prueba Nº	HRC
1	61.0
2	63.5
3	64.0
4	64.0
5	64.0

Tabla 4.11 Dureza Muestra 1 Acero V155

Dureza Promedio: $(61+63.5+64+64+64) / 5 = 63.3$ HRC

4.2.2.2.6 MUESTRA 2: ACERO V155

Esta muestra fue templada a 869°C en Aceite (Anexo 3)

Prueba Nº	HRC
1	60.0
2	60.5
3	60.0
4	61.0
5	61.0

Tabla 4.12 Dureza Muestra 2 Acero V155

Dureza Promedio: $(60+60.5+60+61+61) / 5 = 60.5$ HRC

Junto a las muestras se realizaron seis probetas según el plano del anexo 2 a las cuales se las templó a la temperatura de austenización indicada por el programa y se les hizo un revenido a distintos tiempos y temperaturas para luego medir por un lado dureza y por otro esfuerzo.

Los resultados de dureza se muestran de la siguiente manera:

4.2.2.2.7 PROBETA 1: ACERO V945

Esta probeta fue templada a 813°C en Agua y Revenida a 425°C por 6 minutos (Anexo 3)

Prueba Nº	HRC
1	40.5
2	46.0
3	46.5
4	48.0
5	50.0

Tabla 4.13 Dureza Probeta 1 Acero V945

Dureza Promedio: $(40.5+46+46.5+48+50) / 5 = 46.2$ HRC

4.2.2.2.8 PROBETA 2: ACERO V945

Esta probeta fue templada a 813°C en Agua y Revenida a 450°C por 6 minutos (Anexo 2)

Prueba N°	HRC
1	51.5
2	49.0
3	52.0
4	52.0
5	51.5

Tabla 4.14 Dureza Probeta 2 Acero V945

Dureza Promedio: $(51.5+49+52+52+51.5) / 5 = 51.2$ HRC

4.2.2.2.9 PROBETA 1: ACERO E920

Esta probeta fue templada a 862°C en Agua y Revenida a 400°C por 6 minutos (Anexo 3)

Prueba N°	HRC
1	41.0
2	43.5
3	43.0
4	42.0
5	42.0

Tabla 4.15 Dureza Probeta 1 Acero E920

Dureza Promedio: $(41+43.5+43+42+42) / 5 = 42.3$ HRC

4.2.2.2.10 PROBETA 2: ACERO E920

Esta probeta fue templada a 862°C en Agua y Revenida a 450°C por 6 minutos (Anexo 3)

Prueba N°	HRC
1	43.5
2	45.0
3	42.0
4	44.0
5	44.0

Tabla 4.16 Dureza Probeta 2 Acero E920

Dureza Promedio: $(43.5+45+42+44+44) / 5 = 43.7$ HRC

4.2.2.2.11 PROBETA 1: ACERO V155

Esta probeta fue templada a 869°C en Agua y Revenida a 425°C por 12 minutos (Anexo 3)

Prueba N°	HRC
1	48.0
2	49.5
3	49.0
4	48.0
5	49.0

Tabla 4.17 Dureza Probeta 1 Acero V155

Dureza Promedio: $(48+49.5+49+48+49) / 5 = 48.7$ HRC

4.2.2.2.12 PROBETA 2: ACERO V155

Esta probeta fue templada a 869°C en Aceite y Revenida a 450°C por 12 minutos (Anexo 3)

Prueba N°	HRC
1	46.0
2	49.0
3	47.5
4	48.0
5	47.0

Tabla 4.18 Dureza Probeta 2 Acero V155

Dureza Promedio: $(46+49+47.5+48+47) / 5 = 47.5$ HRC

4.2.2.3 Ensayo de Tracción

Para el ensayo de tracción se tomó una de las probetas templadas y revenidas y se la llevó al Laboratorio de Resistencia de Materiales obteniendo el siguiente resultado:

4.2.2.3.1 Resultado real probeta N°1: ACERO V945

Esta probeta fue templada a 813°C en Agua y Revenida a 425°C por 6 minutos
Dureza Promedio: 46.2 HRC

Lectura en el ensayo para determinar esfuerzo último a la tracción: 7730 Kgf.

Peso del Cabezal: 135 Kgf.

Fuerza ultima de tracción= 7730 – 135 = 7595 Kgf.

Esfuerzo Ultimo de Tracción (UTS) = $F \times 9.8 / A$

Diámetro de la Probeta: 12.5 mm

UTS: Mpa

F: Fuerza (Kgf)

A: Área (mm²)

$$A = \pi \times d^2 / 4$$

$$A = 122.72 \text{ mm}^2$$

$$UTS = 7595 \times 9.8 / 122.72$$

$$UTS = 606.51 \text{ MPa}$$

4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En esta sección se presentan los cuadros comparativos de resultados, de modo que podamos sacar las conclusiones respectivas.

