

**SOFTWARE DE APOYO EN LA SELECCIÓN Y DISEÑO DE ACEROS
PARA ENGRANAJES CEMENTADOS**

**ALFREDO JOSÉ PERTUZ MONTENEGRO
AFRANIO CARDONA GÓMEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
BUCARAMANGA**

2004

**SOFTWARE DE APOYO EN LA SELECCIÓN Y DISEÑO DE ACEROS
PARA ENGRANAJES CEMENTADOS**

**ALFREDO JOSÉ PERTUZ MONTENEGRO
AFRANIO CARDONA GÓMEZ**

**Proyecto de grado presentado para optar al título de
Ingeniero de Sistemas**

Director

**HUGO ANDRADE SOSA
Ingeniero de Sistemas**

Codirector

**AFRANIO CARDONA GRANADOS
Ingeniero Metalúrgico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS
BUCARAMANGA**

2004

TABLA DE CONTENIDO

PREÁMBULO	14
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	16
1.1 OBJETIVOS DEL PROYECTO	18
1.1.1 OBJETIVO GENERAL	18
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
1.2 JUSTIFICACIÓN	19
1.2.1 IMPACTO	19
1.2.2 VIABILIDAD.....	20
2. PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN	21
2.1 METODOLOGÍA	21
2.2 PLAN DE TRABAJO	23
2.2.1 PRIMERA FASE (FASE DE INICIO).	23
2.2.2 SEGUNDA FASE (FASE DE DISEÑO).....	24
2.2.3 TERCERA FASE (FASE DE EJECUCIÓN I)	25
2.2.4 CUARTA FASE (FASE DE EJECUCIÓN II)	27
2.2.5 QUINTA FASE (FASE FINAL Y DE ENTREGA).	27
3. MARCO TEÓRICO	29
3.1 INGENIERÍA METALÚRGICA	29
3.1.1 TEORÍA DE LA CEMENTACIÓN	29
3.1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS SEGÚN SUS ELEMENTOS ALEANTES	32
3.1.3 EL PROCESO DE SELECCIÓN DEL ACERO	32
3.1.3.1 Determinación de la velocidad de enfriamiento de temple equivalente Jominy (Jec).	33
3.1.3.2 Determinación del Diámetro Crítico Ideal del núcleo del diente del engranaje, D_{IB} (templabilidad del núcleo).....	35
3.1.3.3 Determinación del Diámetro Crítico Ideal de la capa cementada, D_{IC}	36
3.1.3.4 Selección del gradiente de carbono.	37
3.1.3.5 Selección del Acero.	37
3.1.4 MÉTODO DE JATCZAK Y GIRARDI.....	37
3.2 INGENIERÍA DEL SOFTWARE	38

3.2.1	DELPHI Y SU HISTORIA	38
3.2.2	LAS BASES DE DATOS	39
4.	ANÁLISIS Y DESARROLLO DEL SOFTWARE	42
4.1	ESPECIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS	42
4.1.1	DESCRIPCIÓN GENERAL	42
4.1.2	REQUERIMIENTOS DE INTERFACES EXTERNAS	43
4.1.3	REQUERIMIENTOS	44
4.2	ARQUITECTURA DEL SOFTWARE.....	54
4.2.1	BASE DE DATOS.....	54
4.2.2	DISEÑO DE LA BASE DE DATOS.....	55
4.2.3	PLATAFORMA DE DESARROLLO	62
4.2.4	ESTRUCTURA INTERNA DEL SOFTWARE	63
4.2.4.1	Manejador.....	68
4.2.5	ESQUEMA DE CONECTIVIDAD.....	69
4.2.5.1	Conexión Base de datos - Manejador	69
4.2.5.2	Conexión Manejador - Kernel	69
4.2.5.3	Conexión Manejador - Ayuda.....	70
4.3	SISTEMA DE AYUDA DE SELECTOR.....	70
4.4	ESTÁNDARES DEL SOFTWARE.....	71
5.	PRUEBAS DEL SOFTWARE	74
5.1	PRUEBA NO.1	74
5.1.1	SELECCIÓN DEL ACERO ESTÁNDAR.....	74
5.1.2	DISEÑO DEL ACERO	77
5.2	PRUEBA NO.2	80
5.2.1	SELECCIÓN DE UN ACERO ESTÁNDAR.....	80
5.2.2	DISEÑO DEL ACERO PARA EL ENGRANAJE DE LA PRUEBA NO.2	82
5.3	PRUEBA NO.3	82
5.3.1	SELECCIÓN DE UN ACERO ESTÁNDAR.....	82
5.3.2	DISEÑO DEL ACERO PARA EL ENGRANAJE DE LA PRUEBA NO.3	84
6.	MANUAL DEL OPERADOR.....	85
6.1	RESEÑA	85
6.2	VENTANA PRINCIPAL.....	85

6.3	SELECCIÓN DE UN ACERO DE CEMENTACIÓN.	86
6.3.1	RESULTADOS DE LA SELECCIÓN.	87
6.3.2	INFORMACIÓN DE LOS ACEROS SELECCIONADOS.	89
6.4	POSTSELECCIÓN Ó SELECCIÓN EXHAUSTIVA DE ACEROS DE CEMENTACIÓN.	91
6.4.1	VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO DADO EL ENGRANAJE.	91
6.4.2	RESULTADOS DE LA POSTSELECCIÓN.	93
6.5	DISEÑO DE UN ACERO DE CEMENTACIÓN.	94
6.5.1	RESULTADOS DEL DISEÑO	95
6.6	SISTEMA DE MEDIDAS	96
6.7	LEYENDAS DE SELECTOR.	97
6.8	TOLERANCIAS EN SELECTOR.	98
6.9	ACEROS	99
6.9.1	INGRESAR UN ACERO.	100
6.9.2	EDITAR UN ACERO.	103
6.10	VENTANAS EN SELECTOR.	104
6.10.1	CASCADA.	104
6.10.2	MOSAICO HORIZONTAL.	104
6.10.3	MOSAICO VERTICAL.	104
6.11	AYUDA EN SELECTOR.	105
6.11.1	AYUDA DE SELECTOR	105
6.11.2	DESARROLLADORES Y COLABORADORES DE SELECTOR.	105
6.12	SALIR DE SELECTOR.	106
	CONCLUSIONES	107
	RECOMENDACIONES	109
	BIBLIOGRAFÍA	111
	ANEXOS	113

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Espesores de capa cementada recomendados, para diferentes pasos de engranajes.	30
Tabla 2. Dureza de capa cementada(SUPERFICIAL) recomendada para engranajes de diversas aplicaciones	32
Tabla 3. Relaciones IH/DH para varias distancias Jominy EN ACEROS DE CEMENTACIÓN PARA DIFERENTES D_i	36
Tabla 4. Valores requeridos para ingresar un acero dentro de la base de datos del software.....	45
Tabla 5. Composición Química de un acero.	46
Tabla 6. Especificaciones mecánicas y/o metalúrgicas para seleccionar un acero.	47
Tabla 7. Parámetros de entrada para una selección exhaustiva.	48
Tabla 8. Parámetros requeridos para encontrar la velocidad de enfriamiento del engranaje.	49
Tabla 9. Especificaciones mecánicas y/o metalúrgicas para diseñar un acero.....	52
Tabla 10. intervalos de ITERACIÓN para los elementos aleantes.	53
Tabla 11. Puntos de un polinomio dado.....	57
Tabla 12. Valores permitidos para los valores del parámetro T_{Temple}	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del Prototipado Evolutivo	22
Figura 2. Velocidad de enfriamiento en el punto más bajo del diente de un engranaje.....	33
Figura 3. Determinación de la velocidad de enfriamiento Jominy (Jec)	34
Figura 4. Diámetro crítico ideal de la capa cementada (D_{ic}) vs distancia Jominy a “X” porcentaje de Bainita.....	38
Figura 5. Curvas para determinar la velocidad de enfriamiento del radio de raíz. (a) Engranaje tipo red. (b) Engranaje tipo sólido.	49
Figura 6. Diagrama entidad relación de la base de datos de Selector	56
Figura 7. Herramienta XLnzlll.ocx.....	57
Figura 8. Estructura interna del software.....	63
Figura 9. Implementación de TPolinomio	64
Figura 10. Conexión Manejador-Kernel	70
Figura 11. Imagen de Selector.....	85
Figura 12. Ventana Principal.....	86
Figura 13. Submenú Selección.....	87
Figura 14. Ventana de selección de aceros de cementación.	87
Figura 15. Ventana de resultados digitales de la selección.	88
Figura 16. Ventana de resultados de la selección mostrados como archivo de texto.	88
Figura 17. Ventana de información detallada de un acero luego de su selección.....	89
Figura 18. Ventana de Comentarios del acero.....	90
Figura 19. Ventana de la Vista preliminar del historial de un acero listo para imprimir.....	90
Figura 20. Ventana de postselección ó selección exhaustiva de aceros.....	91
Figura 21. Ventana de velocidad de enfriamiento dado el engranaje.....	92
Figura 22. Ventana del Gráfico Paso del engranaje vs. Distancia Jominy.....	92

Figura 23. Ventana de resultados digitales de la postselección.....	93
Figura 24. Ventana de resultados de la postselección mostrados como archivo de texto.....	94
Figura 25. Ventana de diseño de un acero de cementación.....	95
Figura 26. Ventana de resultados digitales del diseño.....	96
Figura 27. Submenú de Configuración.....	97
Figura 28. Ventana de sistema de medidas.	97
Figura 29. Ventana de leyendas.	97
Figura 30. Ventana de tolerancias en Selector.	98
Figura 31. Submenú para ingresar y/o editar aceros.....	99
Figura 32. Ventana de ingresar un acero.	100
Figura 33. Ventana de puntos para las bandas de templabilidad.	101
Figura 34. Submenú Polinomio para bandas de templabilidad	101
Figura 35. Submenú Archivo para bandas de templabilidad.	102
Figura 36. Submenú Edición para bandas de templabilidad.....	102
Figura 37. Submenú alterno para bandas de templabilidad.....	102
Figura 38. Ventana de editar un acero.....	103
Figura 39. Submenú Ventanas.	104
Figura 40. Submenú Ayuda.	105
Figura 41. Imagen referente a la información personal de Selector.....	106
Figura 42. Ventana para salir de Selector.	106

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Factores Multiplicadores de Jatzak y Girardi. Factores multiplicadores para el Carbono (Rango de tamaño de grano ASTM 5/9).	113
Anexo B. Factores Multiplicadores de Jatzak y Girardi. Factores multiplicadores para el cálculo de la templabilidad de la capa cementada de los aceros de cementación y la templabilidad de los aceros altos en carbono endurecidos después de un tratamiento anterior de normalizado o temple.....	115
Anexo C. Factores Multiplicadores de Jatzak y Girardi. Factores multiplicadores para la combinación Nickel + Manganeso.	125
Anexo D. Factores Multiplicadores de Jatzak y Girardi. Factores multiplicadores para el Boro.	127
Anexo E. Dureza inicial en el núcleo.	128
Anexo F. Relaciones IH/DH para diferentes distancias Jominy en aceros de cementación de diferentes D _i	129
Anexo G. Factores Multiplicadores de Retana y Doane para el carbono dado el tamaño de grano.	130
Anexo H. Factores Multiplicadores de Retana y Doane para los elementos aleantes.....	131
Anexo I. Tabla de especificaciones del sistema.....	132
Anexo J. Descripción general del código	133

RESUMEN

TÍTULO

SOFTWARE DE APOYO EN LA SELECCIÓN Y DISEÑO DE ACEROS PARA ENGRANAJES CEMENTADOS*

AUTORES

AFRANIO CARDONA GÓMEZ

ALFREDO JOSÉ PERTUZ MONTENEGRO**

PALABRAS CLAVES

Aceros de cementación, selección y diseño, engranajes cementados.

DESCRIPCIÓN

Selector es una herramienta software que apoya la selección y el diseño de aceros para la fabricación de engranajes cementados de una manera confiable y eficiente. Para ello, cumple con una serie de requerimientos y algoritmos que luego de ser validados y evaluados, permiten obtener con certeza resultados que ya han sido comprobados manual y experimentalmente por profesionales en la materia. Para su desarrollo se utilizó la metodología de prototipado evolutivo.

Para la selección y el diseño de un acero de cementación, se necesita una gran cantidad de cálculos matemáticos alternado por la consulta de gráficas y tablas que son difíciles de encontrar reunidas en una misma bibliografía. El desarrollo de este software logró que información necesaria para las operaciones antes mencionadas, fuese organizada en una base de datos y en un programa de computadora. Además, el software Selector indirectamente ayuda a disminuir el índice de accidentalidad y evitar futuros sucesos que ocasionen pérdidas humanas y materiales producidas por la interacción del hombre con las máquinas que tengan engranajes con la posibilidad de sufrir fracturas y roturas debido a malas selecciones y/o diseños previamente hechos sobre los aceros.

Este software puede ser utilizado en las diferentes instituciones educativas que actualmente se ocupan de la enseñanza de los aceros de cementación, de los engranajes cementados y de los diferentes temas de la ingeniería relacionados en este campo. Además, no se deben olvidar las empresas que trabajan estos tipos de piezas y aceros y aquellas que requieran capacitación para sus empleados, tales como siderúrgicas y metalmecánicas. De la misma manera, un personal ya capacitado, así como profesionales e individuos con conocimientos básicos en metalúrgica y mecánica, podrán fácilmente operar con las diferentes funciones que ofrece la herramienta.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingeniería Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática, ingeniero de sistemas Hugo Andrade Sosa

SUMMARY

TITLE

SOFTWARE OF SUPPORT IN THE SELECTION AND DESIGN OF STEELS FOR CARBURIZED GEARS*

AUTHORS

AFRANIO CARDONA GÓMEZ
ALFREDO JOSÉ PERTUZ MONTENEGRO**

KEY WORDS

Carburized steels, selection and design, carburized gears

DESCRIPTION

Selector is a tool software that supports the selection and the design of steels for the production of carburized gears in a reliable and efficient way. For it, it fulfills a series of requirements and algorithms that after being validated and evaluated, they allow to obtain results with certainty that they have already been proven manual and experimentally for experts in the matter. For their development the methodology of evolutionary "Prototipado Evolutivo" was used.

For the selection and the design of a carburized steel, a great quantity of mathematical calculations is needed alternated by the consultation of graphic and charts that are difficult of being gathered in oneself bibliography. The development of this software achieved that necessary information for the operations before mentioned, was organized in a database and in a computer program. Also, the software Selector indirectly help to reduce the index of accidents and to prevent future events that cause human losses and materials taken place by the man's interaction with the machines that have gears with the possibility of suffering fractures and breakdown due to bad selections and/or designs previously done on the steels.

This software can be used in the different educational institutions that at the moment are in charge of the teaching of the carburized steels, of the carburized gears and of the different topics of the engineering related in this field. Also, It should not be forgotten the companies that work these types of parts and steels and those that require training for their employees, such as steel industry and metalmechanics. In the same way, a personnel already qualified, as well as professionals and individuals with basic knowledge in metallurgical and mechanicals engineering, easily will be able to operate with the different functions that offers the tool.

* Degree Project

** Engineering Phisycal-Mechanics Faculty, System and Informatics' Engineering, Engineer Hugo Andrade Sosa

PREÁMBULO

Este libro fue escrito para facilitar el análisis y el entendimiento de la herramienta software para el apoyo de la selección y el diseño de aceros para engranajes cementados por parte de ingenieros metalúrgicos interesados en el área de selección de aceros, para ingenieros mecánicos conocedores del diseño de aceros y para ingenieros de materiales, e inclusive, para usuarios que tengan conocimientos básicos en las áreas de selección y diseño de aceros. Y asimismo, para los ingenieros de sistemas que asuman la continuidad de este trabajo.

Este documento se propone cumplir la necesidad de documentar el desarrollo software para aquellas personas que requieran de un estudio posterior en este tema, con el propósito de enriquecer la herramienta anexándole nuevas funcionalidades e información que le permita adaptarse a las continuas investigaciones que se hagan del tema. Además, para mostrar un ejercicio práctico de producción de software a través de la metodología de desarrollo de prototipado evolutivo (ver [Sección 2.1](#)), como también para orientar el uso del software.

El libro se encuentra dividido en seis capítulos que resumen el planteamiento del problema de la selección y diseño de aceros para engranajes cementados, además de esbozar una alternativa de solución adoptada desde el punto de vista de ingeniería del software, de su análisis, desarrollo e implementación, y de la manera como esta solución ayuda y/o corrige el problema inicial.

Con el propósito de ilustrar las secuencias requeridas como guías para iniciar un desarrollo de software organizado, en el segundo capítulo se incluyó la metodología empleada, el plan de trabajo de grado y el cronograma de actividades que se siguió para la realización de la herramienta. Esta sección se considera de gran importancia porque explica las razones que hacen apropiado el desarrollo de la solución propuesta por los autores.

Además, este libro contiene gran parte de la información del campo de la mecánica y de la metalurgia que se requirió para el desarrollo de la herramienta software. Esta información se encuentra sintetizada en el marco teórico (ver [Capítulo 3](#)), en tablas y gráficas (ver [Lista de Tablas](#) y [Lista de Figuras](#)), obtenida gracias a la reunión detallada de la bibliografía consultada y a la colaboración del personal experto en el tema.

Pensando en las necesidades y dudas generadas por los usuarios, se ha agregado como un capítulo más de este libro, el manual para el usuario final de la herramienta software que le permitirá navegar a través de ella, buscando efectividad en tiempo de uso y así, disminuyendo las pérdidas del mismo, producto de un desconocimiento del software por parte de los operadores en la industria y de los estudiantes en sus prácticas.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Los engranajes de calidad que necesitan desempeñarse muy bien en maquinarias, equipos, sistemas de transmisión y motores, están sometidos a altos esfuerzos de contacto, severo desgaste por rozamiento, picado y alta fatiga bajo flexión, por lo tanto, deben fabricarse en aceros de cementación para cumplir completamente con estos requisitos y evitar así fallas prematuras.

Los engranajes cementados representan una pieza maestra en el diseño metalúrgico e ingenieril. A pesar de las complejidades comprendidas, a menudo se fabrican de materiales inadecuados desde un punto de vista de costo.

Un acero para cementación es un acero con bajo carbono (0.10-0.25%) el cual después del proceso de cementación, la superficie del acero y una determinada profundidad quedan enriquecidas en carbono y después del temple esta zona queda con alta dureza dejando el núcleo de la pieza blando y con el mismo contenido de carbono del acero original.

La fabricación de un engranaje cementado es un proceso de ingeniería complejo, el cual comienza con su etapa de diseño, siguiendo con el proceso de selección del material — en nuestro caso, acero de cementación — hasta finalizar con el proceso de fabricación. Además, la forma geométrica de un engranaje es más compleja que la de otras piezas, tales como ejes, pistones, bujes, pernos y otros elementos de máquinas.

Los engranajes fabricados de acero aleado cementado, tienen una gran capacidad de soportar cargas de contacto. Para obtener el costo mínimo y el máximo desempeño de dichos engranajes, el ingeniero debe entender completamente los factores involucrados en los procedimientos de selección del acero y tratamiento térmico.

En la selección del acero estándar se necesitan determinar muchos parámetros — las velocidades de enfriamiento, la dureza final después de revenido, la dureza de temple, el contenido de carbono, los factores multiplicadores, el espesor de capa cementada y los diámetros críticos ideales, entre otros — usando gráficas y tablas para luego realizar numerosos cálculos decenas de veces con el fin de obtener la mejor selección del material.

Se realizan continuamente más de treinta consultas y análisis de tablas y gráficas relacionadas entre sí, almacenando de esta manera la información requerida que luego de ser estudiada y analizada, consigue obtener un resultado.

El manejo de la información — adquirida en la gran diversidad de consultas y cálculos (*antes mencionados*) — es iterativo, pues se forman tediosos ciclos de consultas — entre muchas tablas y gráficas — y cálculos que requieren de análisis y aplicación.

Para diseñar un acero especial, además de los parámetros nombrados anteriormente para un acero estándar, hay que realizar diversas operaciones con miles de repeticiones — conociendo el Diámetro Crítico Ideal Base y el Factor Multiplicador del Carbono — con el propósito de obtener el óptimo, esto es, a través del cálculo de los factores multiplicadores más adecuados de los elementos aleantes (de acuerdo al contenido respectivo de cada uno de ellos).

Opcionalmente, es conveniente tener un registro histórico de las selecciones previas, de tal manera que si la selección de un determinado acero produce más de un resultado, la selección final, se pueda hacer por medio de este registro histórico.

Para fabricar engranajes de alta calidad al mínimo costo total posible, se deben reconocer las exigencias sobre el diente de un engranaje. El diente de un engranaje debe considerarse como un miembro estructural de un dispositivo mecánico sometido a las siguientes fuerzas e interacciones:

- Las superficies del perfil del diente están sometidas a altas cargas de contacto en rodadura y deslizamiento, cambiando bruscamente la dirección de deslizamiento en la línea de paso.
- Las cargas que actúan sobre el diente de un engranaje, lo hacen comportarse como una viga en voladizo, donde el esfuerzo de contacto produce un momento flector concentrado en la raíz del diente (radio de acuerdo). Como la mayor parte de los engranajes se espera que funcionen por muchos millones de revoluciones, existirá en este radio de raíz del diente una situación de fatiga a larga vida bajo flexión.
- Los altos esfuerzos de contacto y la tendencia al rayado, además de la presencia de materiales abrasivos, requieren que las superficies sean muy duras para preservar su contorno y sus dimensiones.
- La operación de cualquier grupo de engranajes exige soportar cargas severas, al menos ocasionalmente, sin que fallen de una manera frágil. **Esta es una característica sobresaliente de los engranajes cementados.**

- La velocidad relativa en la interfase de dos engranajes unidos puede ser muy alta, generando calor y por lo tanto, destruyendo la película lubricante protectora conduciendo así a la falla conocida como rayado.

Algunos problemas que se manifiestan durante la vida útil de un engranaje, son debidos al inadecuado estudio y análisis de los parámetros antes mencionados. Además, en ciertas ocasiones al momento de seleccionar el acero para elaborar la pieza, se escoge el incorrecto, a causa de errores en el manejo de la información necesaria dentro del procedimiento de selección.

1.1 Objetivos del Proyecto

1.1.1 Objetivo General

Elaborar un software de apoyo en la selección y diseño de aceros para engranajes cementados, utilizando el método de la templabilidad y que cumpla con los requisitos mecánicos de diseño y requerimientos metalúrgicos.

1.1.2 Objetivos Específicos

1. Desarrollar un software de apoyo en la selección y diseño de aceros para engranajes cementados, que permita al usuario realizar las siguientes operaciones:

- Apoyar el diseño del acero, en caso que los aceros estandarizados no cumplan con los requisitos mecánicos y/o requisitos metalúrgicos.
- Listar los aceros que cumplan con los requerimientos especificados¹, de tal manera que el usuario escoja el que más le convenga².
- Permitir al usuario hacer comentarios del por qué selecciona un determinado acero, dada una posible lista de aceros adecuados.
- Presentar informes históricos del uso o conveniencia de determinado acero seleccionado, dada una previa realimentación por parte de los mismos usuarios que hayan seleccionado ese acero.
- Permitir el mantenimiento de la base de datos.
- Consultar la información de las diversas gráficas tabuladas de apoyo en la selección y diseño de aceros para engranajes cementados.
- Consultar la ayuda para la operación del software e información conceptual sobre el proceso de selección y diseño de aceros para engranajes cementados.

¹ Algunas veces, es posible encontrar más de un acero que se adecúe a los requisitos mecánicos y/o metalúrgicos exigidos.

² Esta conveniencia será por facilidad de transporte u otro factor externo al precio del acero y/o de sus elementos aleantes.

2. Instalar el software en la escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales y alimentar la base de datos con la información suficiente para desarrollar una prueba que certifique la confiabilidad y el uso del software en ambientes educativos.

1.2 Justificación

La importancia que tienen los aceros para engranajes cementados es la capacidad para darles diferentes propiedades mecánicas — alta dureza en la superficie para la resistencia al desgaste y alta tenacidad en el núcleo del diente del engranaje — a la pieza completa sin tener que dividirla en el proceso de fabricación.

La importancia de la selección está en escoger el acero más adecuado que cumpla con los requisitos mecánicos para evitar las fallas en el engranaje.

El método de selección es el método de la templabilidad que consiste en la distribución y profundidad de la dureza que se obtiene en el temple del acero. La templabilidad es una propiedad que sólo poseen los aceros (ningún otro material).

Realizar los cálculos manuales — diámetro crítico ideal, profundidad de capa cementada, distancia a la primera bainita, velocidad de enfriamiento, el contenido mínimo de carbono, la dureza de temple — y el uso frecuente de muchas tablas y gráficas que están relacionadas entre sí, trae como resultado el alto consumo de tiempo debido a las continuas consultas. Asimismo, este método puede generar errores manuales al momento de realizar los extensos cálculos y/o consultas. Luego, es preciso automatizar este método de selección y para ello son necesarios los conocimientos en ingeniería de sistemas e ingeniería del software.

1.2.1 Impacto

La falla de un engranaje a causa de la mala selección del acero, por no cumplir con los requerimientos metalúrgicos y/o mecánicos, es un factor principal de la justificación de la elaboración de este software.

La falla de un engranaje que puede ser producida por la mala selección del material, puede originar graves accidentes generando pérdidas económicas y en algunos casos pérdidas de vidas humanas.

Habrà una considerable disminución del tiempo en la selección del acero por parte del software a realizar, además de la optimización en esta selección al escoger un acero especial con el mínimo de contenidos aleantes, lo que indica una pieza más económica.

En el diseño de un acero especial (no estandarizado), es donde más tiempo se puede ahorrar para la selección utilizando el software.

Las empresas dedicadas a la fabricación de engranajes, van a ser beneficiadas con este software porque es una herramienta no comercial, es decir, no se consigue fácilmente en el mercado y además, por el ahorro en dinero y tiempo en la selección de los aceros, debido a que se conocen pocas herramientas software para la selección de estos aceros para los engranajes de cementación.

Existen algunos casos donde se han presentado problemas a causa de una mala selección de los aceros. Por ejemplo en Estados Unidos, un engranaje de paso cuatro en un tractor de oruga, se había fabricado en acero SAE 8622 y se presentaron fallas por rotura del diente en 100 a 300 horas de operación del tractor. Se cambió a un acero SAE 4815 y se resolvió el problema. Otro caso sucedió en la empresa INGESER DE COLOMBIA en Bucaramanga, cuando un piñón de un equipo utilizado en la perforación de pozos de petróleo falló por rotura de varios dientes debido al picado de los mismos, causado por la baja capacidad de los dientes para soportar altos esfuerzos de contacto; se recomendó cambiar el material. Otra situación sucedió cuando un piñón de un pescante de una grúa fabricado en acero SAE 8625 estuvo fallando por rotura del diente en 50 a 200 horas de operación. Este acero ya había reemplazado al acero SAE 4340 que tenía una historia de falla por picado. Cuando el material se cambió a SAE 4320 cementado, se resolvió el problema.

Debido a que no se conoce en el país la existencia de un software comercial para seleccionar aceros para engranajes cementados, se considera que será un aporte técnico para las empresas nacionales e internacionales. Además, también servirá para que los estudiantes y profesores de ingeniería metalúrgica y mecánica, puedan familiarizarse con la selección de aceros para engranajes cementados debido a que es un tema de gran importancia en su carrera y en su vida profesional.

1.2.2 Viabilidad

Basados en la bibliografía descrita en este plan, se conocen los requisitos mecánicos y metalúrgicos de los engranajes, por lo tanto, se pueden seleccionar los aceros para su fabricación; estos requisitos son: el esfuerzo de contacto, el paso del engranaje, la profundidad de la capa cementada, la dureza en el núcleo y en la superficie del diente del engranaje, entre otros.

Además, se cuenta con el lenguaje de programación a utilizar como plataforma para el software, así como también la bibliografía e información del mismo, incluyendo el soporte en computadoras para su puesta en marcha, debido a que el sistema operativo que se va a utilizar y los requisitos de hardware son fáciles de conseguir, pues son poco exigentes.

2. PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN

Dado que uno de los principales problemas que tiene la selección de un acero es la frecuencia en el cálculo de datos y en la consulta de extensas tablas y gráficas, se debe tener en cuenta que una de las más importantes causas de error son producto de un inadecuado procedimiento de trabajo u omisión de una de las etapas del mismo (ver [Sección 4.1](#)). Por otro lado, el diseño de un acero está apoyado en gran medida (sin tener en cuenta la consulta de tablas y gráficos) en iteraciones que finalmente llegan a la solución con base en prueba y error.

De esta manera, los continuos cálculos y consultas que se deben realizar de una forma organizada, son apropiadas para la labor de una máquina computacional, que sin pensar en el agotamiento, sigue un algoritmo específico tantas veces como sea posible sin posibilidad a equivocarse, siempre y cuando, esta serie de pasos sea bien elaborada por el programador. Basado en lo anterior, se concluyó que desarrollar un software en el cual se digitalizara la información necesaria y se programaran los algoritmos requeridos para la selección y diseño de un acero para engranajes cementados, sería la solución para los problemas planteados al inicio de este capítulo.

A continuación, se encuentra la metodología utilizada en el desarrollo de este software. Además, se ilustrará el plan de trabajo a seguir junto con su respectivo cronograma de actividades.

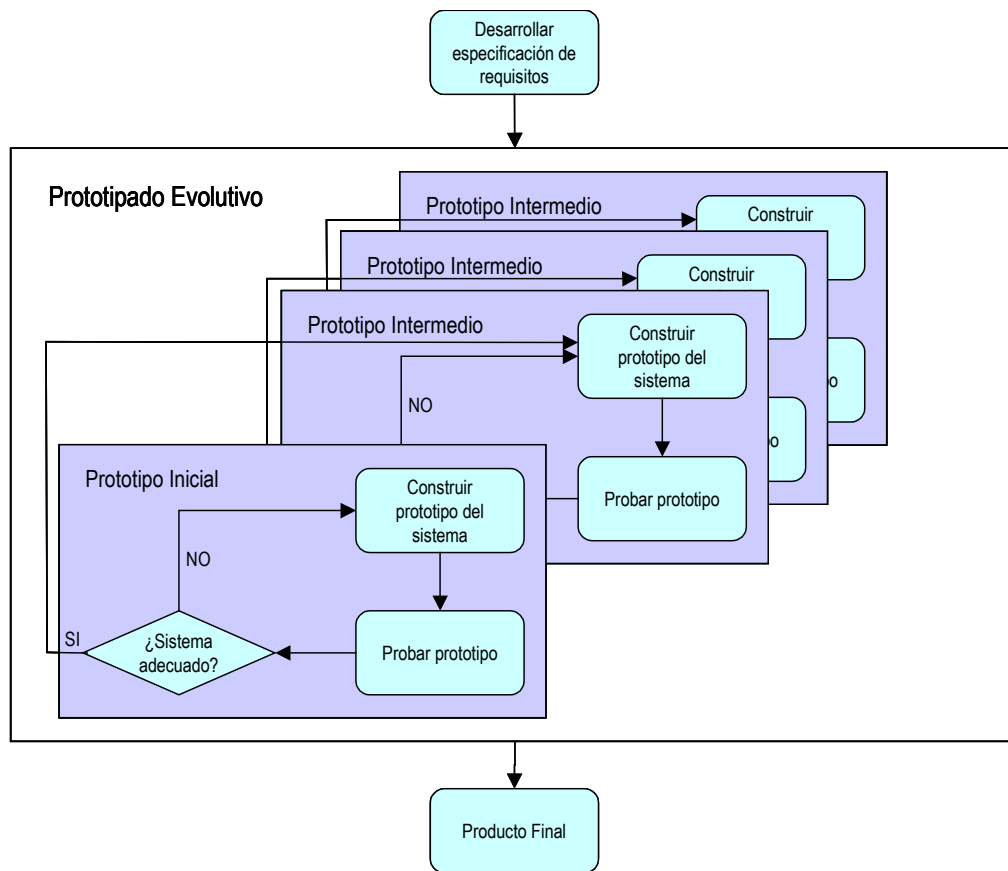
2.1 Metodología

Para el desarrollo del software se usará el ciclo de vida de prototipado evolutivo.

El prototipado evolutivo es un modelo de ciclo de vida donde el sistema se desarrolla en incrementos, de forma que puede modificarse de manera inmediata en respuesta a la realimentación del cliente y del usuario final. La mayoría de los esfuerzos de prototipado evolutivo comienzan con el prototipado de la interfaz de usuario y luego desarrollan el sistema completo a partir de ésta, pero el prototipado puede comenzar con cualquier área de alto riesgo. Escoger de forma correcta si se desarrolla el producto a través de un prototipado evolutivo, es una de las claves para tener éxito; otras claves para tener éxito incluyen gestionar las propias actividades de prototipado, contar con desarrolladores experimentados, gestionar las expectativas de planificación y presupuesto.

El prototipado evolutivo es un enfoque de desarrollo que realiza primero los módulos que conformarán el sistema final. A diferencia de otros tipos de prototipado, el prototipado evolutivo no desecha el código de los prototipos, lo transforma en el código del sistema final. Para este proyecto, esto es lo más apropiado para su desarrollo y es la principal razón por la cual se escoge este método, debido a que es necesario realizar primero los módulos para luego probar en cada uno de los prototipos, si el algoritmo que se usa en la selección del acero es realmente el más conveniente. Además, el tiempo de desarrollo del programa se economiza a causa que los prototipos desarrollados en cada una de las fases, son componentes del prototipo final.

Figura 1. Esquema del Prototipado Evolutivo.



El prototipado evolutivo apoya el desarrollo rápido controlando de una manera ágil los conflictos o problemas que se pudieran presentar. El desarrollo empieza dentro de las áreas de más riesgo del sistema. Si puede superar los obstáculos, puede desarrollar el resto del sistema a partir del prototipo. Si no puede superarlos, puede cancelar el proyecto sin tener que gastar más dinero que el necesario en descubrir que los obstáculos eran insuperables. Por consiguiente, es un punto importante para la elaboración de este proyecto, porque al construir el área de selección del acero y confirmar su excelente ejecución, ya se pueden implementar las otras áreas del sistema sin correr mucho riesgo, como lo son la parte de diseño del acero.

El modelo de prototipado evolutivo presenta las siguientes características:

- Sacrificio de una reducción en el control del proyecto para aumentar la realimentación del usuario final y del cliente, además de mejorar la visibilidad del progreso.
- Se puede combinar con el prototipado de la interfaz de usuario y con los prototipos desarrollados al inicio del proceso.
- Puede servir de base a la entrega evolutiva.

Luego de construirse la primera parte del sistema, se continúa desarrollando el prototipo basándose en la realimentación que se recibe. Si el proyecto de prototipado está orientado al cliente, se continúa solicitando realimentación del mismo y redefiniendo la interfaz del usuario hasta que desarrolladores y clientes estén de acuerdo que el prototipo es suficientemente bueno. Si el proyecto de prototipado tiene una orientación técnica, es preferible desarrollar primero cualquier parte del sistema, como la base de datos, en este caso, la realimentación buscada partirá comprobando el tamaño o el rendimiento de la base de datos, dado un número real de usuarios finales. Pero el patrón general de prototipado fundamental es el mismo: se continúa buscando realimentación y redefiniendo el prototipo, hasta que desarrolladores y clientes estén de acuerdo que el prototipo es adecuado.

2.2 Plan de Trabajo

Siguiendo con el esquema del proceso de prototipado evolutivo descrito en la metodología, el proyecto se dividirá en cinco fases, en algunas de ellas se generará un modelo o prototipo. Los prototipos como se mencionó en la metodología, deben cumplir con determinados objetivos. En este plan se definen esos objetivos, el porqué de la elaboración de ese modelo y además la información que se obtuvo gracias a la elaboración de ese modelo.

2.2.1 Primera fase (*Fase de inicio*).

En esta fase, se desarrolla un estudio detallado del problema con el fin de recopilar y analizar los requisitos metalúrgicos que se deben resolver en el proceso de selección y diseño del acero.

Para la obtención de dichos requisitos³, se debe primero hacer una compilación de los datos, ver cuáles de ellos suministran la información más acertada y actualizada para la solución del problema.

Esta fase se puede dividir en tres etapas:

³ Aunque se ha utilizado la palabra 'requisitos', son los que definen el problema que presentan los diseñadores de engranajes cementados al momento de seleccionar el acero para sus engranajes; además, estos requisitos permiten dar una primera visión de qué es lo que se quiere solucionar, para poder saber qué información es la que se necesita.

- 1. Obtención de la información bibliográfica.** En esta etapa se busca toda la información correspondiente a la selección de aceros para engranajes cementados, así como la necesaria para el diseño de los aceros⁴. Esta etapa responde a los siguientes interrogantes: ¿Dónde se encuentra la información que necesito? ¿Dónde puedo actualizar la bibliografía que obtuve? ¿En qué formato se encuentra la información que se necesita⁵?
- 2. Estudio de la información bibliográfica.** En esta etapa se analiza y se ordena la información obtenida en la etapa anterior; además, se estudia si los interrogantes — como la composición química, el tamaño de grano, la velocidad de enfriamiento, el paso del engranaje, entre otros — que se tienen son solucionados con la información disponible, si se generaron nuevos interrogantes con la información que se obtuvo y, además, si definitivamente se necesita asesoría profesional para encontrar la solución a los interrogantes que se tienen. Es de observar que se produce un ciclo entre esta etapa y la anterior; se considerarán terminadas estas dos etapas hasta cuando se haya encontrado solución a todos los interrogantes.
- 3. Elección de la plataforma de trabajo.** En esta etapa se hace referencia al sistema operativo donde se ejecutará el software que se desarrollará. Además, se analizarán las herramientas software disponibles para su aplicación y el sistema de bases de datos que más se adapte a las necesidades.

2.2.2 Segunda fase (Fase de diseño).

Como su nombre lo indica esta fase es la de diseño y definición de la arquitectura software que se utilizará durante el resto del proyecto. En esta fase se deben definir los requisitos que cumplirá el software que se desarrollará⁶ y se diseñarán las tablas que contendrá la base de datos. Se seleccionará el paradigma con el cual se debe programar el software entre las opciones procedimental/objetos y orientado a objetos, así como también se definirán los módulos⁷ del software.

Esta fase se dividió en las siguientes etapas:

- 1. Recolección de los requisitos.** En esta etapa se debe tener sumo cuidado, debido a que es la espina dorsal de todo sistema software. En esta se originan y definen todos los requisitos funcionales y no

⁴ Así como se necesita información para la selección, es indispensable información adicional para el diseño de un acero, lo cual tendrá cabida cuando en el proceso de selección, no exista un acero con los requerimientos especificados por el usuario, es decir, un acero estandarizado.

⁵ El formato se refiere a si la información es texto plano, tablas, si se encuentra en libros, o si se encuentra en medios magnéticos.

⁶ De aquí en adelante la palabra "software" se utilizará para hacer referencia a la herramienta que se implementará en el desarrollo del proyecto. En otro caso se especificará el software del cual se hace mención.

⁷ Llámese módulo a las partes fundamentales del programa.

funcionales del software, es decir, se definirán los servicios que el software debe prestar al usuario. Las preguntas que deben quedar claras al final de esta etapa son: ¿Qué hará? y ¿Qué no hará? el software que se desarrollará.

- 2. Diseño de la base de datos.** En esta etapa debe quedar claro el sistema de base de datos que será implementado en el software, de acuerdo al análisis realizado en la etapa tres (3) de la fase uno (1) o etapa 3-1⁸. Básicamente, se crearán las tablas; es decir, el nombre, los campos que contendrán, las llaves primaria y/o secundaria en caso que se requieran, y la relación de estas tablas con otras o la especificación en el caso de que la tabla sea “plana”⁹. Al final de esta etapa se debe obtener un documento del diagrama entidad-relación y de los campos que posee cada tabla.

- 3. Selección de la arquitectura software.** Aquí se define la arquitectura que se usará para el desarrollo del software, entendiendo como arquitectura el paradigma de programación. Se especifica en este punto que la elección se hará entre procedimental/objetos y Objetos, el primero ofrece la posibilidad de usar funciones libres en un entorno orientado a objetos, y el segundo permite únicamente el uso de objetos a lo largo del código. Esta elección se hará conociendo de antemano la plataforma de programación de acuerdo al análisis realizado en la etapa 3-1. También se definirán los módulos que manejará el software, así como las funcionalidades que tendrán cada uno de ellos, y finalmente se elaborará un documento del mismo.

Como resultado de esta segunda fase se produce el primer modelo, que es un primer documento que contiene los requisitos que debe cumplir el software y las especificaciones de los servicios que se prestarán. Además, se tiene que presentar en este documento el resultado de la etapa 2-2 y el documento generado por la etapa 3-2. Este documento servirá de estudio a los autores del proyecto y posteriormente podrá ser puesto a prueba a la comunidad técnica para su revisión formal, aunque no exige obligatoriedad en ello.

2.2.3 Tercera fase (Fase de ejecución I)

En esta fase del proyecto se recogerá la información que pueda producirse del modelo generado en la anterior fase, tal información se usará como realimentación para la solución de los errores que se hayan generado y para la detección de algún detalle que en un principio pudiera hacer falta. También se producirá un prototipo con dos funcionalidades; la primera, será un programa en el lenguaje de programación que se haya especificado en la etapa 3-1 con la arquitectura señalada en la etapa 3-2 que básicamente deberá ser capaz de insertar, modificar y

⁸ Se usará este formato para hacer mención de una etapa concreta durante el resto de este documento.

⁹ Este termino “plana” se refiere a que la tabla no se encuentra relacionada. Una tabla plana es equivalente a un archivo de registro.

remover algún dato dentro de cualquier tabla que pertenezca a la base de datos; y la segunda funcionalidad, consiste en poder interactuar con la base de datos y ser capaz de seleccionar un acero dadas unas características mecánicas especificadas por el diseñador del engranaje u otro usuario capacitado en la materia.

Para control de esta fase, se hizo una división de la misma en las siguientes etapas:

- 1. Etapa de realimentación.** Durante esta etapa se estudiará el documento generado en la segunda fase. Se recogerán las sugerencias que hayan hecho las personas directamente interesadas en el proyecto¹⁰, comunidad técnica y los mismos ejecutores. Se pretende depurar y enriquecer cada uno de los ítems que contiene el documento. Al final de esta etapa se tendrá una segunda versión del documento de la segunda fase, depurado y aprobado por las partes interesadas en el proyecto.
- 2. Etapa de conectividad y manejo de base de datos.** Esta etapa, que en su mayoría corresponderá a un módulo del software, se encargará de la inserción de la información en la base de datos, además de la modificación y la eliminación de la información de cualquiera de las tablas que se encuentren en la base de datos; esto es, con el fin de corroborar la funcionalidad de estas tres operaciones. Esta etapa, servirá entre otras, para probar la redundancia de información que se encuentra dentro de las tablas; en caso de que se detecte algún error, se corregirá de inmediato.
- 3. Etapa de desarrollo del software de selección.** Durante esta tercera etapa se implementará lo referente a la selección del acero adecuado, dados los requisitos mecánicos y los requerimientos metalúrgicos del engranaje. Esta etapa se implementará en uno de los módulos del software, que tiene como objetivo fundamental producir un pseudo-kernel¹¹ que debe cumplir con los requisitos estipulados para la tarea de selección de los aceros.

Como resultado de esta fase, se presentarán dos productos: a) Un segundo informe y b) un prototipo del software que realizará las labores de: 1.) La de inserción, modificación y eliminación de la información en las tablas de la base de datos y 2.) La de permitir únicamente la selección de un acero dentro de los aceros estándar que se encuentran en alguna de las tablas.

¹⁰ Sin duda, hace referencia a los profesores de ingeniería metalúrgica e ingeniería mecánica de la UIS, el codirector de proyecto, y el director de proyecto.

¹¹ Llámese pseudo-kernel a una porción del núcleo del programa, es de fácil uso y transporte, es decir, como una unidad o una librería de enlace dinámico.

2.2.4 Cuarta fase (Fase de ejecución II)

Siguiendo el prototipo de la fase anterior y como complemento de él, en esta fase se hará la realimentación del primer prototipo del software. Es decir, se realizarán correcciones en caso de presentar algunos errores y se perfeccionará si es necesario. Además, en esta fase, se complementa el kernel con la parte de diseño del acero que se requiere para el engranaje, esto es, para el caso en que al momento de la selección del acero no se encuentre uno estandarizado. Por último, se implementará el servicio de reemplazo del acero.

Para el control en el desarrollo de esta fase, se hizo una división con las siguientes etapas:

- 1. Etapa de realimentación.** Al igual que en la etapa 1-3, se estudiará el prototipo que se generó en la tercera fase, se recogerán las sugerencias que hayan hecho las personas directamente interesadas en el proyecto, comunidad técnica y los mismos ejecutores. Esta etapa tiene como objetivo principal, corregir el pseudo-kernel encargado de la selección del acero; y se permitirá una revisión del algoritmo que hace esta labor, lográndolo optimizar.
- 2. Etapa de desarrollo del código encargado del diseño.** En ella se complementará la etapa 3-3. En su transcurrir, se añadirá al kernel la posibilidad de diseñar un acero, dadas unas características mecánicas y metalúrgicas requeridas para el engranaje. Obteniendo así como producto final de esta etapa, una complementación del kernel y en gran medida, el cumplimiento del resto de requisitos propuestos para la tarea de selección y diseño de aceros para engranajes cementados.
- 3. Etapa de desarrollo del código encargado del reemplazo de un acero.** Esta etapa como su nombre lo indica, se encarga de escribir el código requerido para el reemplazo de un acero antiguo por uno más actualizado, el cual se ajuste en mejor medida a las características requeridas para el engranaje. Este servicio puede ser incluido también en el kernel del software.

Al finalizar esta fase, se tendrá un tercer documento como resultado de esta fase y segundo prototipo del software, que unirá el código de las etapas 2-3, 3-3, 2-4, 3-4, generándose como resultado un software que implementará todas los servicios del producto. Este segundo prototipo diferirá del final en el complemento, producto de una interfaz gráfica apropiada¹².

2.2.5 Quinta fase (Fase final y de entrega).

Esta fase, es la encargada de pulir, afinar y ajustar el software al conjunto faltante de requisitos. Al final de esta fase se debe entregar el producto final, se entiende como producto final aquel que cumpla con todos los

¹² En este momento, cada prototipo ha traído consigo una interfaz, la cual se consideran desechables.

requisitos estipulados en el documento producido en la etapa 1-2. Cabe decir, que se puede corregir la versión final debido a un detalle de última hora sugerido por cualquiera de las partes interesadas. También, se prueba el software en esta fase y se hace la última realimentación, producto de esta labor.

Esta fase se dividió en las siguientes etapas:

- 1. Etapa de realimentación.** En esta etapa como en todas las anteriores de este tipo, se estudia el prototipo que se generó en la fase anterior. Se recogerán las sugerencias que hayan hecho las personas directamente interesadas en el proyecto, comunidad técnica¹³ y los ejecutores. Esta etapa tiene como objetivo principal, corregir el kernel final encargado de la selección, diseño y reemplazo de aceros. Además, se permitirá una revisión de los algoritmos que hacen esta labor, permitiendo de esta manera optimizarlos.
- 2. Etapa de diseño gráfico.** En esta etapa se tratará de implementar los requisitos del software que restan del proyecto. También, se diseñará e implementará el ambiente gráfico (IDE) que constará el software, buscando la facilidad de uso para el usuario.
- 3. Etapa de prueba.** En esta etapa, se hace una búsqueda exhaustiva de aquellos errores que pudieron haberse escapado en las anteriores revisiones de los prototipos. Básicamente, la prueba será hecha con asesoría de personal calificado en el tema de selección y diseño de aceros para engranajes cementados. En esta etapa, se arroja como resultado una lista de errores que deben ser corregidos de inmediato, para luego repetir esta etapa nuevamente hasta obtener la corrección de ellos.

La quinta fase tiene como resultado el prototipo que cumple con los objetivos planteados y con los requisitos del software y, además, se presentará el documento final del proyecto. Luego en este momento, se considera el prototipo y el informe como producto final y terminación del proyecto.