ACERO BOHLER	MEDIO TEMPLE H	T (°C)	HRC LABORATORIO	HRC BOHLER	HRC STECAL	HRC PROM
V945	AGUA	813	63.3	65.0	58.0	46.9
V945	ACEITE	813	32.1	44.0	34.0	35.1
E920	AGUA	862	54.5	56.0	38.5	14.8
E920	ACEITE	862	9.4	8.0	11.5	8.8
V155	AGUA	869	63.3	61.0	52.0	52.0
V155	ACEITE	869	60.5	56.0	52.0	52.0

Tabla 4.19 Comparativo de resultados en las muestras templadas

ACERO BOHLER	H	T TEMPLE (°C)	REVENIDO T , t °C , min	HRC LAB	HRC BOHLER	HRC STECAL
V945	2.0	813	425 – 6	46.2	49.0	43.5
V945	2.0	813	450 – 6	51.2	50.0	42.0
E920	2.0	862	400 – 6	42.3	44.0	31.0
E920	2.0	862	450 – 6	43.7	44.0	27.0
V155	2.0	869	425 – 12	48.7	49.0	45.0
V155	0.8	869	450 – 12	47.5	50.0	44.0

Tabla 4.20 Comparativo de resultados en las probetas templadas

4.3.1 CONCLUSIONES

De acuerdo a los datos obtenidos podemos destacar las siguientes conclusiones:

1. La curva de templabilidad obtenida de forma real comparada con la del programa en el caso del acero V945 se podría decir que exactamente igual con mínimas variaciones.
2. En el caso del acero E920 el gráfico es similar, demostrando ser un acero de muy baja templabilidad pero los valores iniciales no coinciden.
3. El acero V155 en cambio demuestra ser un acero de muy buena templabilidad y muy estable, con el STECAL la curva se mantiene en los 52HRC mientras que en forma real lo hace alrededor del valor promedio de 61.5 HRC.

4. El dato de curva de templabilidad obtenido mediante el ensayo Jominy proporcionado por el programa es bastante confiable observado como una tendencia de comportamiento del acero.
5. Sería recomendable hacer ensayos mucho más variados con otros aceros sin olvidar el limitante de cálculo del programa de ser un software para aceros de bajo contenido de carbono.
6. La explicación que se da acerca del ensayo Jominy en el programa TT06-2001 es muy buena y se recomienda que los alumnos de la facultad puedan tener acceso a este medio didáctico para comprender el estudio de la templabilidad de los aceros.
7. Por medio de este estudio se pudo comprender claramente que la templabilidad del acero depende en gran parte de la aleación, un acero con mayor cantidad de aleantes tiene una curva de templabilidad mayor y lo mismo sucede con el tamaño de grano, un acero con tamaño de grano según la norma ASTM menor tendrá una templabilidad baja.
8. Una gran ventaja que ofrece el programa es poder determinar la dureza del acero luego del temple dependiendo del medio como puede ser aire, aceite o agua.
9. A través del índice H, el usuario del programa podrá escoger la velocidad de enfriamiento y observar las diferencias en los resultados, en nuestro estudio se pudo determinar que el acero que en su composición química cuenta con mayor cantidad de aleantes es más estable y se podrán obtener características similares independientemente del medio de temple, en cambio en los aceros que no contienen otros aleantes la velocidad y medio de temple es crucial en los resultados que se desea obtener.

10. El acero E920 es un acero que no es recomendable para temple, su mejor funcionamiento en la ingeniería es sometiéndolo al tratamiento del cementado pues vemos que los resultados de dureza en temple, sobre todo en aceite son muy pobres.
11. La diferencia substancial en la composición de carbono entre el acero V945 y el acero E920 nos permite observar el mejor comportamiento del primero en lo que a dureza se refiere siendo este mucho menor en el caso de temple en aceite.
12. Los valores de dureza obtenidos en el Acero V945 y E920 tanto en forma real como con el programa son bastante parecidos lo cual da una cierta confiabilidad al programa en tanto y en cuanto las características del acero sean lo más precisas posible.
13. Se debe tomar en cuenta la calibración del durómetro del Laboratorio de Metalurgia de la ESPE, para obtener datos más precisos y confiables.
14. En el caso del acero E920 templado en agua los datos están bastante distorsionados comparándolos unos con otros, puede estar originado por la baja composición química de este y tamaño de grano inferior al momento de introducir el dato en el software.
15. Con el acero V155 realmente se obtuvieron mayores durezas que las presentadas por el programa, como conclusión podemos decir que el usuario debe tener precaución con el tratamiento térmico que va a utilizar conociendo que es posible obtener mayores durezas y por lo tanto cambios en las propiedades mecánicas del acero pero en cambio debe escoger el medio de temple menor ya que se obtienen aproximadamente los mismos resultados del temple en agua o aceite pero en el uno existe mayor riesgo de fisuras en los materiales que en el otro.