¹³ Las revisiones por la comunidad técnica no serán de carácter obligatorio.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Ingeniería Metalúrgica

A Continuación se ilustra una síntesis informativa de los temas metalúrgicos tratados en este trabajo de grado. En él se describen definiciones, procedimientos, tablas y ecuaciones que son utilizadas a lo largo del desarrollo de este mismo libro. Para obtener una información más amplia de estos argumentos, dirijase a la bibliografía citada.

3.1.1 *Teoría de la Cementación*

Es el más antiguo de todos los procedimientos de endurecimiento superficial, consiste en aumentar el contenido en carbono en la superficie de las piezas de acero, absorbiendo este elemento de un medio carburante, y manteniendo todo el conjunto durante un cierto tiempo a elevada temperatura y posteriormente templar para endurecer la capa cementada.

La mayor parte de las piezas que componen las máquinas y motores, se fabrican de forma que sus propiedades mecánicas sean bastante uniformes en toda la masa. Sin embargo, en ciertos mecanismos es necesario que algunas piezas tengan superficies muy duras, resistentes al desgaste y a la penetración, y el núcleo central muy tenaz, para poder soportar los choques a que están sometidas. Los procedimientos más usados en la actualidad para conseguir estas características, gran dureza y mucha tenacidad, al parecer opuestas entre sí, son los siguientes: la cementación, el temple local, el depósito por soldadura de delgadas capas superficiales de aceros de elevado contenido en carbono, el cromado duro, entre otros.

Para realizar la cementación, se pueden emplear diversos métodos: cementantes sólidos, líquidos y gaseosos, oscilando la duración de la cementación de 6 a 10 horas cuando se utilizan cementantes sólidos, de 1 a 6 horas cuando se trata de sales o cementantes líquidos y de 1 hora a varios días utilizando cementantes gaseosos. Por lo general, en la cementación se emplean aceros aleados y al carbono, de bajo contenido en carbono, de 0.10 a 0,25% de C y excepcionalmente algunas veces se cementan aceros hasta de 0.40% de C, operándose a temperaturas próximas a los 900° C.

El proceso de cementación consta de dos etapas distintas: la absorción del carbono por el acero y el mejoramiento de características por medio de tratamientos térmicos. Por otro lado, la cantidad y distribución del carbono absorbido por las piezas depende de la composición del acero sometido a la cementación, de la naturaleza de la sustancia cementante, de la temperatura y de la duración de la cementación.

Luego de cementada una pieza, se puede considerar compuesta por dos zonas principales de composición química diferente; el alma o núcleo central y la periferia o capa cementada, existiendo entre ellas otra tercera

zona de transición de menor importancia. La periferia, a pesar de tener un elevado contenido en carbono, es relativamente blanda y el núcleo central, aún siendo de muy bajo contenido en carbono, puede ser frágil por haber permanecido el acero durante mucho tiempo a alta temperatura.

Después de ser absorbido el carbono por la pieza, se requiere de un tratamiento térmico que sea favorable para las dos zonas, de manera que adquieran las características mecánicas exigidas. El tratamiento térmico que se hace es el temple. Posteriormente, se puede realizar un revenido bajo a 150° C, para liberar esfuerzos internos, pero prácticamente no se baja la dureza inicial obtenida en el temple. Cuando se necesiten condiciones de fatiga a larga vida, no es conveniente realizar el revenido porque se liberan los esfuerzos residuales a compresión en la superficie de la pieza; en este caso, es más conveniente realizar un autorevenido que consiste en: después del temple no dejar enfriar la pieza completamente hasta temperatura ambiente, sino sacarla del baño de temple a una temperatura aproximada de 150° C.

Una vez terminado el proceso de cementación, se da el nombre de *capa cementada* a la zona que queda con un contenido de carbono superior a la del acero y recibe el nombre de *capa dura* la zona superficial que después del último tratamiento queda con una dureza superior a 60 Rockwell C, y que suele corresponder a la zona cuyo porcentaje de carbono es superior a 0,50 % de C.

Los espesores de capa cementada recomendados para los engranajes de acuerdo a su paso, son los mostrados en la [Tabla 1](#).

TABLA 1. ESPESORES DE CAPA CEMENTADA RECOMENDADOS, PARA DIFERENTES PASOS DE ENGRANAJES.

<i>PASO DEL ENGRANAJE</i>	<i>ESPECIFICACIONES DE LA CAPA CEMENTADA</i>
20	0.25-0.45mm (0.010-0.018pulg.)
16	0.30-0.58mm (0.012-0.023pulg.)
10	0.50-0.90mm (0.020-0.035pulg.)
8	0.63-1.00mm (0.025-0.040pulg.)
6	0.76-1.20mm (0.030-0.050pulg.)
4	1.00-1.50mm (0.040-0.060pulg.)
2	1.80-2.50mm (0.070-0.100pulg.)

El espesor de la capa cementada del diente, es principalmente función del paso del engranaje. Entre más grande sea el diente, mayor debe ser el espesor de la capa cementada para soportar las cargas que se ejercerán sobre el diente. El espesor de la capa cementada especificado en la anterior tabla, es la capa cementada total como se nota en una muestra atacada químicamente. Algunos especifican el espesor de capa cementada, considerando como "espesor de capa efectiva" solamente la parte de la capa cementada cuya dureza excede de 50 Rockwell-C. El espesor de capa efectiva es aproximadamente el 75% de la capa cementada total.

En el caso de máxima capacidad para soportar carga, deben estar ausente de la microestructura de la capa cementada la bainita superior, la perlita y las redes de carburo. La distancia Jominy a 1% de transformación puede calcularse usando el método de Jatczak y Girardi o determinada por el método de la distancia Jominy a la primera bainita(DFB) sugerido por Kern.

Cualquiera que sea el proceso que se emplee, conviene que el contenido en carbono de la capa cementada no pase de 1% y debe procurarse que la parte periférica de la pieza después de rectificada, quede aproximadamente con 0,8 a 0,9% de carbono, con lo que se obtienen en el temple durezas de 62 a 65 Rockwell-C. Siempre conviene obtener durezas superiores a 60 Rockwell-C, que es aproximadamente el límite de dureza en que la lima ya no desbasta al acero.

Cuando el contenido en carbono de la zona periférica es superior a la composición eutectoide de 0,80% de carbono, suelen aparecer redes de cementita o de carburos aleados que pueden hacer frágil a la capa cementada y con tendencia a descascarillarse. En estos casos conviene dar a las piezas después de la cementación un recocido de difusión a 800-900° C en una atmósfera o baño apropiado para disminuir el porcentaje de carbono de la periferia. Con este tratamiento se uniformiza bastante el contenido en carbono y se evitan posibles desconchamientos en las piezas cementadas.

La profundidad de la capa cementada aumenta con la temperatura, con la duración de la cementación, también depende de la actividad del carburante empleado y de la composición del acero que se va a cementar.

La absorción del carbono por el hierro gamma (austenita), es tanto más activa cuanto menor sea el porcentaje en carbono del acero. A medida que la carburación progresa, cuando el porcentaje de carbono aumenta, la velocidad de absorción disminuye, comportándose en ese caso el acero como una solución que se aproxima a su grado saturación.

Cuando la cementación se verifica a bajas temperaturas, la penetración del carbono es muy pequeña y, en cambio, el porcentaje en carbono de la periferia es mayor que cuando se efectúa la cementación a temperaturas próximas a 925°.

Existen tres tipos de cementación: cementación sólida, líquida y gaseosa; dependiendo que el agente cementante sea sólido, líquido ó gaseoso. Se recomienda la cementación gaseosa que es la más empleada en grandes talleres, fábricas de automóviles, motocicletas, aviones, etc, en la cual se puede controlar más estrechamente el procesos de cementación, y por tanto, el espesor de la capa cementada y el gradiente de carbono de la misma.

La dureza en el núcleo del diente del engranaje comúnmente debe estar entre 30 y 45 Rockwell-C. La dureza óptima en la superficie de la capa cementada debe ser 60 Rockwell-C. La [Tabla 2](#) indica las durezas superficiales en la capa cementada de acuerdo a la aplicación:

TABLA 2. DUREZA DE CAPA CEMENTADA(SUPERFICIAL) RECOMENDADA PARA ENGRANAJES DE DIVERSAS APLICACIONES

<i>APLICACIÓN</i>	<i>DUREZA</i>
Engranaje industrial de propósito general	55 Rc. Mínimo
Engranaje industrial de alta capacidad	58 Rc. Mínimo
Engranaje de avión	58-63 Rc.
Engranaje de avión o cohete de máxima capacidad	60-63 Rc.

3.1.2 Clasificación de los aceros según sus elementos aleantes

Los aceros de cementación, de acuerdo a los elementos aleantes que contienen se puede clasificar en tres grupos: aceros al carbono, aceros débilmente aleados y aceros de alta aleación.

Aceros al carbono. Son los que sólo contienen cantidades apreciables de carbono, silicio y manganeso, y pequeños porcentajes de impurezas de fósforo y azufre. El porcentaje de carbono que contienen suele variar de 0,10 a 0,25%, el porcentaje de silicio es inferior a 0,35% y el de manganeso de 0,50 a 0,70%. Empleando estos aceros al carbono, en el núcleo de los engranajes no se suelen obtener resistencias superiores a 80kg/mm².

Aceros débilmente aleados. A este grupo pertenecen los aceros de baja aleación, en los que la suma de los porcentajes de elementos aleantes como: cromo(Cr), níquel(Ni), molibdeno(Mo), manganeso(Mn) y boro(B), es inferior a 3%. Entre ellos se encuentran los aceros al cromo-molibdeno, los aceros al cromo-níquel, los aceros al níquel-molibdeno, los aceros al cromo-níquel-molibdeno, los aceros al cromo-manganeso y los aceros al boro. Ejemplos. Aceros al cromo-níquel-molibdeno(SAE): 4317H, 4320H, 8620H, 8622H, 8625H. Aceros al boro(SAE): 94B17H. Aceros al níquel-molibdeno(SAE): 4620H, 4621H. Aceros al cromo-níquel(SAE): 3120H. Aceros al cromo-molibdeno(SAE): 4118H. Con estos aceros con un carbono variable de 0,08 a 0,25% se llega a alcanzar en el núcleo resistencias mecánicas desde 70 a 130kg/mm².

Aceros de alta aleación. En algunos casos, para la fabricación de engranajes de gran responsabilidad, en que se quieren evitar las deformaciones y se quieren obtener elevadas resistencias mecánicas en el núcleo central de 90 a 150kg/mm² se emplean aceros con elementos aleantes superiores a 3%, en donde el contenido de carbono por lo general, es inferior a 0,20%. Ejemplos. Aceros al níquel(SAE): 2512H, 2515H, 2517H. Aceros al níquel-cromo(SAE): 3310H, 3316H. Aceros al níquel-molibdeno(SAE): 4815H, 4817H, 4820H. Aceros al níquel-cromo-molibdeno(AISI): 9310H.

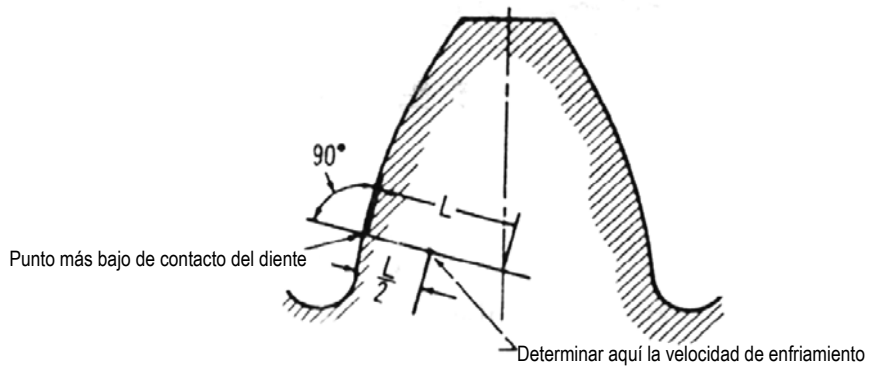
3.1.3 El Proceso de Selección del Acero

Los pasos a seguir en el proceso de selección del acero para el engranaje cementado son los siguientes:

3.1.3.1 Determinación de la velocidad de enfriamiento de temple equivalente Jominy (Jec).

Determinar o estimar la velocidad de enfriamiento de temple equivalente Jominy (Jec) en los lugares críticos de los engranajes sometidos a los tratamientos térmicos de producción y ciclos de temple. Estos lugares críticos son: a) el punto medio a lo largo de la distancia L , en el punto más bajo del diente (ver [Figura 2](#)) y b) la superficie de la raíz del diente. Para determinar estas velocidades de enfriamiento equivalente Jominy (Jec), se fabrican muestras de engranajes de la geometría requerida y se mecanizan probetas Jominy en un acero cualquiera, preferible de baja templeabilidad, tal como SAE 1040, 8620 o 4023. A los engranajes de muestra y a las probetas Jominy se les somete al ciclo de tratamiento térmico completo, excepto para cementación.

Figura 2. Velocidad de enfriamiento en el punto más bajo del diente de un engranaje.

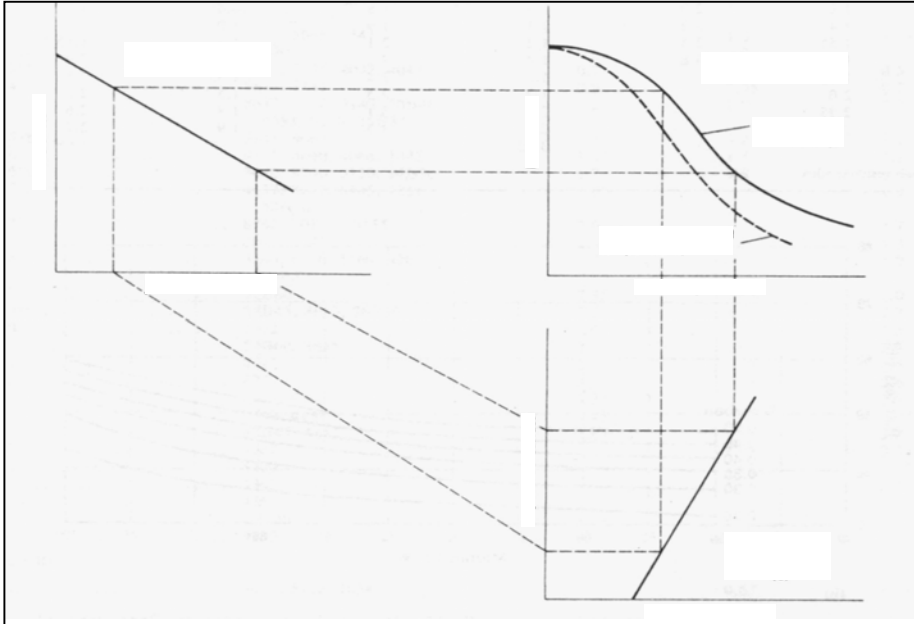


Para determinar el espesor de capa cementada adecuado para resistir el aplastamiento, la velocidad de enfriamiento de temple en el núcleo debe ser en el lugar indicado.

Para determinar el verdadero gradiente de dureza debido a la variación en la velocidad de enfriamiento, es necesario prevenir la penetración de carbono en los engranajes de muestra (ver [Figura 3](#)). El método más simple de hacerlo es hacer una cementación "ficticia" del engranaje usando un cobrizado o cualquier otro medio que no interfiera con el enfriamiento en el temple. Los engranajes de muestra son cobrizados y se les hace el tratamiento térmico de cementación y temple de producción.

Figura 3. Determinación de la velocidad de enfriamiento Jominy (Jec).

Las velocidades de enfriamiento equivalente Jominy (Jec) son determinadas comparando las durezas de las secciones transversales de las piezas que reciben el tratamiento térmico de producción a las durezas obtenidas en las barras Jominy del mismo acero.



La velocidad de enfriamiento equivalente Jominy (Jec) del engranaje es evaluada luego, comparando las durezas en las secciones críticas del engranaje a las durezas sobre la probeta Jominy. Esta probeta Jominy que es fabricada del mismo acero que los engranajes de muestra, es sometida al mismo ciclo térmico que los engranajes de muestra y, templada en el dispositivo Jominy estándar. Los engranajes de muestra son seccionados y se determinan las velocidades de enfriamiento equivalente Jominy (Jec)¹⁴.

La velocidad de enfriamiento en la superficie de la raíz del diente se puede también determinar por medio de gráficas de Paso del engranaje vs velocidad de enfriamiento de temple en la raíz del diente, en distancia Jominy¹⁵.

¹⁴ AMERICAN SOCIETY FOR METALS. "SOURCE BOOK ON MATERIALS SELECTION, VOLUME I". Metals Park, Ohio 44073: Editorial AMERICAN SOCIETY FOR METALS, March 1977. 182-185p, 188p, 193-206.

¹⁵ KERN Roy F.; SUESS, Manfred E. "STEEL SELECTION". New York: Editorial John Wiley & Sons, 1979. 181-194p, 418-434p.

3.1.3.2 Determinación del Diámetro Crítico Ideal del núcleo del diente del engranaje, D_{IB} (templabilidad del núcleo).

Hay que determinar el D_{IB} mínimo y el D_{IB} máximo del núcleo. Para hacerlo se necesita conocer el nivel de carbono del núcleo, el cual está entre 0.10 y 0.25%, ya que los engranajes cementados se fabrican de aceros de cementación que tienen este intervalo de carbono. Para determinar el Diámetro crítico ideal del núcleo, se debe conocer la dureza en el núcleo del diente del engranaje, que por lo general está entre 30 y 45 Rockwell C. Para determinar el D_{IB} mínimo se procede de la siguiente manera:

Con el contenido mínimo de carbono se determina la dureza máxima o dureza inicial (IH) correspondiente a un 99.9% de martensita, la dureza mínima en el núcleo vendría siendo la dureza a distancia (DH), con lo que se puede obtener la relación IH/DH. Conociendo la velocidad de enfriamiento en el núcleo — determinada en el numeral 3.1.3.1 — y la relación IH/DH, se determina el D_{IB} mínimo de la [Tabla 3](#) que contiene las relaciones IH/DH para varias distancias Jominy en aceros de cementación de diferentes Diámetros críticos ideales, D_I ¹⁶. Para determinar el D_{IB} máximo se procede de una manera similar, pero tomando el contenido máximo de carbono y la dureza máxima en el núcleo.

Para determinar el Diámetro Crítico Ideal Base (núcleo) de un acero conociendo su composición química, se usa la ecuación:

$$D_{IB} = (MF_C)(MF_{Si})(MF_{Mn})(MF_{Ni})(MF_{Cr})(MF_{Mo})$$

donde MF_C es el factor multiplicador del carbono de acuerdo al tamaño de grano del acero, MF_{Si} es el factor multiplicador del silicio, MF_{Mn} es el factor multiplicador del manganeso, etc. El factor multiplicador del carbono junto con el tamaño de grano del acero, son los publicados por A.T. DeRetana y D.V. Doane¹⁷ y los factores multiplicadores de los elementos aleantes usados son los publicados por De Retana y D.V. Doane y D.H. Breen¹⁸.

¹⁶ TARTAGLIA, J. M.; ELDIS, G.T. "CORE HARDENABILITY CALCULATIONS FOR CARBURIZING STEELS". En : METALLURGICAL TRANSACTIONS A. VOLUME 15A. (June 1984).

¹⁷ TARTAGLIA, J. M.; ELDIS, G.T. "CORE HARDENABILITY CALCULATIONS FOR CARBURIZING STEELS". En : METALLURGICAL TRANSACTIONS A. VOLUME 15A. (June 1984).

¹⁸ TARTAGLIA, J. M.; ELDIS, G.T. "CORE HARDENABILITY CALCULATIONS FOR CARBURIZING STEELS". En : METALLURGICAL TRANSACTIONS A. VOLUME 15A. (June 1984).

TABLA 3. RELACIONES IH/DH PARA VARIAS DISTANCIAS JOMINY EN ACEROS DE CEMENTACIÓN PARA DIFERENTES D_c

D_c in. (mm)	IH/DH								
	J_1	J_2	J_3	J_4	J_6	J_8	J_{10}	J_{12}	J_{16}
0.8 (20.3)	1.12	1.43	2.27	2.72	3.53	4.26	5.01	5.66	7.16
0.9 (22.9)	1.09	1.32	1.94	2.39	3.09	3.69	4.31	4.88	6.15
1.0 (25.4)	1.07	1.24	1.69	2.12	2.72	3.22	3.72	4.21	5.30
1.1 (27.9)	1.05	1.18	1.51	1.90	2.42	2.83	3.24	3.66	4.57
1.2 (30.5)	1.04	1.14	1.38	1.71	2.17	2.51	2.85	3.21	3.97
1.3 (33.0)	1.03	1.11	1.29	1.57	1.97	2.26	2.53	2.84	3.47
1.4 (35.6)	1.03	1.09	1.23	1.45	1.81	2.06	2.29	2.55	3.06
1.5 (38.1)	1.02	1.07	1.19	1.37	1.69	1.91	2.10	2.31	2.73
1.6 (40.6)	1.02	1.07	1.16	1.30	1.59	1.79	1.96	2.14	2.47
1.7 (43.2)	1.02	1.06	1.14	1.25	1.52	1.70	1.85	2.00	2.27
1.8 (45.7)	1.02	1.05	1.13	1.22	1.46	1.64	1.78	1.90	2.12
1.9 (48.3)	1.02	1.05	1.12	1.20	1.42	1.59	1.72	1.83	2.00
2.0 (50.8)	1.02	1.05	1.11	1.18	1.40	1.56	1.69	1.78	1.92
2.1 (53.3)	1.01	1.04	1.10	1.17	1.37	1.54	1.66	1.74	1.85
2.2 (55.9)	1.01	1.04	1.08	1.16	1.36	1.52	1.64	1.72	1.81
2.3 (58.4)	1.01	1.03	1.07	1.16	1.34	1.50	1.63	1.69	1.78
2.4 (61.0)	1.01	1.03	1.06	1.15	1.32	1.48	1.61	1.67	1.75
2.5 (63.5)	1.01	1.03	1.05	1.14	1.31	1.45	1.57	1.64	1.72
2.6 (66.0)	1.01	1.02	1.05	1.13	1.29	1.43	1.55	1.61	1.69
2.7 (68.6)	1.01	1.02	1.05	1.12	1.27	1.41	1.52	1.58	1.66
2.8 (71.1)	1.01	1.02	1.05	1.11	1.25	1.38	1.49	1.55	1.63
2.9 (73.7)	1.01	1.02	1.05	1.10	1.24	1.36	1.46	1.52	1.60
3.0 (76.2)	1.00	1.02	1.04	1.09	1.22	1.33	1.43	1.49	1.58
3.1 (78.7)	1.00	1.02	1.04	1.09	1.20	1.31	1.40	1.46	1.55
3.2 (81.3)	1.00	1.02	1.04	1.08	1.19	1.29	1.37	1.43	1.52
3.3 (83.8)	1.00	1.01	1.04	1.07	1.17	1.26	1.34	1.40	1.49
3.4 (86.4)	1.00	1.01	1.03	1.06	1.15	1.24	1.31	1.37	1.46
3.5 (88.9)	1.00	1.01	1.03	1.05	1.14	1.22	1.29	1.34	1.43
3.6 (91.4)	1.00	1.01	1.03	1.04	1.12	1.19	1.26	1.32	1.40
3.7 (94.0)	1.00	1.01	1.03	1.03	1.10	1.17	1.23	1.29	1.37
3.8 (96.5)	1.00	1.01	1.02	1.02	1.08	1.14	1.20	1.26	1.34

3.1.3.3 Determinación del Diámetro Crítico Ideal de la capa cementada, D_{ic} .

Habiendo determinado la velocidad de enfriamiento en la superficie de raíz del diente (Figura 5) — como se explicó en el numeral 3.1.3.1 — y habiendo especificado la dureza en la superficie de raíz del diente, se puede determinar el D_{ic} utilizando una gráfica que contiene: Distancia Jominy a "X" por ciento de Bainita (Figura 4, pero para 1% de Bainita) vs Diámetro Ideal de la capa cementada(pulgadas)¹⁹.