16. El programa facilita la obtención de las temperaturas de austenización de los aceros, dato importantísimo en los tratamientos térmicos.
17. Las durezas medidas luego del revenido nos muestran algunas diferencias con las del programa, esto es porque el programa realiza sus cálculos en función de un dureza específica obtenida, en cambio en el laboratorio lo que se hizo es realizar el revenido a partir de la dureza real obtenida luego del temple.
18. El resultado de la prueba de tracción está totalmente fuera del rango, la dureza de las probetas no permite a las mordazas de las máquinas sostener a la probeta apropiadamente ocasionando problemas en la medición de este dato.
19. Para poder responder con las expectativas del proyecto se realizó una investigación de los datos proporcionados en las tablas de diseño en ingeniería Mecánica para obtener los datos de esfuerzos de tracción y comparar esos resultados con los del programa demostrando que si son correctos y apropiados. (Anexo 4)
20. La gran cantidad de conclusiones que se pueden obtener de un estudio como este es una muestra fehaciente de la riqueza didáctica y académica de un software de éstas características.

CAPITULO 5

DISEÑO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO

5.1 ELABORACIÓN DE LAS GUÍAS DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO

En este capítulo se pretende desarrollar varias guías de práctica para el Laboratorio de Metalurgia de la ESPE, con el fin de dar un aporte concreto a la Facultad de Ingeniería Mecánica después de haber realizado el estudio de los resultados que se pueden obtener del software y poder cumplir con el objetivo de aportar al estudio de los tratamientos térmicos.

Para la elaboración de estas guías de práctica se tomará en cuenta las posibilidades que brinda el programa, con cierta facilidad de ser ejecutadas por los estudiantes y susceptibles de ser evaluadas por los profesores.

Estas prácticas están basadas en los mismos ensayos realizados en el proyecto de manera que por haber sido ya ejecutadas se podrán dar criterios objetivos para las mismas.

Estas guías de práctica no son sino solamente sugerencias para el Jefe de Laboratorio quien juzgará con su experiencia y mayores elementos de juicio si son pertinentes implementarlas y se pueden introducir en el esquema de estudios de la Facultad.

Por otro lado, de ser aprobadas, se deberán realizar constantes mejoras para que las prácticas cumplan con todas las normas y se rijan al sistema de calidad implementado en la Facultad.

5.1.1 DESCRIPCIÓN DE LAS PRÁCTICAS

A continuación en las prácticas se expondrán el nombre y los objetivos, añadiendo una pequeña descripción para explicar en que consiste cada una.

Las prácticas que se sugieren en la elaboración de este proyecto son las siguientes:

5.1.1.1 Ensayo Jominy para Aceros de baja aleación

Objetivos:

- a) Aprender a realizar el ensayo Jominy
- b) Determinar la curva de templabilidad del acero

Descripción:

Consiste en fabricar la probeta para realizar el ensayo Jominy de acuerdo al plano proporcionado en la guía, templar la probeta en el extremo utilizando el programa para saber la temperatura de austenización del acero y los hornos del Laboratorio. Rectificar dos superficies planas 0.38mm de profundidad, medir las durezas a diferentes distancias, de preferencia: 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 18, 22, 26, 30, 34, 38, 42, 46 y 50mm, con estos datos elaborar la curva de enfriamiento del acero y compararla con la proporcionada por el software.

5.1.1.2 Temple de aceros en diferentes medios de enfriamiento

Objetivos:

- a) Analizar la diferencia en la dureza dependiendo del medio de enfriamiento.
- b) Comprender como afectan los elementos aleantes en los resultados de los tratamientos térmicos y sus diferencias con aceros de baja aleación.

Descripción:

Consiste en cortar dos muestras de dos diferentes aceros de baja aleación, el uno debe contener mayor elementos aleantes en su composición química, realizar el ensayo de metalografía para determinar el tamaño de grano, ingresar los datos de composición química del acero en el programa, con los datos de temperatura realizar el tratamiento térmico de temple en dos medios a

las muestras, la una en agua y la otra en aceite, finalmente medir las durezas obtenidas y compararlas con las del programa.

5.1.1.3 Determinar durezas en aceros de baja aleación templados y revenidos.

Objetivos:

- a) Analizar los efectos del revenido a diferentes temperaturas y tiempos.

Descripción:

El procedimiento es similar a la práctica anterior, en este caso se necesitan varias muestras del mismo acero templadas de igual manera, es decir en el mismo medio, pero sometidas a un revenido posterior a diferentes temperaturas y tiempos, proporcionados por el programa. Medir las durezas obtenidas y compararlas con el software.

5.1.2 INSTRUCTIVO PARA LA EJECUCION DE LAS PRÁCTICAS

5.1.2.1. Ensayo Jominy Para Aceros De Baja Aleación

Objetivos:

- a) Aprender a realizar el ensayo Jominy
- b) Determinar la curva de templabilidad del acero

Instructivo:

1. Fabricar la probeta Jominy en el Laboratorio de Máquinas Herramientas a partir de un eje de Acero de baja aleación de composición química conocida, según se muestra en el plano siguiente:

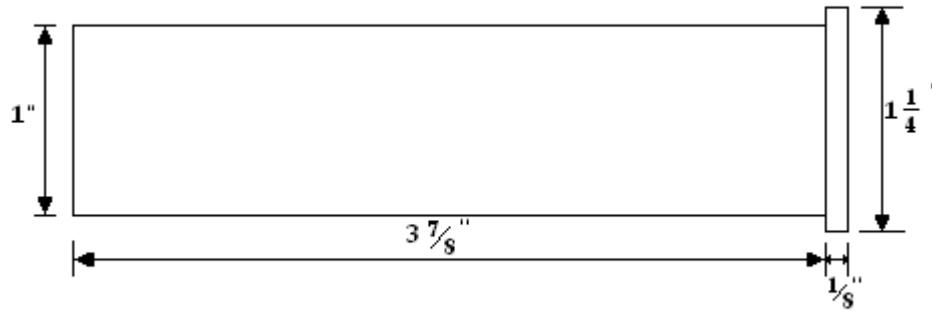


Grafico 5.1 Plano de la Probeta Jominy

Fuente: Tesis “desarrollo de un software educativo virtual para la enseñanza y aprendizaje de prácticas correspondientes a tratamientos térmicos y templabilidad de aceros, en el laboratorio de metalurgia de la Fime” Autores: *Coronado Y Almeida*

2. Introducir la probeta en un horno hasta llegar a la temperatura de austenización proporcionada por el software. Colocarla dentro del horno de manera que sea fácil sacarla por el extremo superior. Una vez que el horno llega a la temperatura deseada se la mantiene por aproximadamente 20 minutos.
3. Finalizado el tiempo se lleva la muestra hacia el dispositivo de temple, el mismo que consiste en un chorro de agua vertical sobre el cual se ha incidir el extremo de la barra de acero manteniéndolo por un máximo de 10 minutos.
4. A continuación de se rectifican dos caras planas opuestas a una profundidad entre 0.38 y 0.4mm teniendo la precaución de utilizar refrigerante durante el maquinado para no alterar los resultados de la prueba.
5. Medir sobre las superficies planas distancias de la siguiente manera:
2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 18, 22, 26, 30, 34, 38, 42, 46 y 50mm

6. En el durómetro medir las diferentes durezas en los puntos medidos sobre la barra templada y rectificada.
7. Con estos datos elaborar la curva distancia (mm) Vs. dureza (HRC)
8. Comparar esta curva con la proporcionada por el programa, determinar conclusiones y recomendaciones.

Materiales:

1. Una barra de acero de baja aleación
2. Torno y Fresa
3. Horno
4. Dispositivo de temple para ensayo Jominy
5. Ganchos o Pinzas
6. Guantes
7. Durómetro

5.1.2.2 Temple de aceros en diferentes medios de enfriamiento

Objetivos:

- a) Analizar la diferencia en la dureza dependiendo del medio de enfriamiento.
- b) Comprender como afectan los elementos aleantes en los resultados de los tratamientos térmicos y sus diferencias con aceros de baja aleación.

Instructivo:

1. Cortar tres muestras de un acero de baja aleación con composición química conocida de aproximadamente una pulgada de diámetro por 1 ½" de largo en la cortadora del Laboratorio.

2. Con la primera muestra realizar el ensayo metalográfico para conocer el tamaño de grano del acero en suministro. (Ver procedimiento para ensayo metalográfico).
3. Introducir las dos muestras restantes en un horno a la temperatura de austenización proporcionada por el programa y manteniéndolas a dicha temperatura por un tiempo de 20 minutos.
4. Templar la una muestra en agua y la otra en aceite, agitándolas a una velocidad constante más o menos rápida.
5. En el durómetro medir la dureza promedio de un total de cinco medidas en cada muestra.
6. Tomar los datos, hacer análisis y determinar conclusiones y recomendaciones.

Materiales:

1. Una barra de acero de baja aleación
2. Cortadora de Muestras
3. Lijas y Reactivos para metalografía.
4. Horno
5. Alambre
6. Agua y Aceite
7. Ganchos o Pinzas
8. Guantes
9. Durómetro

5.1.2.3 Determinar durezas en aceros de baja aleación templados y revenidos.

Objetivos:

- a) Analizar los efectos del revenido a diferentes temperaturas y tiempos.