El Diámetro Crítico Ideal de la capa cementada — conociendo la composición química del acero — se puede calcular utilizando el método de Jatczak y Girardi²⁰ que utiliza unos factores multiplicadores desarrollados por ellos.

¹⁹ SIEBERT, Clarence A.; DOANE, Douglas V.; BREEN, Dale H. "THE HARDENABILITY OF STEELS". Metals Park, Ohio 44073: Editorial AMERICAN SOCIETY FOR METALS, 1977. 168p.

²⁰ KERN Roy F.; SUESS, Manfred E. "STEEL SELECTION". New York: Editorial John Wiley & Sons, 1979. 181-194p, 418-434p.

3.1.3.4 Selección del gradiente de carbono.

Los gradientes de carbono producidos por los procesos de cementación dan unos contenidos de carbono en la superficie entre 0.9 y 1.0% C. El problema está en seleccionar un ciclo de cementación que resulte en niveles de carbono a la profundidad de capa cementada especificada, que en combinación con el D_{IB} previamente determinado, dará 50 HRC con las condiciones de temple esperadas. Esto se puede hacer con la ayuda de un gráfico de "Profundidad debajo de la superficie vs % Carbono"²¹. Con este gráfico se puede calcular un nuevo valor de D_{IB} en los puntos seleccionados debajo de la superficie.

3.1.3.5 Selección del Acero.

Determinados todos los parámetros anteriormente descritos que cumplan con los criterios de diseño especificados, se puede seleccionar la composición del acero. Se puede escoger de los grados de aceros estándar o se puede diseñar un acero especial. Cuando los requisitos de tonelaje de acero son bajos, es más práctico utilizar aceros estándar.

Luego de tener los aceros seleccionados o diseñados con los parámetros antes especificados cumpliendo con la templabilidad del núcleo, se necesita hacer una postselección, en donde por medio del método de Jatczak y Girardi se someten los aceros a una prueba, que inmiscuye los elementos aleantes de su composición química y de su microestructura para determinar si cumplen con la templabilidad de la capa cementada (D_{IC})

3.1.4 Método de Jatczak y Girardi

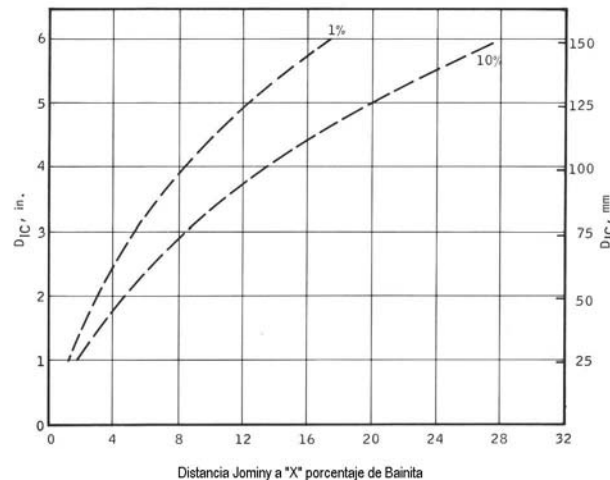
Este método para calcular la templabilidad, fue anunciado primero en 1954. No solamente fue un avance técnico que proporcionó un medio para calcular la templabilidad de los aceros con más de 0.75% de carbono sino dio los resultados en términos de microestructura (originalmente para el 10% de transformación), balance de martensita y austenita. En 1972 C. F. Jatczak anunció que había sido actualizado para incluir más elementos aleantes, efectos sinérgicos entre ellos, y el efecto de diferentes temperaturas de austenización. Otros medios también fueron proporcionados para obtener resultados para expresar la templabilidad no solamente en términos del 10% de transformación, sino del 1%. (ver [Figura 4](#))

El método emplea factores multiplicadores (ver [Anexos](#)) como los métodos conocidos, pero en el uso de este procedimiento para calcular la templabilidad hay varias guías para tener en cuenta²².

²¹ AMERICAN SOCIETY FOR METALS. "SOURCE BOOK ON MATERIALS SELECTION, VOLUME I". Metals Park, Ohio 44073: Editorial AMERICAN SOCIETY FOR METALS, March 1977. 182-185p, 188p, 193-206.

²² ver especificación de requisitos, RQ-2.27

Figura 4. Diámetro crítico ideal de la capa cementada (D_{ic}) vs distancia Jominy a "X" porcentaje de Bainita



3.2 Ingeniería del Software

Desde el punto de vista de la ingeniería del software, Selector fue desarrollada bajo la plataforma Delphi™ 7.0 Enterprise, basándose en una metodología ya definida que a su vez, está ligada a un plan de trabajo (ver sección [2.1 Metodología](#) y [2.2 Plan de Trabajo](#)).

3.2.1 Delphi y su Historia

Delphi es sin lugar a dudas el mejor entorno de desarrollo rápido de aplicaciones (RAD), con un potentísimo lenguaje el Object Pascal, un compilador rapidísimo que nos permite crear ejecutables con una velocidad cercana al C++, y con múltiples posibilidades: bases de datos, multimedia, web, etc. No cabe duda que es un lenguaje del siglo XXI, con el permiso, claro esta de Java.

Delphi, descendiendo por decirlo de alguna manera, del mítico lenguaje desarrollado por Niklaus Wirth en 1971, para facilitar la enseñanza de la programación estructurada, y que le puso el nombre del tan celebre filósofo y matemático francés Pascal.

En aquella época, las fases de edición de código, compilación y enlazado, iban por separado, hasta que Philippe Khan, el fundador de Borland, actualmente Inprise, creó el Turbo Pascal, el primer entorno de programación DOS, con el editor, compilador y enlazador integrados, siguiéndole los famosos Turbo Basic y Turbo C/C++. Luego vieron la luz las versiones de Turbo Pascal para Windows, pero en 1995 ante la aparición de los Windows a 32 bits, Borland decide dar un giro al producto, lo potencia y mejora incorporando las nuevas tecnologías Windows, lo denomina Delphi, y empieza a hacerle competencia al Visual Basic. Mientras tanto, por la tardanza y

algún que otro problema con los primeros xBase Windows muchos programadores Clipper y dBase, deciden pasarse a Delphi²³.

Características de Delphi

Delphi es la herramienta de desarrollo más rápida y productiva para la web y desarrollo de bases de datos. No hay que olvidar que pronto, gracias al comercio electrónico, la gestión irá ligada a la web. Su velocidad de ejecución, compilación y enlace son cercanas al C++, y por lo tanto, mucho mejores que otros lenguajes existentes. Es un lenguaje de programación orientada a objetos verdadera, permite encapsulación, herencia y polimorfismo.

Por otro lado, tiene componente integrados dentro del lenguaje, lo que reduce considerablemente la utilización de librerías y controles externos, por lo tanto menos problemas para el usuario. Además, realiza un tratamiento de errores mediante excepciones, lo que impide el típico error de programa que nos saca del sistema. Delphi goza de un soporte avanzado de bases de datos mediante BDE (Borland Database Engine), ADO (ActiveX Database Objects), tecnología de Microsoft de acceso a bases de datos e Internet que incorpora el Windows 2000, y finalmente InterBase Express, acceso nativo a InterBase, para desarrollo Cliente/Servidor off-line. Otras de las características de Delphi es el modelo de datos y relaciones de forma visual, los asistentes y componentes para Internet/Intranet y los componentes compatibles con Microsoft Office. Asimismo, plantea una fácil integración de informes y gráficos de gestión, sin olvidar también la facilidad en la distribución de aplicaciones con el InstallShield Express.

En el futuro, no cabe duda que ante la cuota de mercado y los premios obtenidos, Delphi tiene un futuro prometedor, además Inprise intenta que cada nueva versión incorpore los nuevos estándares del mercado con los que esta herramienta asegura siempre una puesta al día. Y una cosa muy importante, que gracias a los componentes y tecnologías incorporados, Delphi tiene todo lo suficiente para el desarrollo de programas de gestión y web, sin recurrir a librerías de terceros.

3.2.2 Las Bases de Datos

Se dice que los sistemas de bases de datos tienen sus raíces en el proyecto estadounidense Apolo de mandar al hombre a la luna, en los años sesenta. En aquella época, no había ningún sistema que permitiera gestionar la inmensa cantidad de información que requería el proyecto. La primera empresa encargada del proyecto, NAA (North American Aviation), desarrolló un *software* denominado GUAM (General Update Access Method) que estaba basado en el concepto de que varias piezas pequeñas se unen para formar una pieza más grande, y así sucesivamente hasta que el producto final está ensamblado. Esta estructura, que tiene la forma de un árbol, es lo

²³ AULAWARE, Tutorial de Delphi. [Online]. Aulaware. [1999]. Available from Internet: <URL: <http://leo.worldonline.es/acanudas/delphi/tdelphi5.htm>>

que se denomina una *estructura jerárquica*. A mediados de los sesenta, IBM se unió a NAA para desarrollar GUAM en lo que ahora se conoce como IMS (Information Management System). El motivo por el cual IBM restringió IMS al manejo de jerarquías de registros fue el de permitir el uso de dispositivos de almacenamiento serie, más exactamente las cintas magnéticas, ya que era un requisito del mercado por aquella época.

En 1970 Codd, de los laboratorios de investigación de IBM, escribió un artículo presentando el *modelo relacional*. En este artículo, presentaba también los inconvenientes de los sistemas previos, el jerárquico y el de red. Entonces, se comenzaron a desarrollar muchos sistemas relacionales, apareciendo los primeros a finales de los setenta y principios de los ochenta. Uno de los primeros es System R, de IBM, que se desarrolló para probar la funcionalidad del modelo relacional, proporcionando una implementación de sus estructuras de datos y sus operaciones. Esto condujo a dos grandes desarrollos:

- El desarrollo de un lenguaje de consultas estructurado denominado SQL, que se ha convertido en el lenguaje estándar de los sistemas relacionales.
- La producción de varios SGBD relacionales durante los años ochenta, como DB2 y SLQ/DS de IBM, y ORACLE de ORACLE Corporation.

Hoy en día, existen cientos de SGBD relacionales, tanto para microordenadores como para sistemas multiusuario, aunque muchos no son completamente fieles al modelo relacional.

Los SGBD relacionales constituyen la segunda generación de los SGBD. Sin embargo, el modelo relacional también tiene sus fallos, siendo uno de ellos su limitada capacidad al modelar los datos. Se ha hecho mucha investigación desde entonces tratando de resolver este problema. En 1976, Chen presentó el modelo entidad-relación, que es la técnica más utilizada en el diseño de bases de datos. En 1979, Codd intentó subsanar algunas de las deficiencias de su modelo relacional con una versión extendida denominada RM/T (1979) y más recientemente RM/V2 (1990). Los intentos de proporcionar un modelo de datos que represente al mundo real de un modo más fiel han dado lugar a los modelos de datos semánticos.

Como respuesta a la creciente complejidad de las aplicaciones que requieren bases de datos, han surgido dos nuevos modelos: el modelo de datos orientado a objetos y el modelo relacional extendido. Sin embargo, a diferencia de los modelos que los preceden, la composición de estos modelos no está clara. Esta evolución representa la tercera generación de los SGBD²⁴.

Una base de datos es una colección de datos relacionados que pueden ser guardados y que tienen un significado implícito. Las bases de datos y su tecnología están teniendo un impacto decisivo sobre el creciente uso de las computadoras. No es exagerado decir que las bases de datos desempeñan un papel crucial en casi

²⁴ MARQUÉS ANDRÉS, María Mercedes, Historia de los sistemas de bases de datos. [Online]. [Castellón, España]: Universitat Jaume I. 2001 [2001-02-12]. Available from Internet < <http://www3.uji.es/~mmarques/f47/apun/node6.html> >

todas las áreas de aplicación, como los negocios, la ingeniería, la medicina, el derecho y la educación, por mencionar sólo unas cuantas.

Una base de datos tiene las siguientes propiedades implícitas:

- Representa algún aspecto del mundo real.
- Es un conjunto de datos lógicamente coherente, con cierto significado.
- Toda base de datos se diseña, se construye y se puebla con datos para un propósito específico.

Está dirigida a un grupo de usuarios y tiene ciertas aplicaciones preconcebidas que interesan a dichos usuarios.

4. ANÁLISIS Y DESARROLLO DEL SOFTWARE

4.1 Especificación de requerimientos

Este documento da a conocer las principales características, funcionalidades y servicios que prestará la herramienta software que se desea elaborar. Además, se debe considerar como un manual de desarrollo, debido a que en él se encuentra explícita la información requerida para construir una herramienta software que cumpla con los objetivos trazados en el plan de proyecto y que presente las características especificadas dentro del plan.

Esta especificación de requisitos, muestra lo que hará y lo que no hará la herramienta software que se desarrollará, por ello, es de vital importancia la lectura del mismo por parte del cliente y de la comunidad técnica.

4.1.1 Descripción general

El producto que se generará a través de este proyecto se le denominará SELECTOR, el cual será una herramienta software que permitirá seleccionar y diseñar aceros para engranajes cementados, basado en algunos parámetros como la dureza del núcleo, la velocidad de enfriamiento²⁵ en el radio primitivo y en la raíz del diente y las bandas de templabilidad. Además, esta herramienta será de ayuda para aquellas personas interesadas en el tema (estudiantes, profesionales, industrias metalmeccánicas, etc.), dado que les permitirá hacer prácticas de una manera más rápida y segura.

Alcance del Proyecto

Como se dijo anteriormente, el SW se encargará de hacer selección y diseño de aceros para engranajes cementados, dados determinados parámetros. La selección estará basada en las bandas de templabilidad de los aceros estándar publicados por la ASTM (American Standard for Testing Materials) y la SAE (Society of Automotive Engineers). Sin embargo, al hacer una determinada selección o diseño para un engranaje, el resultado puede ser una amplia lista de aceros que cumplirán con los requisitos especificados por el operador. De esta manera, la selección final del acero, quedará en manos del operador, basándose en esta lista y de acuerdo a su experiencia profesional y/o en comentarios que tendrá el SW acerca de algunos aceros seleccionados previamente.

²⁵ ver la sección de Glosario y definiciones.

Contexto de la Herramienta Software

El SW a desarrollar es una primera versión para la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencias de Materiales de la Universidad Industrial de Santander. Su función principal será el apoyo en la decisión de cuál acero emplear al momento de fabricar un engranaje cementado, de acuerdo a ciertas características exigidas por el operador.

En la actualidad, en Colombia no se dispone de una herramienta computacional especializada en esta labor. Por lo tanto, la tarea de selección y/o diseño de un acero para un engranaje cementado, se hace de una forma manual, haciendo de este trabajo, una tarea lenta, engorrosa y propensa a errores por parte de la persona encargada.

Usuarios Finales

Básicamente, el SW está destinado a personas que tengan un mínimo conocimiento técnico en ingeniería metalúrgica e ingeniería de materiales, a estudiantes del área de mecánica y metalurgia y, en general, a todas aquellas personas que necesiten escoger un acero para fabricar un engranaje cementado.

Sin embargo, como se mencionó antes, la utilización de la herramienta software requiere de conocimientos en el tema, dado que no siempre es posible hallar un único acero que cumpla con los parámetros iniciales, y en este caso, la tarea de selección final recaerá sobre el operador.

Dependencias y Supuestos

La herramienta software a desarrollar requiere en gran medida de información tabulada que se puede encontrar en libros especializados en selección de materiales. Alguna de esta información será de ingreso dinámico, esto es, se podrá modificar esta información en tiempo de ejecución²⁶, como las bandas de templabilidad y composición química de los aceros estándar. Sin embargo, existe en la actualidad datos que se han mantenido invariantes en el tiempo desde hace más de medio siglo, debido a la certeza, la veracidad y la fiabilidad de los mismos. Esta información será ingresada al sistema en tiempo de diseño²⁷ bajo el supuesto que se mantendrá inalterada por más tiempo.

4.1.2 Requerimientos de Interfaces Externas

Este capítulo muestra las características y requerimientos de la herramienta software para con el entorno.

Interfaces de Usuario

La interfaz de usuario será implementada mediante el uso de ventanas gráficas usuales del sistema operativo Windows de Microsoft®. El manejo de las utilidades del SW se podrán ejecutar a través de un *mouse* o de teclas

²⁶ *RunTime*

²⁷ *DesignTime*

de acceso rápido utilizando un teclado convencional. Para navegar a través de los componentes de una ventana se utilizará la tecla de tabulación (TAB). Para acudir a la ayuda del SW se utilizará el comando (F1) del teclado. Básicamente, la herramienta software desplegará una ventana inicial en pantalla completa con un menú en la parte superior, por el cual se podrá acceder a las diferentes funcionalidades a través de diversos ítems.

Interfaces de Hardware

El SW estará adecuado para trabajar en equipos que cumplan como mínimo con los siguientes requerimientos: un teclado convencional, un *mouse*, un monitor que permita una resolución de 800x600dpi, una CPU con procesador compatible x86, 64 MB de memoria física y 20MB de espacio de almacenamiento.

Interfaces de Software

Para el funcionamiento del SW es necesario que el equipo donde se instale, tenga un sistema operativo Windows 2000/XP.

4.1.3 Requerimientos

1. De la especificación de requisitos del módulo de datos y de la interfaz de usuario.

RQ-1.1 El sistema de bases de datos, debe ser capaz de almacenar toda la información necesaria para el funcionamiento del SW.

RQ-1.2 El sistema de bases de datos debe mantener la integridad de sus datos.

RQ-1.3 La base de datos debe ser independiente de la plataforma ODBC del sistema operativo

RQ-1.4 El sistema de bases de datos debe permitir la conectividad con el SW directamente sin necesidad de manejadores intermediarios de comunicación que requieran ser distribuidos con el SW.

Interfaz gráfica

RQ-1.5 El SW debe estar basado en un sistema de ventanas gráficas o formularios.

RQ-1.6 Las ventanas que se desplegarán dentro del SW, deben ser del tipo Modal, esto es, no se pueden tener activas más de una ventana a la vez.

RQ-1.7 Cada ventana del SW, debe tener un breve descriptivo de las operaciones permitidas dentro de ella.

RQ-1.8 Las ventanas del SW deben tener las mismas características entre si, tales como colores, tamaño de fuentes, estilos y botones.

RQ-1.9 El SW debe permitir incluir, modificar y eliminar aceros dentro de la base de datos, a través de una interfaz de usuario.

RQ-1.10 Los valores requeridos para ingresar un acero dentro de la base de datos son los mostrados en la [Tabla 4:](#)

TABLA 4. VALORES REQUERIDOS PARA INGRESAR UN ACERO DENTRO DE LA BASE DE DATOS DEL SOFTWARE.

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	REQUISITOS
Nombre del Acero	Es el nombre con el cual se conocerá el acero dentro de la base de datos.	De RQ-1.10.1 a RQ-1.10.3
Porcentaje de carbono	Es un parámetro que especifica la cantidad de carbono que tiene el acero.	De RQ-1.10.4 a RQ-1.10.7
Diámetro crítico ideal	Es un parámetro que especifica la templabilidad del acero.	De RQ-1.10.8 a RQ-1.10.9
Intervalo de dureza	Corresponde a un intervalo que representa la dureza del acero en un punto de interés.	De RQ-1.10.10 a RQ-1.10.14

RQ-1.10.1 El nombre del acero, debe ser un identificador único dentro de la base de datos, de tal forma que no existirán dos aceros con el mismo nombre.

RQ-1.10.2 El nombre del acero, debe ser un parámetro alfanumérico no mayor de diez caracteres.

RQ-1.10.3 El nombre del acero, se debe poder encontrar dentro de los nombres de aceros publicados por la SAE ó AISI tales que sean los permitidos para hacer selección de acero para engranajes cementados.

RQ-1.10.4 El porcentaje de carbono es un valor de tipo flotante.

RQ-1.10.5 El porcentaje de carbono se debe almacenar dentro de la base de datos.

RQ-1.10.6 El porcentaje de carbono debe encontrarse entre [0.1 0.25].

RQ-1.10.7 El porcentaje de carbono es un valor requerido para todo acero que se desee ingresar en la base de datos.

RQ-1.10.8 El diámetro crítico ideal base, es un intervalo de tipo flotante.

RQ-1.10.9 El diámetro crítico ideal base no es un valor requerido, pero una vez ingresado, se debe llenar el intervalo.

RQ-1.10.10 El intervalo de dureza serán dos funciones polinomiales una mínima y una máxima.

RQ-1.10.11 En las funciones de dureza las abscisas representan la distancia al extremo templado de la probeta Jominy que deberá estar entre uno y 32 dieciseisavos de pulgada.

RQ-1.10.12 En las funciones de dureza, la ordenada representará la dureza de temple en Rockwell C obtenida para la determinada distancia al extremo templado de la probeta Jominy.

RQ-1.10.13 El intervalo de dureza, debe poder llenarse desde la interfaz de usuario, es decir, el usuario podrá modificar la función de dureza, máxima y mínima.

RQ-1.10.14 El intervalo de dureza, será nominado banda de templabilidad a lo largo del SW.

RQ-1.10.15 Los parámetros especificados en los requisitos RQ-1.10.4, RQ-1.10.8, RQ-1.10.10, deben poderse modificar desde la interfaz de usuario.

RQ-1.11 Cuando se ingresa un acero dentro de la base de datos debe especificarse además, la composición química del acero.

RQ-1.12 El ingreso de la composición química de un acero es opcional.

RQ-1.13 La composición química de un acero está especificada a través de los parámetros mostrados en la [Tabla 5](#), cada uno de los cuales es opcional.

TABLA 5. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE UN ACERO.

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	REQUISITOS
Porcentaje de Carbono	Representa el porcentaje de carbono que contiene el acero. Es un intervalo.	RQ-1.13.1
Porcentaje de Manganeso	--	RQ-1.13.2
Porcentaje de Silicio	--	RQ-1.13.3
Porcentaje de Níquel	--	RQ-1.13.4
Porcentaje de Cromo	--	RQ-1.13.5
Porcentaje de Molibdeno	--	RQ-1.13.6
Porcentaje de Boro	--	RQ-1.13.7
Porcentaje de Vanadio	--	RQ-1.13.8
Valor máximo de fósforo	Es el valor máximo de fósforo permitido en la composición química del acero.	RQ-1.13.9
Valor máximo de azufre	--	RQ-1.13.10
Valor máximo del Cobre	--	RQ-1.13.11

RQ-1.13.1 El porcentaje de carbono es un intervalo de tipo flotante.

RQ-1.13.2 El porcentaje de manganeso es un intervalo de tipo flotante.

RQ-1.13.3 El porcentaje de silicio es un intervalo de tipo flotante.

RQ-1.13.4 El porcentaje de níquel es un intervalo de tipo flotante.

RQ-1.13.5 El porcentaje de cromo es un intervalo de tipo flotante.

RQ-1.13.6 El porcentaje de molibdeno es un intervalo de tipo flotante.

RQ-1.13.7 El porcentaje de boro es un intervalo de tipo flotante.

RQ-1.13.8 El porcentaje de vanadio es un intervalo de tipo flotante.

RQ-1.13.9 El valor máximo de fósforo es un valor de tipo flotante.

RQ-1.13.10 El valor máximo de azufre es un valor de tipo flotante.

RQ-1.13.11 El valor máximo de cobre es un valor de tipo flotante.

RQ-1.14 Toda la información que haya sido ingresada por el usuario, debe poder ser consultada.

RQ-1.15 El operador debe tener la opción dentro del SW de escoger el sistema de unidades de medidas en la que desea trabajar.

RQ-1.16 Las unidades de medida permitidas son sistema internacional SI y sistema inglés.

RQ-1.16.1 Las unidades de longitud que se usará para el sistema internacional será el milímetro.

RQ-1.16.2 Las unidades de longitud que se usará para el sistema inglés será el dieciseisavo de pulgada.

RQ-1.17 La unidad de dureza que se implementará será la Rockwell C.

2. De la especificación de requisitos de la sección de selección

RQ-2.1 El SW debe seleccionar un acero para cementación en un engranaje, dadas determinadas especificaciones mecánicas y metalúrgicas.

RQ-2.2 Las especificaciones mecánicas y/o metalúrgicas necesarias para seleccionar un acero son las mostradas en la [Tabla 6](#).

TABLA 6. ESPECIFICACIONES MECÁNICAS Y/O METALÚRGICAS PARA SELECCIONAR UN ACERO.

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	REQUISITO
Velocidad de enfriamiento	Describe la velocidad de enfriamiento en el radio de raíz o en el núcleo, ver glosario.	De RQ-2.3 a RQ-2.5
Intervalo ó Valor mínimo de dureza en el núcleo	Se refiere a la dureza requerida en el núcleo del diente.	De RQ-2.6 a RQ-2.12

RQ-2.3 La velocidad de enfriamiento debe ser un valor flotante.

RQ-2.4 La velocidad de enfriamiento es un valor que se debe dar en 1/16 de pulgadas o en milímetros.

RQ-2.5 La velocidad de enfriamiento es un valor que debe encontrarse entre [1,58,50.8] milímetros o [1,32] dieciseisavos de pulgada (1/16").

RQ-2.6 Se debe permitir ingresar la dureza como un intervalo o como un valor mínimo.

RQ-2.7 La dureza como intervalo debe ser de tipo flotante.

RQ-2.8 El Valor mínimo de dureza debe ser un número de tipo flotante.

RQ-2.9 Al momento de ingresar los parámetros para realizar una nueva selección, se debe especificar si se desea ingresar la dureza como un intervalo o como un valor mínimo.

RQ-2.10 La dureza se debe ingresar en unidades Rockwell C.

RQ-2.11 Siempre que se haya dado la dureza como un intervalo, la selección de un acero, se debe hacer buscando dentro de las bandas de templabilidad para la velocidad de enfriamiento especificada en el requisito RQ-2.3, aquellos aceros que tengan un intervalo de dureza tal que contenga al intervalo de dureza especificado en el RQ-2.7, como subconjunto.

RQ-2.12 Si la dureza se especifica como un valor mínimo, la selección de un acero, se debe hacer buscando dentro de las bandas de templabilidad para la velocidad de enfriamiento especificada en el requisito RQ-2.3, aquellos aceros que tengan la dureza mínima mayor que la especificada en el RQ-2.8.

RQ-2.13 Al momento de hacer una selección, las bandas de templabilidad de los aceros, tendrán una tolerancia de ± 1 Rockwell C.

RQ-2.14 Los aceros que cumplan con el requisito RQ-2.11 o RQ-2.12 deben ser desplegados en una lista, para que el usuario, pueda escoger en ella, el que se adapte a sus necesidades.

RQ-2.15 En la lista especificada en el RQ-2.14, Los aceros desplegados deben estar ordenados de acuerdo a su prioridad.

RQ-2.16 La prioridad de los aceros será dada por la cercanía de los parámetros de dureza estipulados por el operador, con las bandas de templabilidad del acero.

RQ-2.17 Todos los aceros que se encuentren en la lista especificada en el requisito RQ-2.14, deben tener la posibilidad de mostrar su composición química.

Postselección

RQ-2.18 El SW debe tener la posibilidad de hacer una selección final más exhaustiva, haciendo uso del método de Jatzcak y Girardi.(Postselección)

RQ-2.19 Para hacer la selección más exhaustiva, son requeridos los parámetros de entrada dados en la [Tabla 7](#).

TABLA 7. PARÁMETROS DE ENTRADA PARA UNA SELECCIÓN EXHAUSTIVA.

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	REQUISITO
Velocidad de enfriamiento del radio de raíz	Es la velocidad de enfriamiento en el lugar más crítico del diente.	De RQ-2.19.1 a RQ-2.19.5
Porcentaje de carbono de la capa cementada	Se refiere a la cantidad de carbono que se encuentra en la superficie del diente	De RQ-2.19.6 a RQ-2.19.7
La temperatura de temple.	Es la temperatura desde la cual se templará el acero.	RQ-2.19.8

Tipo de temple	Se refiere al método de temple al cual será sometido el engranaje.	RQ-2.19.9
----------------	--	-----------

RQ-2.19.1 La velocidad de enfriamiento en el radio de raíz, será un valor de tipo flotante.

RQ-2.19.2 La velocidad de enfriamiento en el radio de raíz, es un valor que se debe dar en 1/16 de pulgadas o en milímetros.

RQ-2.19.3 La velocidad de enfriamiento es un valor que debe encontrarse entre [1.58,50.8] milímetros o [1,32] dieciseisavos de pulgada (1/16").

RQ-2.19.4 Es posible encontrar la velocidad de enfriamiento del engranaje a través de la [Figura 5](#), para ello se requieren los parámetros especificados en la [Tabla 8](#).

Figura 5. Curvas para determinar la velocidad de enfriamiento del radio de raíz. (a) Engranaje tipo red. (b) Engranaje tipo sólido.

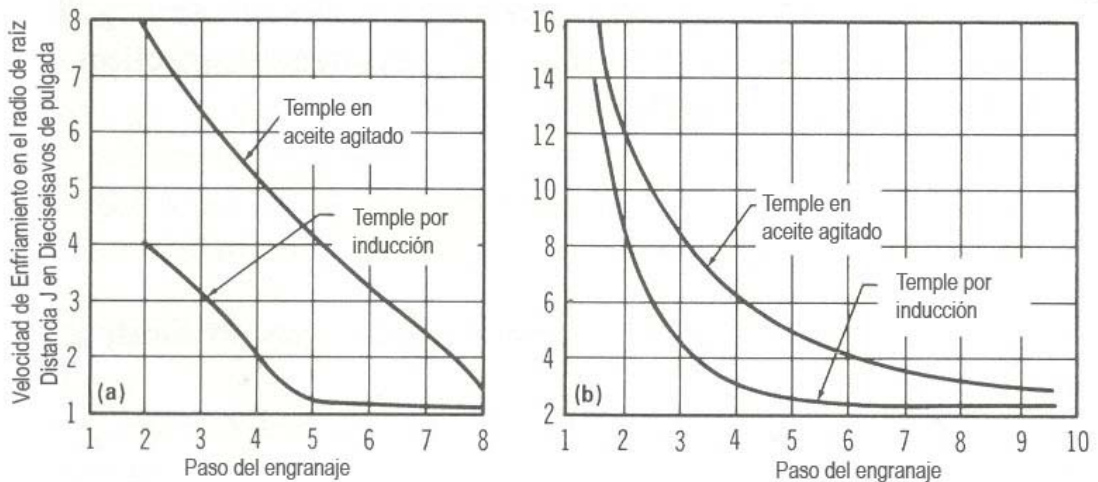


TABLA 8. PARÁMETROS REQUERIDOS PARA ENCONTRAR LA VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO DEL ENGRANAJE.

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	REQUISITO
Tipo de engranaje	Se refiere a la forma del engranaje, esto es Tipo Red o Sólido.	De RQ-2.19.4.1 a RQ-2.19.4.2
El paso del engranaje	El paso del engranaje es una relación entre el número de dientes dividido entre el	De RQ-2.19.4.3 a RQ-2.19.4.4

	diámetro primitivo.	
Medio de temple	Se refiere al medio a través del cual será templado el acero.	De RQ-2.19.4.5 a RQ-2.19.4.6

RQ-2.19.4.1 El tipo de engranaje será una opción que elegirá el operador.

RQ-2.19.4.2 Los valores entre los cuales podrá elegir el operador para el RQ-2.19.4.1 serán: Engranajes tipo Red y engranajes tipo sólido.

RQ-2.19.4.3 El paso del engranaje debe ser un valor tipo flotante.

RQ-2.19.4.4 El paso del engranaje debe estar contenido en el intervalo [2.0,8.0]

RQ-2.19.4.5 El medio de temple será una opción que elegirá el operador.

RQ-2.19.4.6 Los valores entre los cuales podrá elegir el operador para el RQ-2.19.4.5 serán: temple en aceite agitado y temple por inducción.

RQ-2.19.5 El operador podrá escoger entre ingresar manualmente la velocidad de enfriamiento o hallarla a través del RQ-2.19.4.

RQ-2.19.6 El valor de porcentaje de carbono de la capa cementada debe ser de tipo flotante.

RQ-2.19.7 El valor de porcentaje de carbono de la capa cementada debe ser escogido entre un intervalo de [0.6-1.0].

RQ-2.19.8 Los valores para la temperatura de temple son : 1475°F, 1525°F, 1575°F y 1700°F para sistema inglés y de 800°C, 830°, 855° y 927° para grados centígrados respectivamente. Uno de estos valores será escogido por el operador al momento de hacer la postselección.

RQ-2.19.9 El tipo de temple es un valor que debe escoger el usuario.

RQ-2.19.9.1 Los valores de tipo de temple que se podrán escoger, dependen de la temperatura de temple así: Entre 800°C y 855°C [1475°F 1575°F] es "Aceros normalizados o templados antes de volverlos a endurecer con la temperatura especificada". Para 927°C [1700°F] los valores a escoger son: "Temple directo" o "Aceros normalizados o enfriados desde la cementación y recalentados a 1700°F/927°C para endurecimiento".

RQ-2.20 Para poder hacer la postselección, se debe calcular el Dic de diseño y el Dic de cada uno de los aceros que se encuentren en la lista mostrada antes de la postselección.

RQ-2.21 Un acero adecuado, será aquel que tenga un Dic (del acero) igual o superior al Dic mínimo determinado de acuerdo a los requerimientos metalúrgicos y de diseño.

RQ-2.22 Del requisito RQ-2.21 resultará una lista de aceros que serán los adecuados para el operador.

RQ-2.23 El Dic requerido se obtiene usando la [Figura 4](#).

RQ-2.24 Para hallar el Dic de un acero se emplea el método de Jatczak y Girardi que define a esta variable como el Di o factor multiplicador del carbono de la capa cementada, multiplicado por los factores multiplicadores de los elementos aleantes (Para capa cementada). $D_{ic} = D_i * MF$.

RQ-2.25 Para hallar el D_i (Factor multiplicador del carbono) mencionado en el RQ-2.24 es necesario antes encontrar el porcentaje de carbono requerido en la capa cementada.

RQ-2.26 Después de ser hallado el porcentaje de carbono de la capa cementada, se calcula el D_i por medio de la tabla que contiene los factores multiplicadores de acuerdo a una temperatura de temple (ver [Anexo A](#)).

RQ-2.27 Para encontrar los factores multiplicadores de los elementos aleantes para la capa cementada, se deben tener en cuenta tres puntos:

1. Para temple directo (1700°F/927°C):
 - Si la microestructura es perlítica (el porcentaje de Ni < 1.0% y el de Molibdeno < 0.15%) se usan los factores Mn*, Si*, Ni*, Mo*, Al y Cr etiquetado “Aceros Cementados” (ver [Anexo B](#)). Si el acero tiene boro se usa su respectivo factor multiplicador (ver [Anexo D](#)).
 - Si la microestructura es bainítica, (el porcentaje de Ni > 1.0% y el de Molibdeno > 0.15%) se usan los factores Mn*, Ni*, Mo*, Al y Cr “Aceros Cementados” (ver [Anexo B](#)). Para el factor multiplicador del silicio, se usa Si[‡] (ver [Anexo B](#)). Si el acero tiene boro se usa su respectivo factor multiplicador (ver [Anexo D](#)).
2. Para aceros normalizados o enfriados desde la cementación y recalentados a 1700°F/927°C para endurecimiento.
 - Si la microestructura es perlítica (el porcentaje de Ni < 1.0% y el de Molibdeno < 0.15%). Se usan los factores Mn*, Si*, Ni*, Mo*, Al, Cr* (ver [Anexo B](#)). Si el acero tiene boro se usa su respectivo factor multiplicador (ver [Anexo D](#)).
 - Si la microestructura es bainítica, (el porcentaje de Ni > 1.0% y el de Molibdeno > 0.15%). Se usan los factores Mn*, Ni*, Mo*, Al y Cr* (ver [Anexo B](#)). Para el factor multiplicador del silicio, se usa Si[‡] (ver [Anexo B](#)). Si el acero tiene boro se usa su respectivo factor multiplicador (ver [Anexo D](#)).
3. Para aceros normalizados o templados antes de volverlos a endurecer desde 1475°F/800°C a 1575°F/855°C
 - Si la microestructura es perlítica (el porcentaje de Ni < 1.0% y el de Molibdeno < 0.15%). Se usan los factores Mn*, Si*, Ni*, Mo*, Cr* y Aluminio (ver [Anexo B](#)) con los factores apropiados de carbono (ver [Anexo A](#)) y boro (ver [Anexo D](#)).
 - Si la microestructura es bainítica, (el porcentaje de Ni > 1.0% y el de Molibdeno > 0.15%). Se usan los factores Mo*, Al, Si[‡], Cr* (ver [Anexo B](#)), factor Ni+Mn (ver [Anexo C](#)) y los factores apropiados del carbono (ver [Anexo A](#)) y boro (ver [Anexo D](#)).

RQ-2.28 Al momento del usuario escoger un acero de la lista especificada en el RQ-2.22, debe poder desplegarse una pantalla, de tal tipo que el usuario pueda ingresar un comentario luego de ver la información del mismo.

RQ-2.29 Todos los aceros que se encuentren en la lista especificada en el requisito RQ-2.14 y RQ-2.22, deben tener la posibilidad de mostrar comentarios que se hayan hecho de ellos en previas selecciones.

3. De la especificación de requisitos de la sección de diseño

RQ-3.1 El SW debe diseñar un acero para cementación en un engranaje, dadas determinadas especificaciones mecánicas y metalúrgicas.

RQ-3.2 Las especificaciones mecánicas y/o metalúrgicas necesarias para diseñar un acero son las mostradas en la tabla 9.

TABLA 9. ESPECIFICACIONES MECÁNICAS Y/O METALÚRGICAS PARA DISEÑAR UN ACERO.

PARÁMETRO	DESCRIPCIÓN	REQUISITO
Velocidad de enfriamiento en el núcleo	Describe la velocidad de enfriamiento en el radio de raíz o en el núcleo, ver glosario.	De RQ-3.3 a RQ-3.5
Porcentaje de carbono en el núcleo	Este será el contenido de carbono que tendrá el acero en el núcleo del diente.	De RQ-3.6 a RQ-3.7
Tamaño de grano	El tamaño de grano se refiere a un parámetro de la micro estructura del acero	De RQ-3.8 a RQ-3.9
Intervalo ó Valor mínimo de dureza en el núcleo	Se refiere a la dureza requerida en el núcleo del diente.	De RQ-3.10 a RQ-3.14
Velocidad de enfriamiento en el radio de raíz	Velocidad de enfriamiento en la raíz del diente.	De RQ-3.3 a RQ-3.5

RQ-3.3 La velocidad de enfriamiento debe ser un valor flotante.

RQ-3.4 La velocidad de enfriamiento es un valor que se debe dar en 1/16 de pulgadas o en milímetros.

RQ-3.5 La velocidad de enfriamiento es un valor que debe encontrarse entre [1.58,25.4] milímetros o [1,16] dieciseisavos de pulgada (1/16").

RQ-3.6 El valor de porcentaje de carbono en el núcleo debe ser de tipo flotante.

RQ-3.7 El valor de porcentaje de carbono en el núcleo debe ser escogido entre un intervalo de [0.10-0.25].

RQ-3.8 El valor del tamaño de grano deberá ser de tipo entero.

- RQ-3.9** El valor del tamaño de grano debe ser escogido entre un intervalo de [4-10].
- RQ-3.10** Se debe permitir ingresar la dureza como un intervalo o como un valor mínimo.
- RQ-3.11** La dureza como intervalo debe ser de tipo flotante.
- RQ-3.12** El Valor mínimo de dureza debe ser un número de tipo flotante.
- RQ-3.13** Al momento de ingresar los parámetros para realizar un nuevo diseño, se debe especificar si se desea ingresar la dureza como un intervalo o como un valor mínimo.
- RQ-3.14** La dureza se debe ingresar en unidades Rockwell C.
- RQ-3.15** Se debe calcular la dureza inicial (IH) del núcleo usando el contenido de carbono especificado en el requisito RQ-3.6. (ver [Anexo E](#)).
- RQ-3.16** Se debe calcular la relación dureza inicial sobre dureza en el núcleo. (IH/DH).
- RQ-3.16.1** Para el caso en que la dureza en el núcleo se haya ingresado como un intervalo, se debe calcular el IH/DH como un intervalo.
- RQ-3.17** Se debe calcular el diámetro crítico ideal base (Dib) de acuerdo a la velocidad de enfriamiento especificada en el RQ-3.3 y a la relación IH/DH según el requisito RQ-3.16 (ver [Anexo F](#)).
- RQ-3.18** Para el caso en que la dureza en el núcleo se haya ingresado como un intervalo, se debe calcular el Dib como un intervalo.
- RQ-3.19** Luego de obtener el Dib, se debe obtener el factor multiplicador del carbono con la ecuación²⁸

$$D_i^o = \sum_{l=0}^3 \beta_l (\%C)^l$$

- RQ-3.20** Se debe calcular el factor multiplicador para el porcentaje de cada uno de los elementos aleantes, a través de la ecuación.

$$MF_{xi} = \sum_{l=0}^3 \gamma_l (\%x)^l$$

- RQ-3.21** Para encontrar el porcentaje de cada uno de los elementos aleantes, se debe iterar entre los siguientes intervalos y en el orden establecido por la siguiente tabla 10.

TABLA 10. INTERVALOS DE ITERACIÓN PARA LOS ELEMENTOS ALEANTES.

ELEMENTO	MIN	MAX	PASO DE ITERACION
Mn	0.3	1.4	0.01
Si	0.15	0.35	0.01
Cr	0.02	1.5	0.01
Mo	0.01	0.6	0.01

²⁸ TARTAGLIA, J. M.; ELDIS, G.T. "CORE HARDENABILITY CALCULATIONS FOR CARBURIZING STEELS". METALLURGICAL TRANSACTIONS A. VOLUME 15A. June 1984. 1179p

Ni	0.01	3.75	0.01
Bo	0.0005	0.003	0.0001

RQ-3.22 Calcule el Dib. experimental a través de la siguiente fórmula

$$D_{ib} = D_i^o * MF_{Mn} * MF_{Si} * MF_{Cr} * MF_{Mo} * MF_{Ni}$$

$$D_{ib} = D_i^o * MF_{Mn} * MF_{Si} * MF_{Cr} * MF_{Mo} * MF_{Ni} * MF_B \text{ Para aceros al Boro.}$$

RQ-3.23 Un acero con los porcentajes de carbono y de elementos aleantes dado, será adecuado si cumple que Dib. obtenido por el **RQ-3.22** está contenido en el intervalo del $[Dib - Dib + 0.08^{29}]$, donde Dib. fue obtenido del **RQ-3.17**. para cuando la dureza del núcleo (DH) haya sido dada como un valor mínimo.

RQ-3.24 Un acero con los porcentajes de carbono y de elementos aleantes dado, será adecuado si cumple que Dib. obtenido por el **RQ-3.22** está contenido en el intervalo del $[DibMin - DibMax]$, donde Dib. fue obtenido del **RQ-3.17**. para cuando la dureza del núcleo (DH) haya sido dada como un intervalo.

RQ-3.25 Cada composición que cumpla con el requisito **RQ-3.23** o **RQ-3.24** será adecuada, y debe ser mostrada al operario en orden de aparición.

RQ-3.26 El operario debe tener la opción de si desea obtener un acero al Boro o no para el diseño que se desee hacer.

RQ-3.27 Se debe calcular y mostrar al operario el Diámetro crítico ideal de la capa cementada Dic. a través de la velocidad de enfriamiento de la raíz, de la manera explicada en el **RQ-2.23**

4.2 Arquitectura del software.

Selector es un Software que tiene tres procesos fundamentales a saber, Selección, Postselección y Diseño de aceros (ver [Especificación de requerimientos](#)), y está compuesto por tres elementos básicos, una base de datos, un manejador³⁰ y un archivo de ayuda, que unidos, proporcionan toda la interactividad propia de la herramienta (ver [objetivos específicos](#) y [Figura 8](#)). A continuación se desglosan las características principales de cada una de estos elementos.

4.2.1 Base de datos.

La base de datos de Selector es la parte del sistema que se encarga de almacenar toda la información requerida por la herramienta para su funcionamiento, en ella está recopilada la información tabular que es necesaria para los procesos de selección y diseño, así como toda la referente a los aceros estándar.

²⁹ 0.08" es aproximadamente 2mm.

³⁰ Se conoce como manejador al programa principal, sin embargo, un manejador o *driver* es una herramienta software que consulta, modifica o procesa la información que está contenida en una o varias bases de datos.

El archivo de base de datos es consultado frecuentemente por el manejador, cuando se está ejecutando alguna de las tres funcionalidades principales de Selector, por ello fue requerido un DBMS (Data base management system) que proporcionara una velocidad de respuesta adecuada para tal operación. El DBMS que se escogió para tal fin es conocido como Firebird™ el cual es una herramienta gratuita³¹ basada en el código fuente liberado por Inprise Corporation (conocida también como Borland Software Corporation, la cual se hizo popular por la creación de plataformas de desarrollo como Borland Pascal, Borland C++ y actualmente por Delphi, C++ Builder y Octane) bajo la licencia pública de InterBase v1.0 en julio de 2000.

Firebird™ es una base de datos relacional que ofrece muchas de las características especificadas por ANSI SQL-92 que se puede ejecutar en plataformas Linux™ Windows™ y una amplia variedad de Unix™. Firebird™ ofrece excelente manejo de concurrencia, alto desempeño y un fuerte lenguaje para el soporte de procedimientos almacenados, y *triggers*. Estas características han sido usadas en la producción de sistemas DBMS desde 1981³².

Además por ser basado en Interbase, Firebird hereda las principales características de este DBMS como el manejo de transacciones, consistencia de datos usando la actualización y el borrado en cascada, y un manejo estructurado de paquetes cortos para disminuir la congestión de la red.

Aunque, Selector se ha diseñado para ser ejecutado local en un computador, la implementación del sistema se hizo bajo la arquitectura cliente/servidor, para esto, fue requerido un DBMS que proporcionara tales características. Debido a esta razón, y por la necesidad de usar un DBMS consistente y rápido que implementara el lenguaje de los procedimientos almacenados y los *triggers*, la selección se hizo por Firebird™, que además es gratuito.

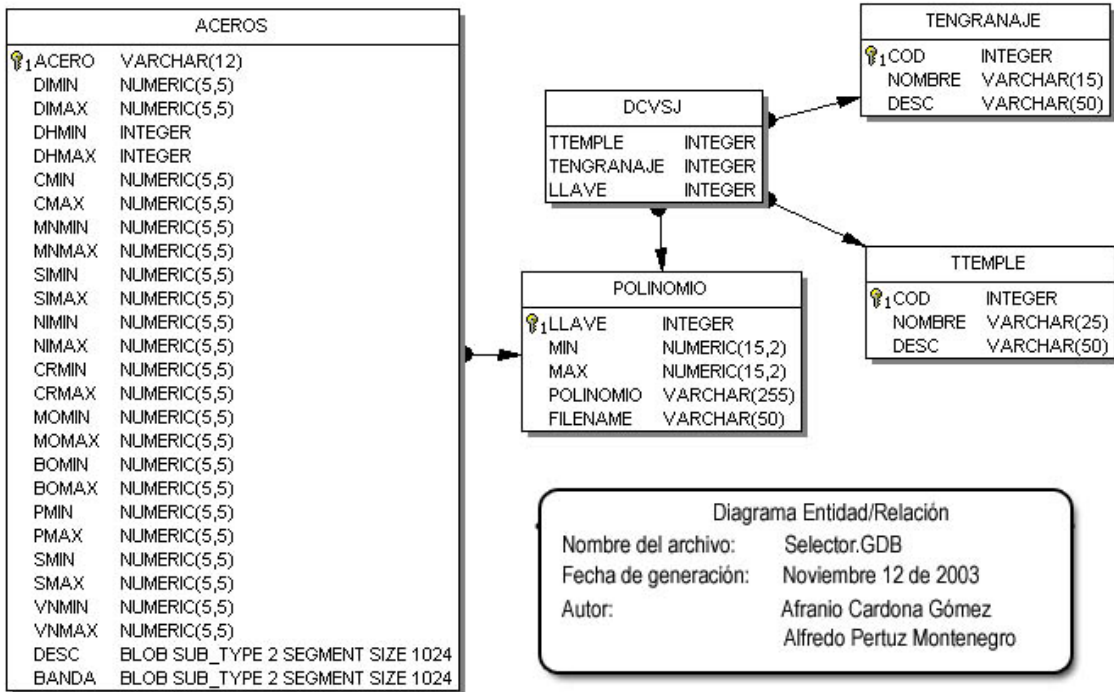
4.2.2 Diseño de la base de datos.