Instructivo:

1. Cortar cuatro muestras de un acero de baja aleación con composición química conocida de aproximadamente una pulgada de diámetro por 1 ½" de largo en la cortadora del Laboratorio.
2. Con la primera muestra realizar el ensayo metalográfico para conocer el tamaño de grano del acero en suministro. (Ver procedimiento para ensayo metalográfico).
3. Introducir las tres muestras restantes en un horno a la temperatura de austenización proporcionada por el programa y manteniéndolas a dicha temperatura por un tiempo de 20 minutos. (Una pieza a la vez)
4. Templar las tres muestras en el mismo medio de enfriamiento, agitándolas a una velocidad constante más o menos rápida.
5. Realizar el revenido de las muestras a diferentes temperaturas y tiempos según nos muestre el programa.
6. En el durómetro medir la dureza promedio de un total de cinco medidas en cada muestra.
7. Tomar los datos, hacer análisis y determinar conclusiones y recomendaciones.

Materiales:

1. Una barra de acero de baja aleación
2. Cortadora de Muestras
3. Lijas y Reactivos para metalografía.
4. Horno

5. Alambre
6. Agua o Aceite
7. Ganchos o Pinzas
8. Guantes
9. Durómetro

5.1.3 FORMATOS DE REGISTRO

5.1.3.1 Formatos de registro para ensayo Jominy

Distancia (mm)	Dureza (HRC)
2	
4	
6	
8	
10	
12	
14	
18	
22	
26	
30	
34	
38	
42	
46	
50	

5.1.3.2 Formatos de registro para temple de aceros en diferentes medios de enfriamiento

Prueba	Aceite (HRC)	Agua (HRC)
1		
2		

3		
4		
5		
Suma		
Promedio		

5.1.3.3 Formatos de registro para determinar durezas en aceros de baja aleación templados y revenidos

Prueba	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3	
	T1= (°C)	t1= Min.	T2= (°C)	t2= Min.	T3= (°C)	t3= Min.
1						
2						
3						
4						
5						
Suma						
Prom.						

5.2 EJECUCION DE LAS PRÁCTICAS

5.2.1 DESARROLLO DE LAS PRÁCTICAS SEGÚN DISEÑO

Las prácticas fueron desarrolladas según el diseño propuesto en el Laboratorio de Metalurgia de la ESPE, comprobando que son factibles de realizarse y son compatibles con el estudio del software.

Las prácticas propuestas son simplemente una guía, deberán ser revisadas por los expertos, es decir por los pedagogos quienes con su experiencia pueden determinar si con estas prácticas, objetivos y descripciones se pueden lograr las metas propuestas en el esquema de formación de los estudiantes de la facultad y de la escuela, siguiendo los pasos determinados para esta implementación.

También se debe considerar que éstas prácticas pueden ser consideradas como una opción adicional para los estudiantes de Ingeniería Mecánica pues en la actualidad ya existe un programa establecido para el semestre y dependerá de los directivos de la facultad implementarlos.

El diseño de las prácticas de laboratorio en este proyecto pretende ser un aporte académico que permita asentar de una manera objetiva lo aprendido durante la realización de este proyecto y por la experiencia sugerir a los profesores y estudiantes los innumerables beneficios que se pueden obtener de un estudio similar, claro que se debe entender el alcance que la facultad tiene en esta rama siendo una especialidad de la Ingeniería Mecánica, mas no una generalidad.

5.2.2 SEGURIDADES Y PRECAUCIONES

5.2.2.1 Seguridad y Precauciones en el ensayo Jominy

1. En esta práctica se va a trabajar con elementos sometidos a altas temperaturas, es importante la utilización de ropa y guantes apropiados.
2. No sobrepasar el tiempo de la barra en el horno.
3. No disminuir ni sobrepasar el tiempo de enfriamiento en el chorro de agua.
4. Verificar el correcto funcionamiento del chorro de agua en el dispositivo.
5. Calibrar el durómetro antes de tomar las medidas en la probeta.

5.2.2.2 Seguridades y Precauciones para temple de aceros en diferentes medios de enfriamiento

1. En esta práctica se va a trabajar con elementos sometidos a altas temperaturas, es importante la utilización de ropa y guantes apropiados.
2. No sobrepasar el tiempo de la barra en el horno.
3. Calibrar el durómetro antes de tomar las medidas en la probeta.
4. Cuidar del orden de las muestras para no confundir los datos

5.2.2.3 Seguridades y Precauciones para determinar durezas en aceros de baja aleación templados y revenidos

1. En esta práctica se va a trabajar con elementos sometidos a altas temperaturas, es importante la utilización de ropa y guantes apropiados.
2. No sobrepasar el tiempo de la barra en el horno.
3. Calibrar el durómetro antes de tomar las medidas en la probeta.
4. Cuidar del orden de las muestras para no confundir los datos

CAPITULO 6

ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

6.1 INTRODUCCION

El estudio económico de este proyecto no es otra cosa que la descripción de los gastos realizados en la validación de un software que principalmente será

utilizado por los estudiantes de Ingeniería Mecánica de la ESPE y lo que pretende es dar una información clara de las consideraciones a tomar económicamente hablando para hacer este trabajo en busca de sacar el mejor provecho del programa STECAL u otro programa de las mismas características.