A continuación se muestra el diagrama entidad relación obtenido para la base de datos de Selector, en él se muestran las tablas, los campos que se encuentran en la misma y las relaciones entre las tablas.

³¹ FireBird™ puede ser descargado desde la siguiente dirección <http://firebird.sourceforge.net> en la sección de descargas (*Download*).

³² Basado en el artículo FireBird™ Relational Database for the new millennium. <http://firebird.sourceforge.net>

Figura 6. Diagrama entidad relación de la base de datos de Selector.



El anterior diagrama de entidad relación, fue obtenido a partir del archivo de base de datos Selector.GDB y usando la opción de ingeniería inversa que proporciona la herramienta Designer incluida en el software IBEExpert 2.5.0.49³³

Las tablas están organizadas de la siguiente manera.

- Tabla Polinomio. Este es el lugar en donde se encuentra almacenada toda la información perteneciente a las gráficas y a las tablas que fueron requeridas por Selector, para su funcionamiento. Para mostrar cómo se encuentra organizada la información, suponga el siguiente polinomio de segundo orden:

$$P(x) = x^2 + 2x + 3$$

obtenido a través de un ajuste polinomial de mínimos cuadrados, con ayuda de la herramienta auxiliar XLnz.ocx³⁴ para los siguientes puntos:

³³ IBEExpert 2.5.0.49 *trial* puede ser descargada en forma gratuita desde la dirección <http://www.ibexpert.com>

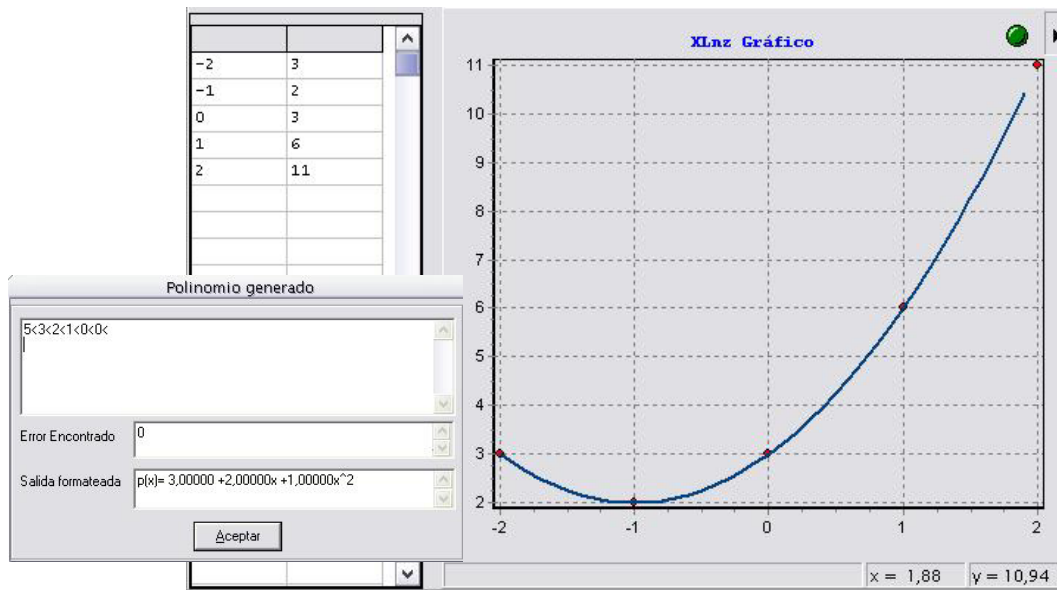
³⁴ La Herramienta XLnzIII.ocx es una librería desarrollada, como apoyo para la obtención de información en forma de polinomios, ingresada a través de los puntos conocidos en una tabla. Esta librería ha sido escrita en forma de archivo *.ocx con el propósito de hacerla independiente de la plataforma de desarrollo.

TABLA 11. PUNTOS DE UN POLINOMIO DADO.

X	P(X)
-2	3
-1	-2
0	3
1	6
2	11


A continuación, se ilustra en la [Figura 7](#) la herramienta XlnzIII.ocx para el polinomio.

Figura 7. Herramienta XlnzIII.ocx.




El resultado obtenido a través de XlnzIII.ocx es un polinomio con el siguiente formato: 5<3<2<1<0<0<. En donde el primer número especifica el total de coeficientes que tiene el polinomio, y los demás representan coeficientes del mismo en orden ascendente.


La información que se almacena en cada registro de la tabla polinomio está organizada de la siguiente manera:

	CAMPO	TIPO DE DATO	TAMAÑO	DESCRIPCIÓN
	Llave	Entero <i>integer</i>	Entero de 64 bit	Aquí se almacena un identificador autonumérico único que representa la llave primaria de la tabla.
	MIn	Numérico <i>Numeric</i>	15 Bytes de parte entera y 2 decimales de precisión	En este lugar se almacena el primer término del intervalo, para el cual es válido el polinomio encontrado, para el caso del ejemplo, este valor sería de -2
	Max	Numérico <i>numeric</i>	15bytes de parte entera y 2 decimales de precisión	En este campo se almacena el segundo termino del intervalo, para el cual es válido el polinomio encontrado. para el caso 2
	Polinomio	Cadena variable <i>varchar</i>	255 Bytes	En este campo se guarda, el polinomio con el formato especificado por XlnzIII.ocx
	FileName	Cadena variable <i>varchar</i>	50 Bytes	Este es un campo opcional que especifica el nombre del archivo *.lnz en donde está almacenada la información de los puntos con los que fue obtenido el polinomio.

Al final, para este ejemplo, la información del registro quedaría de la siguiente manera.

	LLAVE	MIN	MAX	POL	FILENAME
1		-2	2	5<3<2<1<0<0<	

- Tabla Acero: Este es el lugar en que se encuentra almacenada la información de cada acero, desde su composición química hasta sus bandas de templeabilidad (ver Sección 4.1 Especificación de requerimientos, RQ-1.10 y RQ-1.13). La información está almacenada de la siguiente manera.


	CAMPO	TIPO DE DATO	TAMAÑO	DESCRIPCIÓN
	Acero	Cadena variable <i>varchar</i>	12 Bytes	En este campo, se almacena el nombre el nombre del acero, tal cual es conocido en los estándares. Este campo sirve de llave primaria,

				dado que su nombre es inmodificable.
	DiMin	Numérico <i>Numeric</i>	5 Bytes de parte entera y 5 decimales de precisión	En este lugar se almacena el primer término del intervalo para el diámetro crítico ideal del acero
	DiMax	Numérico <i>Numeric</i>	5 Bytes de parte entera y 5 decimales de precisión	En este lugar se almacena el segundo término del intervalo para el diámetro crítico ideal del acero
	DHMin	Entero <i>integer</i>	Entero de 64 bits	En este lugar se almacena un entero que representa el valor de la llave foránea de la tabla polinomio en donde esta almacenado el polinomio representativo para la banda mínima de templabilidad.
	DHMax	Entero <i>integer</i>	Entero de 64 bits	En este lugar se almacena un entero que representa el valor de la llave foránea de la tabla polinomio en donde esta almacenado el polinomio representativo para la banda máxima de templabilidad.
	CMin	Numérico <i>Numeric</i>	5 Bytes de parte entera y 5 decimales de precisión	En este lugar se almacena el mínimo valor permisible de Carbono para este acero
	CMax	Numérico <i>Numeric</i>	5 Bytes de parte entera y 5 decimales de precisión	En este lugar se almacena el máximo valor permisible de Carbono para este acero
	MnMin	Numérico <i>Numeric</i>	5 Bytes de parte entera y 5 decimales de precisión	En este lugar se almacena el mínimo valor permisible de Manganeso para este acero
	MnMax	Numérico <i>Numeric</i>	5 Bytes de parte entera y 5 decimales de precisión	En este lugar se almacena el máximo valor permisible de Manganeso para este acero
	SiMin	Numérico <i>Numeric</i>	5 Bytes de parte entera y 5 decimales de precisión	En este lugar se almacena el mínimo valor permisible de silicio para este acero
	SiMax	Numérico <i>Numeric</i>	5 Bytes de parte entera y 5 decimales de precisión	En este lugar se almacena el máximo valor permisible de silicio para este acero

	NiMin	Numérico <i>Numeric</i>	5 Bytes de parte entera y 5 decimales de precisión	En este lugar se almacena el mínimo valor permisible de Níquel para este acero
	NiMax	Numérico <i>Numeric</i>	5 Bytes de parte entera y 5 decimales de precisión	En este lugar se almacena el máximo valor permisible de Níquel para este acero
	CrMin	Numérico <i>Numeric</i>	5 Bytes de parte entera y 5 decimales de precisión	En este lugar se almacena el mínimo valor permisible de Crmo para este acero
	CrMax	Numérico <i>Numeric</i>	5 Bytes de parte entera y 5 decimales de precisión	En este lugar se almacena el máximo valor permisible de Cromo para este acero
	MoMin	Numérico <i>Numeric</i>	5 Bytes de parte entera y 5 decimales de precisión	En este lugar se almacena el mínimo valor permisible de Molibdeno para este acero
	MoMax	Numérico <i>Numeric</i>	5 Bytes de parte entera y 5 decimales de precisión	En este lugar se almacena el máximo valor permisible de Molibdeno para este acero
	BoMin	Numérico <i>Numeric</i>	5 Bytes de parte entera y 5 decimales de precisión	En este lugar se almacena el mínimo valor permisible de Boro para este acero
	BoMax	Numérico <i>Numeric</i>	5 Bytes de parte entera y 5 decimales de precisión	En este lugar se almacena el máximo valor permisible de Boro para este acero
	PMin	Numérico <i>Numeric</i>	5 Bytes de parte entera y 5 decimales de precisión	En este lugar se almacena el mínimo valor permisible de Fósforo para este acero
	PMax	Numérico <i>Numeric</i>	5 Bytes de parte entera y 5 decimales de precisión	En este lugar se almacena el máximo valor permisible de Fósforo para este acero
	SMin	Numérico <i>Numeric</i>	5 Bytes de parte entera y 5 decimales de precisión	En este lugar se almacena el mínimo valor permisible de Azufre para este acero
	SMax	Numérico <i>Numeric</i>	5 Bytes de parte entera y 5 decimales de	En este lugar se almacena el máximo valor permisible de Azufre para este acero


			precisión	
	VnMin	Numérico <i>Numeric</i>	5 Bytes de parte entera y 5 decimales de precisión	En este lugar se almacena el mínimo valor permisible de Vanadio para este acero
	VnMax	Numérico <i>Numeric</i>	5 Bytes de parte entera y 5 decimales de precisión	En este lugar se almacena el máximo valor permisible de Vanadio para este acero
	Desc	<i>Blob</i>	1024 Bytes	En este lugar se almacena un bloque de texto, en donde se encuentran aportes realizados por distintas personas expertas, características u otro tipo de información adicional que se desee para el acero.
	Banda	<i>Blob</i>	1024 Bytes	En este campo se guarda una imagen de la banda de Templabilidad del acero.

- Tabla TEngranaje: En esta tabla se almacenan los tipos de engranajes, especificados en el requisito RQ-2.19.4.1 (ver [Sección 4.1 Especificación de requerimientos](#)). La tabla se encuentra organizada de la siguiente manera.

	CAMPO	TIPO DE DATO	TAMAÑO	DESCRIPCIÓN
	 COD	Entero <i>integer</i>	Entero de 64 bit	Aquí se almacena un identificador autonumérico único que representa la llave primaria de la tabla.
	Nombre	Cadena variable <i>varchar</i>	15 Bytes	En este lugar se almacena el nombre con el que es conocido el tipo de engranaje.
	Desc	Cadena variable <i>varchar</i>	50 Bytes	En este lugar se almacena información adicional del tipo de engranaje.

- Tabla TTemple: En esta tabla se almacenan los tipos de temple, especificados en el requisito RQ-2.19.4.5 (ver [Sección 4.1 Especificación de requerimientos](#)). La tabla se encuentra organizada de la siguiente manera.

	CAMPO	TIPO DE DATO	TAMAÑO	DESCRIPCIÓN
--	-------	--------------	--------	-------------

	COD	Entero <i>integer</i>	Entero de 64 bit	Aquí se almacena un identificador autonumérico único que representa la llave primaria de la tabla.
	Nombre	Cadena variable <i>varchar</i>	25 Bytes	En este lugar se almacena el nombre con el que es conocido el tipo de temple.
	Desc	Cadena variable <i>varchar</i>	50 Bytes	En este lugar se almacena información adicional del tipo de temple.

- Tabla DCVSJ (Diámetro crítico vs. Jominy): Esta tabla almacena la información especificada en el requisito RQ-2.19.4. (ver [Sección 4.1 Especificación de requerimientos](#)). La información de esta tabla se encuentra organizada de la siguiente manera.

	CAMPO	TIPO DE DATO	TAMAÑO	DESCRIPCIÓN
	TTemple	Entero <i>integer</i>	Entero de 64 bit	Aquí se almacena el valor de la llave foránea de la tabla TTemple, para el temple del registro
	TEngranaje	Entero <i>integer</i>	Entero de 64 bit	Aquí se almacena el valor de la llave foránea de la tabla TEngranaje, para el engranaje del registro
	LLave	Entero <i>integer</i>	Entero de 64 bits	En este lugar se almacena un entero que representa el valor de la llave foránea de la tabla polinomio en donde esta almacenado el polinomio representativo para la gráfica.

Como se puede observar, esta tabla es una entidad débil que no posee llave primaria, por tanto, la integridad de la tabla está dada a través de una restricción de unicidad *unique constraint*.

4.2.3 Plataforma de desarrollo

La plataforma de desarrollo que se usó, para la programación del manejador, fue Delphi™ 7.0 Enterprise. (ver [Sección 3.2.1 Delphi y su historia](#)).

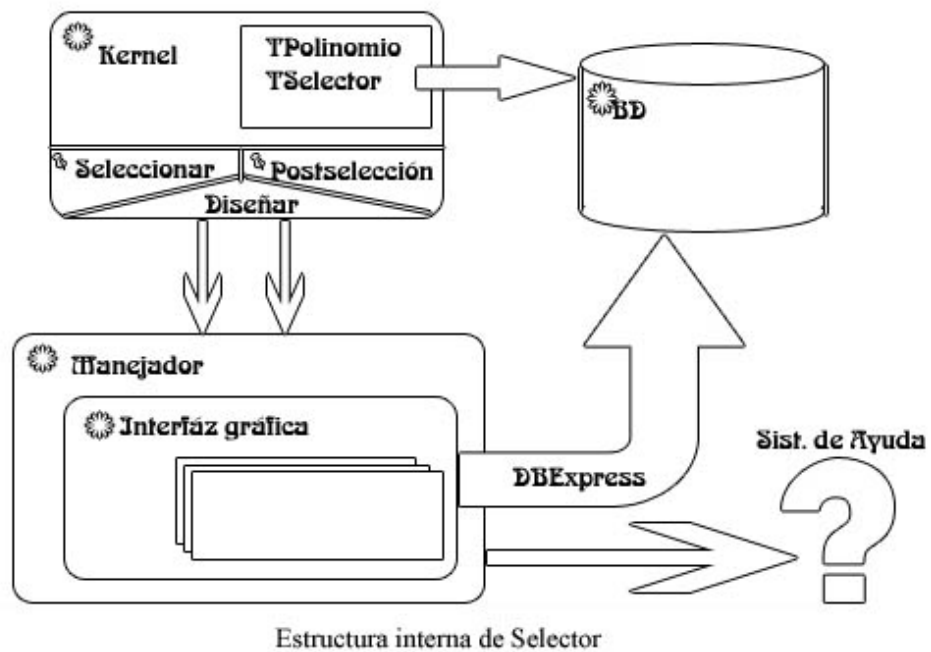
Esta plataforma de desarrollo fue seleccionada para escribir el manejador, debido a su creciente popularidad, a la facilidad de su sintaxis, a su tecnología basada en objetos y eventos (*visual object pascal*), pero sobre todo, a la

gran gama de componentes que vienen incluidos en la versión enterprise, que permiten una conectividad sencilla para casi cualquier DBMS popular en la Internet.

4.2.4 Estructura interna del software

Estructuralmente Selector 1.0 se encuentra organizado a través de cinco grandes módulos, el *kernel*, la base de datos, el manejador, el sistema de ayuda y el módulo de datos. A continuación se muestra un gráfico que esquematiza visualmente estos módulos.

Figura 8. Estructura interna del software.



La arquitectura de la base de datos se expuso en la sección Diseño de la base de datos, explicado anteriormente.

El *kernel*, es una unidad de Delphi que dentro del proyecto se conoce como *USelector.pas*, en ella se hacen todas las operaciones fundamentales del software como lo es el seleccionar, postseleccionar o diseñar un acero. *USelector.pas* también implementa dos objetos, el primero que fue llamado *TPolinomio* y el segundo *TSelector*.

TPolinomio es el objeto encargado de la comunicación entre la base de datos y más exactamente entre la tabla polinomio y el manejador. Para explicar más profundamente las funciones que presta este objeto, se muestra a continuación la implementación del mismo (ver [Figura 9](#). Implementación de *TPolinomio*).

Como se puede observar en la parte pública de la clase, se encuentran las variables *Llave*, *Min*, *Max*, *Pol* y *FileName*. Estas variables permiten al objeto almacenar en su interior un registro de la tabla Polinomio explicada en la sección [diseño de la base de datos](#). Entre las funciones principales que tiene este objeto está *SetValues* que es un procedimiento sobrecargado. En la primera versión se pasan manualmente los valores *Min*, *Max*, *Pol* y *FileName*. Básicamente lo que se pretende con este procedimiento es llenar el objeto de forma manual.

Sin embargo, la principal ventaja de este procedimiento, se presenta en su segunda versión, en ella se reciben como parámetro un *TClientdataset*, que es objeto que almacena localmente el contenido de una tabla de la base de datos y que además implementa en él funciones muy importante como el filtro por campo entre otras tantas. El otro parámetro que recibe el procedimiento *SetValues*, es la llave principal de la tabla polinomio, esta función, busca dentro de la base de datos el registro que coincida con dicha llave y guarda en sus variables locales principales el contenido del registro, haciendo que la consulta a la base de datos se haga una sola vez.

El procedimiento *Putvalues*, recibe al igual que el anterior una variable del tipo *TClientdataset* que apunta de igual manera a la tabla polinomio de la base de datos, este procedimiento permite al objeto *TPolinomio*, guardar su contenido en la base de datos, a modo inserción o a modo edición para el registro en que coincida la variable llave con el campo llave del mismo, para esto, se pasa el parámetro *InsertMode*, *true* para inserción y *false* para edición.

Figura 9. Implementación de *TPolinomio*

```
//-----  
TPolinomio = class  
  private  
    _Cargado: boolean;  
    function GetCargado(): boolean;  
  public  
    Llave: AnsiString;  
    Min: AnsiString;  
    Max: AnsiString;  
    Pol: AnsiString;  
    FileName: AnsiString;  
    constructor Create();  
    procedure SetValues(Min,Max,Pol,FileName: AnsiString); overload;  
    procedure SetValues(Llave: AnsiString; DataSet: TClientDataSet); overload;  
    procedure ReSet();  
    procedure Dibujar(Canvas: TChart; Titulo,Left,Botton: AnsiString; Serie: AnsiString='');  
    procedure PutValues(DataSet: TClientDataSet; InsertMode: boolean=true);  
    function Extraer(x: double): extended;  
    property Cargado: boolean read GetCargado;  
end;  
//-----
```

El procedimiento dibujar, permite mostrar visualmente el polinomio, a través del parámetro *Canvas* que es del tipo *TChart*³⁵, los demás parámetros de tipo *AnsiString* significan los mensajes que aparecerán en la posición superior, izquierda o inferior del gráfico respectivamente.

La función *extraer* recibe un parámetro de tipo flotante denominado *x* y retorna a su vez una variable flotante que representa el resultado de la función $y = P(x)$ en donde *P* es el polinomio que se encuentra almacenada en la variable *Pol*. En otras palabras, la función *extraer* decodifica el polinomio almacenado en la variable *Pol* y devuelve el valor obtenido para *x*.

En todo momento se puede saber si está o no cargado un polinomio a través de la propiedad de solo lectura *Cargado* que es de tipo *boolean*. Cuando se ingresa un polinomio, esta propiedad pasa a *true*. Para descargar un polinomio, se hace uso del procedimiento *Reset* que se encarga de vaciar el objeto colocando su propiedad *Cargado* en *false*.

Por otro lado, *TSelector* es un objeto que se encarga de almacenar la información necesaria para hacer una selección. En sus variables públicas se almacenan todos los parámetros requeridos para ejecutar las funciones principales del software. Las variables son públicas para que en todo momento puedan ser consultadas.

Los procedimientos que tiene implementado este objeto son *Asignar*, *SetValoreSeleccion* y *SetValorePostSeleccion*. El procedimiento *Asignar* recibe como parámetro una variable tipo *TSelector*. Este procedimiento toma y asigna las variables del objeto parámetro y los asigna a sí mismo.

El procedimiento *SetValoreSeleccion* toma los parámetros requeridos para hacer una selección, tales como *VEnf* (velocidad de enfriamiento), *DHMin* y *DHMax* (dureza del núcleo), *TOLI* y *TOLS* (tolerancia inferior y tolerancia superior). Este procedimiento se encuentra sobrecargado, en donde la primera versión recibe como parámetro los valores de tipo *double* y la segunda versión recibe los parámetros de tipo *AnsiString*.

³⁵ TChart, Este objeto, realmente es un componente *trial* distribuido gratuitamente dentro del paquete de Delphi™ a través del cual se puede dibujar una o varias series con algunas formas predefinidas. Para mayor información visite el sitio <http://www.teechart.com> o consulta la ayuda proporcionada por Delphi™.

```

//-----
TSelector = class(TObject)
public
  VEnf: double;
  DHMin, DHMax: double;
  TOLI, TOLS: integer;
  PCarbono: double;
  Temperatura: double;
  VEnfRR: double;
  TTemple: AnsiString;
constructor Create(); overload;
constructor Create(Value: TSelector); overload;
procedure Asignar(Value: TSelector);
procedure SetValoreSeleccion(VEnf: double = 0; DHMin: double=0; DHMax:
double=0; TOLI: integer=1; TOLS: integer=3); overload;
procedure SetValorePostSeleccion(PCarbono: double = 0; Temperatura: double=0;
VEnfRR: double=0; TTemple: AnsiString=''); overload;
procedure SetValoreSeleccion(VEnf: AnsiString = '0'; DHMin: AnsiString = '0';
DHMax: AnsiString = '0'; TOLI: AnsiString='1'; TOLS: AnsiString='3'); overload;
procedure SetValorePostSeleccion(PCarbono: AnsiString = '0'; Temperatura: AnsiString = '0';
VEnfRR: AnsiString = '0'; TTemple: AnsiString=''); overload;
end;
//-----

```

El procedimiento *SetValorePostSeleccion* toma los parámetros requeridos para hacer una postselección, tales como *PCarbono* (porcentaje de carbono), *Temperatura*, *VEnfRR* (velocidad de enfriamiento en el radio de raíz) y *TTemple* (tipo de temple). El procedimiento se encuentra sobrecargado al igual que el anterior, para recibir parámetros de tipo double o AnsiString.