Se podría decir que realizar las prácticas que sugiere el programa no son muy costosas a cambio del gran aporte que brindan para quien desee profundizar en el estudio de los tratamientos térmicos de los acero, de manera que mediante este análisis también se pretende dar una orientación veraz de la inversión realizada para las futuras generaciones en función de los beneficios que se pueden obtener.

6.2 COSTOS DIRECTOS

6.2.1 MATERIALES

Para la realización de este proyecto se requirieron 6 muestras de acero y 6 probetas de tres diferentes tipos de aceros:

DESCRIPCION	CANTIDAD (Kg.)	V. UNITARIO	V. TOTAL
Acero V945	2.60	2.26	5.88
Acero V155	2.60	4.40	11.44
Acero E920	2.60	1.22	3.17
		Subtotal	20.49
		12% IVA	2.46
		Total	22.95

Tabla 6.1 Costo de Materiales

6.2.2 MECANIZADO Y TRATAMIENTOS TERMICOS

Se realizó el mecanizado de 6 probetas según la norma ASTM, 3 probetas para ensayo Jominy que ya estaban listas pero se la nombra para las consideraciones que se deban tomar a futuro y los tratamientos térmicos en Aceros Bohler.

DESCRIPCION	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
Torneado de Probetas	6	5.00	30.00
Tratamientos Térmicos	12	4.54	54.48
Probeta Jominy	3	8.00	24.00
		Subtotal	108.48
		12% IVA	13.02
		Total	121.50

Tabla 6.2 Costo de Mecanizado

6.2.3 ENSAYOS

Se realizaron tomas de dureza en las 6 muestras, en 6 probetas y 3 probetas de ensayo Jominy. El ensayo de tracción se lo realizó a 6 probetas.

DESCRIPCION	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
Ensayo de Dureza	15	8.00	120.00
Ensayo de Tracción	6	8.00	48.00
		Subtotal	168.00
		12% IVA	20.16
		Total	188.16

Tabla 6.3 Costos de Elaboración de ensayos

6.2.4 HORAS DE TRABAJO

Para la realización del proyecto de utilizaron aproximadamente 600 horas de trabajo entre estudiante y profesores y se consideró un valor aproximado por hora de 4.30 USD, de lo que se obtiene que el costo por trabajo es de:

COSTOS POR TOTAL DE HORAS DE TRABAJO: **2580.00 USD**

6.3 COSTOS INDIRECTOS

6.3.1 MOVILIZACION

DESCRIPCION	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
Quito a la ESPE	12	3.00	36.00
Aceros Bohler	4	2.00	8.00
Otros	4	2.00	8.00
		Total	60.00

Tabla 6.4 Costos de Movilización

6.3.2 VARIOS

DESCRIPCION	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
Papel (500 hojas)	3	3.00	9.00
Empastados	6	6.00	36.00
Impresiones	900	0.5	450.00
Solicitudes y Autorizaciones	2	0.50	1.00
Diskets y CDS	5	1.00	5.00

		Subtotal	501.00
		12% IVA	60.12
		Total	561.12

Tabla 6.5 Costos Varios

6.4 TOTAL DE COSTOS

DESCRIPCION	V. TOTAL
6.2.1 MATERIALES	22.95
6.2.2 MECANIZADO Y TRATAMIENTOS TERMICOS	121.50
6.2.3 ENSAYOS	188.16
6.2.4 HORAS DE TRABAJO	2580.00
6.2.5 MOVILIZACION	60.00
6.2.6 VARIOS	561.12
TOTAL	3533.73

Tabla 6.6 Total de Gastos

6.5 BENEFICIOS

A continuación se va a exponer los gastos que tendría un estudiante de Ingeniería Mecánica de la ESPE para realizar un estudio similar pero con pocas variables y mucho más corto, como parte de su formación técnica con dos condiciones:

1. La Escuela proporciona al estudiante la posibilidad de realizar este estudio.
2. El estudiante acepta asumir los costos para la realización de este trabajo.

Se debe tomar en cuenta que el estudiante que decida ocupar el software y validarlo con otros datos diferentes a los de este proyecto y en mejores condiciones recibirá a cambio un excelente entrenamiento en el área de los tratamientos térmicos y es lo que se trata de demostrar a continuación.

También se va a realizar una valoración en lo que respecta a un técnico encargado de realizar tratamientos térmicos en una planta o a un ingeniero que se encarga del diseño de ciertas piezas de acero que ocupa los criterios del programa.