La función *Seleccionar* se encarga de hacer la selección de un acero que se ajuste a las características técnicas especificadas. A continuación se muestra la implementación de esta función

```

//-----
function Seleccionar(CDSAcero,CDSPolinomio: TClientDataSet; J,DHMin: double; DHMax: double=0;
TolMin: integer=1; TolMax: integer=1; Errores: TStringList=nil): TStringlist;
//-----

```

Esta función recibe como parámetros dos *TClientDataSet*, *CDSAcero* y *CDSPolinomio*. En el primer *ClientDataSet*, se almacena toda la información de la tabla de aceros, como su composición química y los valores llaves de la tabla polinomio que especifican las bandas de templabilidad del acero, estos últimos están ubicados en el segundo *ClientDataSet*. Los siguientes parámetros como *J*, *DHMin*, *DHMax*, *TolMin* *TolMax*, especifican los parámetros técnicos sobre los cuales se hará la selección. Algunos de estos reciben parámetros por omisión como *DHMax* que en su valor de cero indica que la selección se hará buscando el cumplimiento de un requisito mínimo de dureza.

El último parámetro que se le pasa a la función es *Errores*, que es del tipo *TStringList* el cual retorna como resultado el valor absoluto de la diferencia obtenida entre la banda del acero y los valores de dureza requeridos. Por omisión este parámetro es nulo.

La función *Seleccionar* retorna como resultado la lista de los aceros que cumplen los requisitos especificados dentro de un objeto del tipo *TStringList*, ordenada descendientemente por los que más se acercan a los requisitos técnicos.

La función *PostSelección* se encarga de tomar una lista de aceros y aplicarles el algoritmo de Jatczak y Girardi especificado a partir del requisito RQ-2.18. (ver [Sección 4.1 Especificación de requerimientos](#)). Este algoritmo arroja como resultado los aceros más óptimos según las necesidades técnicas. A continuación se muestra la implementación de esta función

```
//-----
function PostSeleccion(vAceros: TStringList; CDSAcero,CDSPolinomio: TClientDataSet; PCarbono: double;
    Temperatura: integer; VEnf: double; TTemple: integer): TStringList;
//-----
```

Esta función recibe como primer parámetro *vAceros* que es del tipo *TStringList*. En ella se deben pasar todos los aceros a los cuales se les desee aplicar el método de Jatczak y Girardi. Este parámetro puede ser el resultado de la función *Seleccionar*.

También se encuentran los parámetros *CDSAcero* y *CDSPolinomio* del tipo *TClientDataSet*. El primero indica el lugar en donde está almacenada la información de la tabla de aceros, como su composición química; y los valores llaves de la tabla polinomio que especifican las bandas de templabilidad del acero, están ubicados en el segundo *TClientDataSet*.

El parámetro *PCarbono* indica el porcentaje de carbono que debe tener la capa cementada según las necesidades del cliente. El siguiente parámetro, *Temperatura*, indica el valor desde el cual se templará el engranaje ya cementado. Los valores permitidos son 927°C (1700°F), 855°C (1575°F) , 830°C(1525°F) y 800°C(1475°F).

El parámetro *VEnf* indica la velocidad de enfriamiento en el radio de raíz del engranaje, la cual ha debido ser previamente obtenida experimentalmente.

El último parámetro es el *TTemple*, los valores permitidos son como se muestran en la siguiente tabla , dados los valores de los tipos de temple.

TABLA 12. VALORES PERMITIDOS PARA LOS VALORES DEL PARÁMETRO TTEMPLE.

VALOR	TIPO DE TEMPLE
1	Temple directo'
2	Aceros normalizados o templados desde la temperatura de cementación y recalentados a

	927°C(1700°F)
3	'Aceros normalizados o templados antes de volverlos a endurecer con la temperatura especificada

El resultado de la función *PostSelección* es un *TStringList* que almacena los aceros que cumplen con el método de Jatczak y Girardi.

La función *Diseñar* se encarga de hacer el diseño de un acero que se ajuste a las características técnicas especificadas. A continuación se muestra la implementación de esta función

```
//-----
function Diseñar(CDSPolinomio: TClientDataSet; Jn, PCn, Jr: double; TG: integer; DHMin: double;
    DHMax: double=0; conBoro: boolean=false): TRDiseno;
//-----
```

Esta función recibe como parámetros *CDSPolinomio*. En este se almacena toda la información de la tabla de polinomios. Los siguientes parámetros como *Jn* (Velocidad de enfriamiento en el núcleo), *PCn* (Porcentaje de carbono en el núcleo), *Jr*, (Velocidad de enfriamiento en el radio de raíz) *TG* (Tamaño de grano), *DHMin* (Dureza mínima del núcleo), *DHMax* (Dureza máxima del núcleo), *conBoro* (diseñar aceros al boro o no), especifican los parámetros técnicos sobre los cuales se hará el diseño. Algunos de estos reciben parámetros por omisión como *DHMax* que en su valor de cero indica que el diseño se hará buscando el cumplimiento de un requisito mínimo de dureza.

La función *Diseñar*, retorna como resultado un objeto que contiene una lista de las composiciones químicas que cumplen los requisitos especificados, esta lista, está ordenada descendientemente por los aceros menos aleados hasta aquellos que en su composición intervienen todos los elementos aleantes.

La lista de los aceros que son retornados, está limitada hasta mil aceros

4.2.4.1 Manejador

Esta es la parte del software que interactúa con el usuario. Esta formado por los formularios escritos en Delphi. Se encarga de hacer la interfaz de las funciones implementadas en el *kernel*, de manejar los diferentes componentes que interactúan con la base de datos y de manipular el archivo de ayuda.

En el manejador se encuentra toda la estructura de validación de datos del software, los datos son verificados antes de ser ingresados al módulo de datos para posteriormente incluirlos en la base de datos y también son validados antes de pasar al *kernel* para ser procesados.

4.2.5 Esquema de conectividad.

Anteriormente se ha explicado cuales son las partes fundamentales del software y se ha hecho claridad en la función que tiene cada una de ellas; pues bien, en esta sección se explicará la manera como interactúan estas partes para formar el sistema Selector.

4.2.5.1 Conexión Base de datos - Manejador

Para la conexión de la base de datos con el manejador se utilizaron los componentes *dbExpress*, los cuales son distribuidos en el paquete Delphi™ 7.0 Enterprise. Este grupo de componentes recientemente nuevos, es la evolución de la Borland Database Engine.

Los componentes *dbExpress* fueron desarrollados para cumplir con los siguientes objetivos:

- Minimizar tamaño y uso de recursos del sistema.
- Maximizar velocidad.
- Proveer soporte para plataforma cruzada.
- Proveer fácil distribución.
- Crear manejadores de desarrollo fácil.
- Dar control al desarrollador sobre el uso de la memoria y el tráfico de la red.

Los manejadores *dbExpress* son pequeños y fáciles debido a que proveen funcionalidades muy limitadas. Cada manejador es implementado como una simple DLL en la plataforma Windows® o una simple librería de objetos compartidos en la plataforma Linux®. Un manejador *dbExpress* implementa cinco interfaces que ayudan a traer los datos, ejecutando expresiones SLQ y procedimientos almacenados, y devolviendo un cursor unidireccional de solo lectura para el resultado pedido. Sin embargo, cuando son usados con los *DataSetProvider* y los *ClientDataSet* para implementar la estrategia de datos que provee Borland, *dbExpress* le ofrece un gran conjunto de propiedades como el alto desempeño y un alto sistema de manejo de concurrencia para el trabajo con la información en las bases de datos de SQL.³⁶

4.2.5.2 Conexión Manejador - Kernel

Esta conexión se realiza a través de las funciones públicas que se encuentran implementadas dentro del *kernel*. El manejador es la parte del software que se encarga de proveerle a las funciones del *kernel* los parámetros necesarios para su operación. El esquema puede ser asimilado observando el siguiente gráfico.

³⁶ Tomado de Borland white paper September 2002 by Bill Todd, president of database Group, inc. for Borland software corporation. "MIGRATING BORLAND® DATABASE ENGINE APPLICATIONS TO *dbExpress*"

Figura 10. Conexión Manejador-Kernel.



Asuma que las flechas indican el flujo de datos. Como se puede observar, el manejador se encarga de transmitirle información al *kernel* para que esta sea procesada. Luego que se hayan hecho los cálculos requeridos por el *kernel*, este le transmite una vez más la información procesada al manejador para que este último la visualice al usuario. Finalmente, esta información será utilizada por el usuario el cual tomará las decisiones pertinentes de acuerdo a sus necesidades.

4.2.5.3 Conexión Manejador - Ayuda.

La conexión con el sistema de ayuda es implementada a través del menú de ayuda que viene dentro del manejador (ver [Ayuda en Selector sección 6.11](#)). El llamado al archivo se hace por medio de las funciones estándar de Delphi™7.0

4.3 Sistema de ayuda de Selector.

Selector es un programa de computadora que cumple con diversos objetivos que están representados en él a través de una serie de funcionalidades, esto hace que el sistema requiera de una guía que encamine y explique al operador el correcto uso para cada una de estas.

Por tal razón, se pensó en desarrollar un sistema ayuda como apoyo para el software que estuviese completamente integrado con él, permitiendo al operador hacer uso de ella en cualquier momento. Este mecanismo de ayuda es conocido en el ámbito internacional de programación como ayuda contextual.

Dado que el desarrollo del software fue realizado en Delphi 7.0 (ver sección [4.2.3 Plataforma de desarrollo](#)), el archivo de ayuda fue escrito como un archivo *.hlp, debido a que estos tipos de archivo permiten una completa integración con esta plataforma de desarrollo.

La ayuda fue realizada haciendo uso de la herramienta Microsoft Word 2000 para la escritura del archivo *.rtf, y compilada por Microsoft Help WorkShop versión 4.03.0002 por medio de un archivo *.hpl y *.cnt. El primero corresponde al Help Project, es decir, al proyecto de ayuda que es donde se unen los diversos archivos requeridos, se definen los valores numéricos que apuntan a las palabras claves o *Topic ID* de cada una de las páginas, y se diseñan las ventanas que serán mostradas al operador³⁷. El segundo tipo de archivo, es donde se

³⁷ EL GUILLE, Creación de Ayudas. [Online]. [España]: Guillermo 'guille' Som [16 de Julio de 2001]. Available from Internet: <URL: http://www.elguille.info/vb/vb_hlp.htm>

organiza el contenido de las páginas que serán visualizadas al operador, asignándole a cada una de ellas su respectivo *Topic ID*.

Para acceder al sistema de ayuda de Selector, se hace uso del menú principal, así como también de la tecla F1 para algunos temas de interés y del clic derecho del *mouse* para hacer aparecer un botón de “¿Qué es esto?” que finalmente despliega la ventana principal del sistema de ayuda mostrando los temas relacionados (para profundización del uso de la ayuda ver sección [6.11 Ayuda en Selector](#)).

4.4 Estándares del Software.

Para abordar el tema de los estándares del software, se comenzará hablando acerca del nombre de las variables, de la ubicación de las funciones dentro de las unidades y luego de los estándares visuales usados.

El siguiente estándar de nombre de variables fue implementado para las variables privadas que pertenecen a un objeto y que únicamente pueden ser aprovechadas a través de alguna propiedad del objeto. Estas variables son llamadas con el mismo nombre de la propiedad agregándole el guión de piso (_) como prefijo. Los procedimientos de escritura de la propiedad tienen igualmente el nombre de la propiedad con el prefijo *Set* y las funciones de lectura igual, pero con el prefijo *Get*, así como se ilustra en el siguiente fragmento de código.

```
type
  TFLnz = class(TForm)
    HainMenu1: TMainMenu;
    Aceptar1: TMenuItem;
    FXLnz1: TFXLnzIII;
    procedure FormCreate(Sender: TObject);
    procedure FormShow(Sender: TObject);
    procedure Aceptar1Click(Sender: TObject);
    procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
  private
    { Private declarations }
    ApplicationPath: AnsiString;
    _Archivo, _Camino, _Polinomio, _Min, _Max: AnsiString;
    function GetArchivo: AnsiString;
    procedure SetArchivo(Value: AnsiString);
    function GetCamino: AnsiString;
    procedure SetCamino(Value: AnsiString);
    function GetPolinomio: AnsiString;
    function GetMin: AnsiString;
    function GetMax: AnsiString;
  public
    { Public declarations }
    property Min: AnsiString read GetMin;
    property Max: AnsiString read GetMax;
    property Polinomio: AnsiString read GetPolinomio;
    property Archivo: AnsiString read GetArchivo write SetArchivo;
    property Camino: AnsiString read GetCamino write SetCamino;
    procedure ShowMe(Archivo: AnsiString; Camino: AnsiString='');
  end;
```

Observe la propiedad *Camino*, según lo que se explicó anteriormente, debe existir una variable privada con el nombre *_Camino*, un procedimiento llamado *SetCamino* y una función llamada *GetCamino*.

La implementación de los métodos de lectura y escritura de las propiedades se encuentran en las primeras líneas de la sentencia *implementation* del cuerpo de la unidad como se muestra en el siguiente fragmento de código.

```
implementation

uses Math;

{$R *.DFM}
//-----Propertyys-----//
procedure TFLnz.SetArchivo(Value: AnsiString);
var i: Integer;
begin
    if (Value<>'') then begin
        Value:=AnsiReplaceStr(Value,ExtractFileExt(Value),'');
        Value:=Value+'.lnz';
    end;
    _Archivo:=Value;
end;

procedure TFLnz.SetCamino(Value: AnsiString);
begin
    if (Value='') then Value:= ApplicationPath;
    _Camino:= Value+'\';
end;

function TFLnz.GetArchivo(): AnsiString;
begin
    result:=_Archivo;
end;

function TFLnz.GetCamino(): AnsiString;
begin
    result:=_Camino;
end;
```

Dentro de la implementación de los estándares visuales que se encuentran dentro de la aplicación, está el uso de una unidad denominada *Stdfrm*, del cual heredan los demás formularios sus características visuales.

StdFrm está compuesta por un panel que cubre toda la superficie del formulario y que contiene las características principales de los componentes que contiene, tales como el tipo de letra, el tamaño de la misma y su color. Además, contiene en su parte inferior una barra de estado en donde aparecen los "*Hits*" de los componentes.

La característica más notoria de *StdFrm* son sus dos barras de título. La primera se encuentra en la parte superior del formulario; esta barra contiene la etiqueta de título del formulario la cual sirve de guía al operador sobre la operación principal del formulario en que se encuentra. La segunda barra es de un color diferente a la primera y en ella se encuentran las instrucciones más importantes de la operación que realiza el software o notas también denominadas "*Tips*" de los escritores para el operador.

Dentro de los estándares no visuales usados en la aplicación y que son heredados desde la *StdFrm*, está el uso del método protegido *ShowMe* el cual se encarga de hacer las operaciones necesarias para preparar el formulario antes de mostrarlo al usuario. Además, el *StdFrm.ShowMe* tiene incluido el método necesario para mostrar el formulario.

Otro método protegido de la unidad *StdFrm* es *Validar*, el cual es virtual y abstracto. Esto quiere decir que dentro de *StdFrm* no es implementado, para poder usarlo, debe ser declarado como público en el formulario hijo e implementado. Aunque este método no tiene implementación en *StdFrm*, está creado con el fin de poder ser usado por los hijos al momento de validar cualquier información antes de ser ingresada en la base de datos.

Estos estándares fueron utilizados para hacer más fácil la interpretación del código por parte de programadores que tengan la necesidad de investigar a fondo la herramienta para hacer sus aportes en cuanto a la funcionalidad y en pro del mantenimiento y de la actualización de la misma. Con base a lo anterior y para facilitar aún más la lectura a través del código fuente, se usó la indentación y estandarización propuesta por Cary Jensen, miembro de la comunidad borland³⁸.

³⁸ <http://community.borland.com>

5. PRUEBAS DEL SOFTWARE

En este capítulo se describen las pruebas a las cuales fue sometida Selector basado en ejemplos planteados por profesionales en la materia. En su explicación, se detalla primero el proceso de selección a través del método tradicional y luego se emplea la herramienta software para obtener los respectivos resultados.

Como consecuencia y de acuerdo a la comparación de los resultados entre ambos métodos (el tradicional y la herramienta software), se concluye que Selector logra alcanzar los objetivos esperados gracias a su correcto comportamiento y a la información que obtuvo en su excelente desarrollo en las diferentes funciones.

A continuación se definirán las diversas pruebas de acuerdo a los ejemplos que se plantearon:

5.1 Prueba No.1

- a) Seleccionar el acero estándar para engranaje recto sólido de paso 6, con los siguientes requisitos de diseño: Dureza superficial = 60 a 65 Rc, espesor de capa cementada efectiva en la línea de paso = 0,030 a 0,050 pulgadas(0,8 a 1,3 mm) a 50 Rc mínima. Dureza en el núcleo del diente = 34 a 44 Rc. Velocidad de enfriamiento en el núcleo del diente $J = 2$. Templar en aceite agitado.
- b) Diseñar el acero para el engranaje anterior.

5.1.1 Selección del acero estándar.

El acero a seleccionar debe cumplir con la templabilidad en el núcleo (D_{lb}) como con la templabilidad en la capa cementada (D_{lc}).

Para $J=2$ se debe tener una dureza de 34-44 Rc en el núcleo del diente. Los aceros son:

Acero	HRC Mín.	HRC Máx.
8617H	33	44
5120H	34	46
4419H	33	45
4620H	35	45
9310H	35	43
94B15H	38	45
3310H	36	43
4815H	37	44

Todos los aceros listados cumplen con el requisito de dureza en el núcleo del diente de 34 a 44 Rc, excepto el 8617H y el 4419H que su dureza mínima 33 Rc está un punto por debajo de la dureza mínima requerida que es 34 Rc, pero esto es aceptable y se pueden seleccionar.

Resultados de Selector: Los siguientes son los aceros que cumplen con una velocidad de enfriamiento en el núcleo de J2 y una dureza en el núcleo de 34 a 44 Rc: 5120H, 4419H, 4620H, 8617H, 4118H, 4815H, 4817H, 6118H, 9310H, 3310H, 94B17H, 94B15H, DIN16MnCr5, 4720H, 4718H.

Cualquiera de los aceros (hallados manualmente) que se seleccione debe cumplir con la templabilidad en la capa cementada ($D_{ic} \text{ min} = 2.5 \text{ pulg.}$).

Escogiendo el Acero **SAE 8617H**, se verificará si tiene un $D_{ic} \text{ min} = 2.5 \text{ pulg.}$ Para realizar esto hay que utilizar el método de Jatzcak y Girardi.

1. Cementación del acero 8617H a 1700°F(927°C) y temple en aceite agitado volviendo a calentar el engranaje a 1575°F(855°C). Utilizando los factores multiplicadores de Jatzcak y Girardi para el contenido mínimo de los elementos aleantes, se tiene:

$$D_{ic} \text{ min} = MF_C * MF_{Mn} * MF_{Si} * MF_{Cr} * MF_{Mo} * MF_{Ni} \quad \text{Ecuación. 1 (ver [RQ-3.22](#))}$$

Mn = 0.6(MF=1.58); Si = 0.15 (MF= 1.10); Cr = 0.35(MF= 1.28); Mo = 0.15(MF = 1.17); Ni = 0.35(MF = 1.09)

(ver [Anexo B](#))

Reemplazando los valores en la Ecuación 1, se tiene: $2.5 = MF_C * 1.58 * 1.10 * 1.28 * 1.17 * 1.09 = 2.837 * MF_C$, de donde $MF_C = 2.5 / 2.837 = 0.881$. Teniendo en cuenta los factores multiplicadores para el Carbono de Jatzcak y Girardi (ver [Anexo A](#)), se ve que a este factor multiplicador de 0.88 le corresponde un %C = 0.92, luego calculando el $D_{ic} \text{ min}$ para el acero 8617H con un % C = 0.92 en la capa cementada, se tiene:

$D_{ic} \text{ min} = 0.88 * 1.58 * 1.10 * 1.28 * 1.17 * 1.09 = 2.496 \text{ pulg.}$ Este D_{ic} es aproximadamente igual que el requerido de 2.5 pulg., por lo tanto, sí sirve para fabricar el engranaje.

Resultados de Selector: Según los requerimientos de %C capa cementada = 0.92, Temperatura de temple = 1575°F, Velocidad de enfriamiento en el radio de raíz = J 4.13, Tipo de temple = Aceros normalizados o templados antes de volverlos a endurecer con la temperatura especificada; se tienen los siguientes aceros seleccionados: 4620H, 8617H, 4815H, 4817H, 94B17H, 94B15H, DIN20iMnCr5H.

Como es de notar, *Selector* incluye en sus resultados finales de selección el acero 8617H debido al cumplimiento del D_{ic} .

2. Si se escoge Cementación del acero SAE 8617H a 1700°F(927°C) y temple en aceite agitado volviendo a calentar el engranaje a 1525°F(830°C), se tiene:

$$MF_{Mn} = 1.58; MF_{Si} = 1.10; MF_{Cr} = 1.27; MF_{Mo} = 1.15; MF_{Ni} = 1.09 \quad \text{(ver [Anexo B](#))}$$

Reemplazando en la Ecuación 1 se tiene: $2.5 = MF_C * 1.58 * 1.10 * 1.27 * 1.15 * 1.09 = 2.766 * MF_C$ de donde, $MF_C = 2.5 / 2.766 = 0.903$. Por lo tanto, se puede escoger un contenido de carbono de 0.80% cuyo factor multiplicador es 0.86 para 1525°F(830°C) según los factores multiplicadores para el carbono de Jatczak y Girardi (ver [Anexo A](#)). Reemplazando ahora este factor multiplicador para el carbono de 0.86 en la Ecuación 1 tenemos:
 $D_{ic} \text{ min} = 0.86 * 1.58 * 1.10 * 1.27 * 1.15 * 1.09 = 2.379$ pulgadas. Este valor es notablemente menor que el requerido de 2.5 pulg., por lo tanto, el acero SAE 8617H no sirve para este tratamiento térmico.

Resultados de Selector: Según los requerimientos de %C capa cementada = 0.85, Temperatura de temple = 1525°F, Velocidad de enfriamiento en el radio de raíz = J 4.13, Tipo de temple = Aceros normalizados o templados antes de volverlos a endurecer con la temperatura especificada; se tienen los aceros: 4815H, 4817H, 94B17H, 94B15H, DINMnCr5. El acero 8617H no se encuentra entre ellos debido a que no alcanza a cumplir con el D_{ic} .

3. Si se escoge temple del engranaje en acero SAE 8617H desde la temperatura de cementación, 1700°F(927°C), utilizando los Factores Multiplicadores de Jatczak y Girardi para la composición química mínima, se tiene:

$MF_{Mn} = 1.56$; $MF_{Si} = 1.10$; $MF_{Cr} = 1.41$, $MF_{Mo} = 1.42$; $MF_{Ni} = 1.11$ (ver [Anexo B](#))

Reemplazando en la Ecuación 1, se tiene: $2.5 = MF_C * 1.56 * 1.10 * 1.41 * 1.42 * 1.11 = 3.81 * MF_C$; de donde, $MF_C = 2.5 / 3.81 = 0.656$. Si se escoge un factor multiplicador para el carbono superior a 0.656, se cumplirá con el $D_{ic} \text{ min}$ requerido, por lo tanto, se puede escoger $C = 0.60\%$ que tiene un factor multiplicador de 0.79 (ver [Anexo A](#)) y reemplazando en la ecuación 1: $D_{ic} \text{ min} = 0.79 * 1.56 * 1.10 * 1.41 * 1.42 * 1.11 = 3.012$ pulgadas. Este valor es bastante mayor que el requerido de 2.5 pulg., es decir, que sí cumple y sirve este tratamiento térmico para el acero SAE 8617H, pero como se está templando desde una temperatura muy alta, se corre el riesgo de que el engranaje se distorsione excesivamente o se agriete.

Resultados de Selector: Según los requerimientos de %C capa cementada = 0.60, Temperatura de temple = 1700°F, Velocidad de enfriamiento en el radio de raíz = J 4.13, Tipo de temple = Temple directo; se seleccionaron los siguientes aceros: 4620H, 8617H, 4815H, 4817H, 94B17H, 94B15H, DIN20MnCr5, 4720H.

4. Acero AISI 9310H. Este es uno de los aceros estándar seleccionados para el engranaje de la *Prueba No.1*, basado en la templabilidad del núcleo; ahora se mirará si cumple con el $D_{ic} \text{ min}$ requerido de 2.5 pulgadas. Escogiendo el tratamiento térmico de cementar a 1700°F(927°C) y volver a calentar el engranaje a 1475°F(800°C) para templarlo.