6.5.1 GASTOS DE UN ESTUDIANTE

CASO 1:

Vamos a suponer un estudio de un acero de baja aleación templado y revenido.

DESCRIPCION	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
Materiales	1.30	2.26	2.94
Elaboración de Probeta	1	5.00	5.00
Temple de la probeta	1	4.54	4.54
Movilización	2	3.00	6.00
Otros	1	5.00	5.00
		Subtotal	23.48
		12% IVA	2.82

		Total	26.30
--	--	--------------	--------------

Tabla 6.7 Gastos de un estudiante CASO 1.

CASO 2:

Vamos a suponer el estudio y realización del ensayo Jominy.

DESCRIPCION	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
Materiales	2.60	2.26	5.88
Elaboración de Probeta	1	5.00	5.00
Movilización	2	3.00	6.00
Otros	1	5.00	5.00
		Subtotal	21.88
		12% IVA	2.63
		Total	24.51

Tabla 6.8 Gastos de un estudiante CASO 2.

6.5.2 AHORRO DE UN TECNICO

CASO 3:

Se considera un Ingeniero que desea diseñar un eje de cierto diámetro con una dureza deseada mínima. Posee el software para realizar estudio.

En este caso el ingeniero ahorra en todos los gastos de compra de materiales, movilización y pruebas pues ya conoce que el software STECAL le puede dar valores referenciales de ciertos aceros de baja aleación. Puede optar por conocer las durezas o con la curva de templabilidad de los aceros y las distancias equivalentes determinar el acero para fabricar el eje.

El beneficio de este proyecto se presenta justamente en que ya se han comprobado experimentalmente los valores que despliega el programa y por la

tanto tienen cierta confiabilidad que al ser usados correctamente brindan gran ayuda a los usuarios.

6.5.3 VALORACION DE LAS VENTAJAS

Para valorar las ventajas y beneficios se ha decidido ponderar de acuerdo a ciertos criterios las ventajas del estudiante y del técnico en los casos anteriores.

Esos criterios se calificarán de la siguiente manera:

CRITERIO	CALIFICACION
EXCELENTE	5
MUY BUENO	4
BUENO	3
REGULAR	2
MALO	1

Tabla 6.9 Criterios de Valoración de los beneficios

VALORACION PONDERADA DE LAS VENTAJAS DEL PROGRAMA

VALOR	CALIFICACION
Nivel de Gastos	3
Tiempo de Elaboración de Pruebas	4
Facilidad de Ingreso de Datos	5
Confiabilidad de los resultados	3
Facilidad de comprensión del software	3

Facilidad de Operación del software	4
Disponibilidad	4
Ahorro de Tiempo	4
Ahorro de Gastos	4
Amplitud de posibilidades	4
Aprendizaje de Tratamientos Térmicos	5
Profundidad del estudio	4

Tabla 6.10 Calificación de las ventajas del programa

Se obtiene el promedio de las calificaciones de los criterios:

$$\text{Promedio} = (3+4+5+3+3+4+4+4+4+4+4+5+4) / 12 = 3.92 \text{ sobre } 5.00$$

También se puede comparar la relación costo-beneficio con la opción de recibir un curso similar de tratamientos térmicos, en una empresa particular.

Horas de Curso	=	40 horas
Costo por hora	=	5.0 USD
TOTAL DEL CURSO	=	200.0 USD

Tiempo de Análisis del Software	=	40 horas
Costo por investigación promedio	=	25.0 USD

La inversión sería nada más su tiempo, que se entiende en un estudiante de Ingeniería no tiene costo pues es parte de formación académica y profesional. En el costo por investigación promedio se incluyen como se muestran en las tablas 6.7 y 6.8 materiales, movilización, mecanizado y tratamientos térmicos.

6.6 CONCLUSION FINAL

En base al estudio económico anterior, como conclusión se puede decir que los beneficios del presente proyecto son mucho mayores con respecto a sus costos ya que si comparamos sus ventajas económicas con sus costos, encontramos que las primeras superan con mucho a las segundas, sin tomar en cuenta que el conocimiento obtenido nunca tendrá un valor pequeño sino más bien, puede ser potencializado dependiendo de otras herramientas y de la profundidad que se decida dar a esta especialidad de la ciencia de los materiales.

Cabe destacar el esfuerzo por validar los resultados de manera que sean comparables con los del software, y que sirvan a los usuarios, pero a la vez comprender que se pueden realizar muchísimas variaciones haciendo del programa muy versátil, repitiendo diferentes prácticas con diferentes variables y resultados dando la posibilidad a los estudiantes de realizar innumerables experimentos.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

21. Una de las aplicaciones que se pueda dar al presente proyecto y a los programas estudiados es en el área académica, como una herramienta poderosa para que los estudiantes puedan realizar diferentes prácticas y entender los fenómenos físicos que suceden en los tratamientos térmicos del acero.

22. Puede ser usado por los ingenieros de una empresa que deseen realizar ellos mismos los tratamientos térmicos de una forma artesanal en vez de enviarlos a una planta especializada con piezas que no requieren de mayor precisión, además puede ser usada perfectamente por los

técnicos responsables de los tratamientos térmicos para implementarla como una ayuda complementaria.

23. La construcción del programa está basado en ensayos realizados en condiciones mucho más rígidas, es decir llevando a cabo un proceso mucho más cuidadoso de todos los pasos y con los equipos y condiciones ideales.

24. El resultado de la prueba de tracción fue erróneo, debido a que la dureza de las probetas no permite a las mordazas de las máquinas sostener a la probeta apropiadamente ocasionando problemas en la medición de este dato y dañando las mordazas, imposibilitando realizar otras mediciones.

25. Mediante el uso del software se pueden determinar en forma referencial las propiedades de dureza y tracción de aceros de baja aleación para diferentes condiciones como medio de enfriamiento, temperaturas y tiempos, además obtener diferentes curvas para visualizar de comportamiento de los aceros bajo dichas condiciones.

26. Se pudo estudiar el software STECAL con la suficiente profundidad, su funcionamiento y posibilidades que ofrece, además se pudo validar algunos de sus resultados sobre todo lo que tiene que ver con propiedades mecánicas del acero mediante la selección de probetas y ensayos específicos concluyendo que su uso debe ser referencial.

7.2 RECOMENDACIONES

1. Brindar la posibilidad de que los estudiantes de Ingeniería Mecánica de la ESPE puedan realizar estudios referentes al tema de tratamientos

térmicos, con el software estudiado, ampliando y enriqueciendo el presente trabajo, impulsando de esta manera el conocimiento en ésta área de las ciencias como particularidad de los estudiantes de esta Facultad.

2. Los estudiantes o profesionales que deseen optar por la utilización de estas herramientas para realizar un proyecto en el campo de la industria, deberán tomar los datos proporcionados por el software en forma referencial.
3. Es primordial antes de usar el programa STECAL, conocer el tamaño de grano del acero estudiado para no obtener datos erróneos ya que es un dato extremadamente preponderante.
4. Se lo debe tomar como una oportunidad para el Laboratorio de Metalurgia de la ESPE, desarrollar un proceso científico adecuado y preciso para que los estudiantes puedan realizar los ensayos, primordialmente el ensayo Jominy y seguir validando el software STECAL por parte de los estudiantes como un aporte a las Ciencias de los Materiales y a la Ingeniería.
5. El Laboratorio de Metalurgia de la ESPE cuenta con probetas para el ensayo Jominy pero por las condiciones mismas de estas no podrán ser utilizadas una gran cantidad de veces por lo que organizar un programa en el Laboratorio para seguir construyendo probetas para Ensayo Jominy con aceros de composición química conocida sería interesante y un gran aporte a la Facultad de Ingeniería Mecánica de la ESPE.
6. Se recomienda incentivar y proponer el desarrollo de un proyecto, que bien podría ser un “proyecto de grado”, donde se puedan construir las mordazas apropiadas para realizar ensayos de tracción en probetas de acero sometidos a tratamientos térmicos.

7. Para someter aceros a tratamientos térmicos existen dos variables de mayor importancia a otras como son la temperatura de austenización y el diámetro equivalente pues en función de ellas se toma la decisión del tiempo de permanencia en el horno, el programa STECAL los proporciona, por lo cual se recomienda usarlo con gran confiabilidad
8. El programa permite observar la curva de templabilidad, se puede utilizar esta curva como una herramienta de diseño ya que el programa permite obtener el diámetro equivalente.

BIBLIOGRAFÍA

1. AVNER, S.H. Introducción a la metalurgia física. Traducido del inglés por José Luis Estrada Haen. 2da e.d. México.D.F. McGraw-Hill. 1988. pp. 130-180
2. ASKELAND, D. R. La Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Traducido del inglés por Gonzalo Guerrero Zepeda. 2da e.d. México.D.F. Grupo editorial Iberoamericana. 1987. 450 p.
3. SHIGLEY, J.E. y MICSCHKE, C.R. Diseño en Ingeniería Mecánica. Traducido por Francisco Paniagua Bocanegra. 5ta e.d. México.D.F.. 1999. pp 860-861
4. BHOLER. Manual de Aceros Especiales en Pc. Versión 1.0. QUITO (ECUADOR). 1992.
5. ALMEIDA, E Y CORONADO, F. Desarrollo de un software educativo virtual para la enseñanza y aprendizaje de prácticas correspondientes a tratamientos térmicos y templabilidad de aceros, en el laboratorio de

metalurgia de la FIME. Tesis Ing. Mec. Quito. Escuela Politécnica del Ejército. Facultad de Ingeniería Mecánica. 2004. pp 309-310