La composición química de este acero es: C = 0.07-0.13; Mn = 0.40-0.70; Si = 0.15-0.35; Cr = 1.0-1.45; Mo = 0.08-0.15; Ni = 2.95-3.55. Ahora, teniendo en cuenta la composición química mínima tenemos: Mn = 0.40; Si = 0.15; Cr = 1.0; Mo = 0.08 y Ni = 2.95.

Los factores multiplicadores para el contenido mínimo de los elementos aleantes son:

$MF_{Mn} = 1.35$; $MF_{Si} = 1.10$; $MF_{Cr} = 1.41$; $MF_{Mo} = 1.08$; $MF_{Ni} = 1.5$ (ver [Anexo B](#))

Usando la ecuación 1, se tiene: $2.5 = MF_C * 1.35 * 1.10 * 1.41 * 1.08 * 1.5 = 3.39 * MF_C$; donde $MF_C = 2.5 / 3.39 = 0.737$. A la temperatura de temple de 1475°F(800°C), este factor multiplicador corresponde a 0.90% de carbono. Como este es un acero alto en níquel puede escogerse 0.65% de carbono con un factor multiplicador de 0.795, dando en este caso un $D_{lc} \text{ min} = 2.69$ pulgadas, que es mayor que el requerido de 2.5 pulgadas.

Conclusión: El acero AISI 9310H se puede seleccionar para fabricar el engranaje de la *Prueba No.1* porque cumple con la templabilidad del núcleo y con la templabilidad de la capa cementada.

5.1.2 Diseño del acero

Para diseñar una composición especial para el engranaje de Paso 6 de la *Prueba No.1*, cuyos requisitos son: Dureza superficial de 60 a 65 Rc, espesor de capa cementada efectiva = 0.030 a 0.050 pulg.(0.8 a 1.3 mm) en la línea de paso y un rango de dureza en el núcleo de 34 a 44 Rc.

Los datos de entrada al software para el diseño del acero son: velocidad de enfriamiento en el núcleo, % carbono en el núcleo, tamaño de grano, velocidad de enfriamiento en el radio de raíz, dureza en el núcleo.

El Diámetro crítico Ideal del núcleo (D_{lb}) de una pieza cementada se determina utilizando los factores multiplicadores de Retana y Doane (ver [Anexo G](#) y [Anexo H](#)), tanto para el carbono como para los elementos aleantes.

Hay que determinar $D_{lb} \text{ min}$, $D_{lb} \text{ max}$ y $D_{lc} \text{ min}$. Se establece un %C = 0,17 a 0,23. Tamaño de grano del acero = 8. Para determinar $D_{lb} \text{ min}$ se toma el porcentaje mínimo de carbono igual a 0,17. Por lo tanto, la dureza máxima(IH) = 42.5 Rc (ver [Anexo E](#)), la dureza a distancia(DH) = 34(se toma la mínima), la velocidad de enfriamiento en el núcleo J=2. Luego $IH/DH = 42.5/34 = 1.25$. De esta manera, se tiene un **$D_{lb} \text{ min} = 0.98$ pulg.(24.89 mm)** (ver [Anexo F](#)).

Cálculo del $D_{lb} \text{ max}$: Se toma %C max = 0.23, IH = 46 Rc (ver [Anexo E](#)), DH = 44 Rc; entonces $IH/DH = 46/44 = 1.045$. **$D_{lb} \text{ max} = 2.1$ pulg(53 mm).**

Determinación del $D_{lc} \text{ min}$: Hay que determinar primero la velocidad de enfriamiento en distancia Jominy en la raíz del diente (ver [Figura 5](#)). Para un engranaje sólido de Paso 6, templado en aceite agitado, se obtiene un valor de J = 4, y así se logra determinar el D_{lc} para 1% de bainita (ver [Figura 4](#)), que puede considerarse como endurecimiento completo en la capa cementada. Este $D_{lc} \text{ min}$ es de 2.5 pulg. Con el $D_{lb} \text{ min} = 0,98$ pulg. podemos diseñar la composición química del acero, así:

Para C = 0.17% y tamaño de grano 8, el Factor Multiplicador es 0.32 (ver [Anexo G](#)). Usando la expresión

$$D_{ib} = MF_C * MF_{Mn} * MF_{Si} * MF_{Cr} * MF_{Mo} * MF_{Ni} \quad \text{Ecuación. 2 (ver [RQ-3.22](#))}$$

Para un D_{ib} mín = 0,98 pulg., se tiene: $0.98 = 0.32 * MF$ (aleantes) de donde, MF (aleantes) = $0.98 / 0.32 = 3.06$.

Se mantiene constante el contenido de carbono de 0.17% y el software va escogiendo el contenido de los elementos aleantes, comenzando por los más baratos y continuando con los más costosos, así: Manganeso, Silicio, Cromo, Molibdeno y Níquel.

1. Diseño de un primer acero para la Prueba No.1 con la siguiente composición química: C = 0.17%, Mn = 0.75%, Si = 0.30%, Cr = 0.5%, Mo = 0.01%; Ni = 0.01%. El D_{ib} mín para este acero se determina con la Ecuación 2, hallando previamente los respectivos factores multiplicadores, los cuales son:

$$MF_C = 0.32, MF_{Mn} = 2.2, MF_{Si} = 1.005, MF_{Cr} = 1.41, MF_{Mo} = 1.02, MF_{Ni} = 1.0$$

Reemplazando en la Ecuación 2, se tiene: $D_{ib} \text{ mín} = 0.32 * 2.2 * 1.005 * 1.41 * 1.02 * 1.0 = 1.017$ pulgadas.

Como el D_{ib} mín requerido es 0.98 pulgadas, esta composición química del acero satisface la templabilidad del núcleo. Ahora debe cumplir con la templabilidad de la capa cementada ($D_{ic} \text{ min}$). Para ello hay que utilizar el método de Jatzcak y Girardi.

Escogiendo temple directo desde la temperatura de cementación a 1700°F(927°C), se tienen los siguientes factores multiplicadores: $MF_{Mn} = 1.66$, $MF_{Si} = 1.24$, $MF_{Cr} = 1.67$ (ver [Anexo B](#)). Utilizando la Ecuación 1:

$$2.5 = MF_C * 1.66 * 1.24 * 1.67 = MF_C * 3.437; MF_C = 2.5 / 3.437 = 0.727$$

Para un C = 0.65% le corresponde un factor multiplicador de 0.82 (ver [Anexo A](#)) y calculando el $D_{ic} \text{ min}$ se tiene:

$$D_{ic} \text{ min} = 0.82 * 1.66 * 1.24 * 1.67 = 2.81 \text{ pulgadas.}$$

Este D_{ic} es mayor que el requerido de 2.5 pulg., por lo tanto esta composición química es satisfactoria para fabricar el engranaje de la Prueba No.1.

Conclusión: Este primer acero con la siguiente composición química, C = 0.17%, Mn = 0.75%, Si = 0.30%, Cr = 0.5%, Mo = 0.01%, Ni = 0.01% y con %C = 0.65 en la capa cementada, y templando directamente desde la temperatura de cementación, 1700°F(927°C) cumple completamente para ser seleccionado para fabricar el engranaje de Paso 6 de la Prueba No.1.

2. Diseño de un segundo acero para la Prueba No.1.

%C mínimo = 0.17, Factor multiplicador del carbono = 0.32, para tamaño de grano 8 (ver [Anexo G](#)).

Cálculo del D_{ib} mínimo:

$$D_{ib} = MF_C * MF_{Mn} * MF_{Si} * MF_{Cr} * MF_{Mo} * MF_{Ni} \Rightarrow 0.98 = 0.32 * MF(\text{aleantes}) \text{ donde}$$

$MF(\text{aleantes}) = 0.98 / 0.32 = 3.06$. Si se escoge la siguiente composición química: Mn = 1.15%, Si = 0.30%, se tienen los siguientes factores multiplicadores, $MF_{Mn} = 3.06$, $MF_{Si} = 1.0$. Reemplazando en la ecuación de D_{ib} mín

arriba, se tiene: $D_{ib} \text{ mín.} = 0.32 * 3.06 * 1.0 = 0.979$ pulgadas, el cual es igual al D_{ib} mín requerido.

Ahora se verificará si este acero cumple con la templabilidad de la capa cementada.

Cálculo de D_{ic} mínimo:

$$D_{ic} \text{ min} = MF_C * MF_{Mn} * MF_{Si} * MF_{Cr} * MF_{Mo} * MF_{Ni} \quad \text{Ecuación. 1 (ver [RQ-3.22](#))}$$

Se escoge temple directo desde la temperatura de cementación, 1700°F(927°C). Utilizando los factores multiplicadores de Jatzcak y Girardi, se tiene: $MF_{Mn} = 2.28$, $MF_{Si} = 1.24$ y reemplazando en la Ecuación 1 se tiene, $2.5 = MF_C * 2.28 * 1.24 = MF_C * 2.827$ donde $MF_C = 2.5 / 2.827 = 0.884$

Para un %C = 0.80 a 1700°F, le corresponde un factor multiplicador de 0.90 (ver [Anexo A](#)), el cual cumple con lo deseado. Reemplazando en Ecuación 1, se tiene: $D_{ic} \text{ min.} = 0.9 * 2.28 * 1.24 = 2.54$ pulg., el cual es igual al $D_{ic} \text{ min}$ requerido de 2.5 pulg.

Conclusión: Este segundo acero que podría considerarse como un acero al carbono, cumple completamente para seleccionarlo para fabricar el engranaje de Paso 6 de la *Prueba No.1*.

3. Diseño de un tercer acero para la *Prueba No.1*.

Se escoge la siguiente composición química, C = 0.17% mín., Mn = 0.9% mín., Si = 0.30% mín., Cr = 0.35% mín., y un tamaño de grano = 8.

Cálculo del D_{ib} mín. para este acero:

$$MF_C = 0.32, MF_{Mn} = 2.48, MF_{Si} = 1.0, MF_{Cr} = 1.24 \quad \text{(ver [Anexo H](#))}$$

$$D_{ib} \text{ mín} = 0.32 * 2.48 * 1.0 * 1.24 = 0.984 \text{ pulgadas. Luego cumple con el } D_{ib} \text{ mín} \text{ requerido de 0.98 pulg.}$$

Cálculo del D_{ic} mín para este acero: Escogiendo cementación a 1700°F(927°C) y temple a 1575°F(855°C):

$$MF_{Mn} = 1.86, MF_{Si} = 1.2, MF_{Cr} = 1.28 \quad \text{(ver [Anexo B](#))}$$

$$\text{Reemplazando en la Ecuación 1 para el } D_{ic} \text{ min: } 2.5 = MF_C * 1.86 * 1.2 * 1.28 = 2.8569 * MF_C \text{ donde } MF_C = 2.5 / 2.8569 = 0.875.$$

Ahora, este factor multiplicador de 0.875 a 1575°F, le corresponde un %C = 0.75 (ver [Anexo A](#)), luego, $D_{ic} \text{ min} = 0.875 * 1.86 * 1.2 * 1.28 = 2.499$ pulg., que es prácticamente igual al $D_{ic} \text{ min}$ de 2.5 pulgadas requerido. Para una mayor seguridad, se puede escoger un %C = 0.8, cuyo factor multiplicador es 0.9, dando un $D_{ic} \text{ min} = 2.57$ pulg.

Conclusión: El acero con composición química de C = 0.17% mín, Mn = 0.9% mín, Si = 0.30% mín, Cr = 0.35% mín, tamaño de grano = 8, %C = 0.8 en la capa cementada y con tratamiento térmico de cementación a 1700°F(927°C) y volviendo a calentar el engranaje desde 1575°F(855°C) para templarlo sí puede ser seleccionado para fabricar el engranaje de la *Prueba No.1*.

4. Diseño de un cuarto acero para la *Prueba No.1*.

Engranaje de Paso 6, Dureza superficial = 60 – 65 Rc, Dureza en el núcleo del diente = 34 – 44 Rc, espesor de capa cementada efectiva = 0.030 – 0.050 pulg.

Diseñando un acero al Carbono -Boro.

C = 0.17 % mínimo, tamaño de grano 8, Boro = 0.0005% mínimo, D_{ib} mín requerido = 0.98 pulg.(24.89 mm).

Cálculo del D_{ib} mín para este acero: $MF_C = 0.32$, Factor multiplicador del boro = B_f o $MF_B = 1 + 1.6(1.01 - \%C)$.
 $MF_B = 1 + 1.6(1.01 - 0.17) = 2.344$, $MF_C = 0.32$, entonces,

$$D_{ib} \text{ mín} = MF_C * MF_{Mn} * MF_{Si} * MF_B$$

$0.98 = 0.32 * MF(\text{aleantes}) * 2.344 = 0.750 * MF(\text{aleantes})$, donde $MF(\text{aleantes}) = 0.98/0.750 = 1.306$

Escogiendo %Mn = 1.0 y %Si = 0.3, se tienen los siguientes factores multiplicadores: $MF_{Mn} = 2.7$, $MF_{Si} = 1.0$, reemplazando en D_{ib} mín, se tiene:

$D_{ib} \text{ mín} = 0.32 * 2.7 * 1.0 * 2.344 = 2.02$ pulgadas(51.3 mm). Este D_{ib} mín es mayor que el requerido de 0.98 pulg., y por lo tanto cumple con la templabilidad en el núcleo.

Además, hay que determinar si este acero cumple con el D_{ic} mín = 2.5 pulg. en la capa cementada:

Se escoge cementación a 1700°F y volver a calentar a 1525°F(830°C) para temple y se hallan los factores multiplicadores para este tratamiento térmico (ver [Anexo A](#) y [Anexo B](#)).

Para Mn = 1.0%, $MF_{Mn} = 1.88$, para Si = 0.3%, $MF_{Si} = 1.19$, para un C = 0.8%, $MF_C = 0.86$, para este contenido de carbono y temple desde 1525°F, el Factor de boro $MF_B = 1.3$ (ver [Anexo D](#)). Reemplazando en la ecuación de D_{ic} mín, se tiene: $D_{ic} \text{ mín} = 0.86 * 1.88 * 1.19 * 1.3 = 2.501$ pulg.(63.5 mm). Este valor está por encima del requerido de 2.5 pulg., luego cumple con la templabilidad en la capa cementada.

Conclusión: El acero al Carbono-Boro, con C = 0.17% mín, Mn = 1.0% mín, Si = 0.3% mín, Boro = 0.0005% mín, C = 0.8% en la capa cementada, cementación a 1700°F y temple a 1525°F, cumple con la templabilidad en el núcleo y en la capa cementada, y por lo tanto se puede seleccionar para fabricar el engranaje de la *Prueba No.1*.

5.2 Prueba No.2

a) Seleccionar el acero para un engranaje sólido de paso 5 para un motor de máxima capacidad de un avión, con los siguientes requisitos de diseño y metalúrgicos: Dureza superficial = 60 a 63 Rc, espesor efectivo de capa cementada = 0,040 a 0,060 pulgadas(1,0 a 1,5 mm) a 50 Rc mínima en la línea de paso, Dureza en el núcleo del diente = 35 a 45 Rc. Microestructura en la superficie del diente: martensita, más una pequeña cantidad de austenita retenida; no debe estar presente bainita. Velocidad de enfriamiento en el núcleo del diente, J = 4. Templar en aceite agitado.

b) Diseñar el acero para el engranaje anterior.

5.2.1 Selección de un acero estándar.

Los aceros que a J4 tienen 35 – 45 Rc son:

Acero	HRC Mín.	HRC Máx.
9310H*	34	42

8627H	35	48
94B15H	36	44
4820H	38	46
DIN 20MnCr5	35	47(a J3.8)

*El acero 9310 es AISI, No SAE.

Resultados de Selector: Los siguientes son los aceros que cumplen con una velocidad de enfriamiento en el núcleo de J4 y una dureza en el núcleo de 35 a 45 Rc: 8627H, 4820H, 94B15H, 94B17H, 3310H, 9310H.

Cualquiera de los aceros que se seleccione tiene que cumplir además con la templabilidad en la capa cementada.

Determinación del D_{ic} mín requerido.

Para un Paso = 5, la velocidad de enfriamiento en la raíz del diente es J5 templando en aceite agitado (ver [Figura 5](#)) y el D_{ic} mín = 3.0 pulgadas (76.2 mm) (ver [Figura 4](#)).

Si se selecciona el **AISI 9310H**, entonces se procede a determinar su D_{ic} mín. La composición química mínima de este acero es: %C = 0.07, %Mn = 0.4, %Si = 0.15, % Cr = 1.0, %Mo = 0.08, %Ni = 2.95, %C en la capa cementada = 0.65. Si se escoge cementación desde 1700°F y luego temple desde 1525°F (830°C) los factores multiplicadores son: $MF_C = 0.81$ (ver [Anexo A](#)), $MF_{Mn} = 1.38$, $MF_{Si} = 1.1$, $MF_{Cr} = 1.54$, $MF_{Mo} = 1.08$, $MF_{Ni} = 1.49$ (ver [Anexo B](#)). Reemplazando en D_{ic} mín: D_{ic} mín = $0.81 \cdot 1.38 \cdot 1.1 \cdot 1.54 \cdot 1.08 \cdot 1.49 = 3.04$ pulg (77.2 mm). Este valor es superior al requerido de 3.0 pulg., luego el acero **9310H** sí se puede seleccionar para el engranaje de la *Prueba No.2*.

Si se selecciona el **94B15H**, entonces se procede a verificar si cumple con la templabilidad de la capa cementada. La composición química mínima es: %C = 0.12, %Mn = 0.7, %Si = 0.15, % Cr = 0.25, %Mo = 0.08, % Ni = 0.25, %B = 0.0005, %C en la capa cementada = 0.7. Se escoge cementación a 1700°F y luego temple desde 1525°F (830°C); los factores multiplicadores son: $MF_C = 0.83$ (ver [Anexo A](#)), $MF_{Mn} = 1.65$, $MF_{Si} = 1.1$, $MF_{Cr} = 1.18$, $MF_{Mo} = 1.08$, $MF_{Ni} = 1.05$ (ver [Anexo B](#)), $MF_B = 1.75$ (ver [Anexo D](#)). Reemplazando, se tiene D_{ic} mín = $0.83 \cdot 1.65 \cdot 1.1 \cdot 1.18 \cdot 1.08 \cdot 1.05 \cdot 1.75 = 3.52$ pulg (89.4 mm), el cual es mayor al requerido de 3.0 pulgadas.

Conclusión: Los aceros **AISI 9310H** y **SAE 94B15H** pueden seleccionarse para fabricar el engranaje de la *Prueba No.2*, porque cumplen tanto con la templabilidad del núcleo, como de la capa cementada.

Resultados de Selector: Según los requerimientos de %C capa cementada = 0.65, Temperatura de temple = 1525°F, Velocidad de enfriamiento en el radio de raíz = J 5.02, Tipo de temple = Aceros normalizados o templados antes de volverlos a endurecer con la temperatura especificada; se seleccionaron los siguientes aceros: 94B15H, 94B17H, 4820H.

5.2.2 *Diseño del acero para el engranaje de la Prueba No.2.*

Determinación del D_{1b} mínimo y D_{1b} máximo.

Cálculo de D_{1b} mínimo:

%C mínimo = 0.15, Tamaño de grano = 8, velocidad de enfriamiento en el núcleo J4, Dureza mínima en el núcleo = 35 Rc.

IH = 41.5 Rc, DH = 35 Rc, IH/DH = 41.5/35 = 1.185. Entonces D_{1b} mínimo = 2.0 pulg.(50.8 mm) (ver [Anexo F](#)).

Cálculo de D_{1b} máximo:

%C máximo = 0.21, IH = 45 Rc, DH = 45 RC, IH/DH = 45/45 = 1.0. Entonces el D_{1b} máximo = 4.9 pulg.(124.4 mm) (ver [Anexo F](#)).

Determinando la composición química que cumpla con el D_{1b} mínimo:

$MF_C = 0.29$ (ver [Anexo G](#))

$2.0 = 0.29 * MF(\text{aleantes}); MF(\text{aleantes}) = 2.0/0.29 = 6.89$

Escogiendo esta composición química, Mn = 1.0, Si = 0.3, Ni = 0.35, B = 0.0005. Los factores multiplicadores son: $MF_{Mn} = 2.7$, $MF_{Si} = 1.0$, $MF_{Ni} = 1.1$ (ver [Anexo H](#)), $MF_B = 2.376$ (donde $MF_B = 1 + 1.6(1.01 - 0.15) = 2.376$). Entonces, D_{1b} mínimo = $0.29 * 2.7 * 1.0 * 1.1 * 2.376 = 2.04$ pulgadas, el cual es mayor que el requerido de 2.0 pulg. Luego, cumple con la templabilidad en el núcleo.

Determinación de D_{1c} mínimo:

El D_{1c} mínimo requerido es de 3.0 pulg. Se escoge cementación a 1700°F y luego temple desde 1525°F(830°C). Se ensaya con la siguiente composición química mínima, Mn = 1.0, Si = 0.3, Ni = 0.35, B = 0.0005, C = 0.70 en la capa cementada. Los factores multiplicadores son: $MF_C = 0.83$ (ver [Anexo A](#)), $MF_{Mn} = 1.88$, $MF_{Si} = 1.19$, $MF_{Ni} = 1.09$ (ver [Anexo B](#)), $MF_B = 1.75$ (ver [Anexo D](#)).

D_{1c} mínimo = $0.83 * 1.88 * 1.19 * 1.09 * 1.75 = 3.54$ pulg(89.9 mm), el cual es mayor que el requerido de 3.0 pulg.

Conclusión: El acero con la composición química mínima, **C = 0.15, Mn =1.0, Si = 0.3, Ni = 0.35, B = 0.0005, con 0.70% de carbono en la capa cementada** y templando desde 1525°F, se puede seleccionar para fabricar el engranaje de la *Prueba No.2*.

5.3 Prueba No.3

a) Seleccionar el acero estándar para fabricar un engranaje sólido de paso 4 con los siguientes requisitos de diseño: Dureza superficial = 62 a 64 Rc, Dureza en el núcleo del diente = 30 a 45 Rc. Velocidad de enfriamiento en el núcleo del diente J = 4 . Espesor efectivo de capa cementada = 0,025 a 0,040 pulgadas(0,63 a 1,0 mm) a 50 Rc mínimo. Templar en aceite agitado.

b) Diseñar el acero para el engranaje anterior

5.3.1 *Selección de un acero estándar.*

Los aceros que a J4 en el núcleo del diente tienen de 30 – 45 Rc son:

Acero	HRC Mín.	HRC Máx.
8622H	30	44
4621H	30	44
8720H	30	42
4815H	30	42
4817H	32	44
4320H	32	43
9310H	34	42
94B15H	36	44
4718H	33	43
8625H	32	46
15B21H	30	44

Todos estos aceros cumplen con la templabilidad en el núcleo y se colocan en orden ascendente de acuerdo al costo: 15B21H, 8622H, 8625H, 8720H, 4621H, 4718H, 4320H, 4815H, 4817H, 94B15H, 9310H.

Resultados de Selector: Los siguientes son los aceros que cumplen con una velocidad de enfriamiento en el núcleo de J4 y una dureza en el núcleo de 30 a 45 Rc: 8625H, 4815H, 4817H, 15B21H, 8622H, 8822H, 8627H, 4028H, 4320H, 4621H, 8720H, 4718H, DIN16MnCr5, 9310H, 94B15H, 94B17H, 3310H, 4820H.

Para seleccionar finalmente el acero, este debe cumplir con la templabilidad en la capa cementada.

Determinación del D_{ic} mín requerido.

Para un engranaje sólido de Paso 4, la velocidad de enfriamiento en el radio de raíz del diente es J6 (ver [Figura 5](#)). Ahora, para un J = 6, el D_{ic} mín = 3.3 pulgadas (ver [Figura 4](#)).

Si se selecciona el **8622H**, entonces se debe determinar su D_{ic} mín. La composición química mínima es:

%C = 0.19, %Mn = 0.6, %Si = 0.15, %Cr = 0.35, %Mo = 0.15, %Ni = 0.35. Tamaño de grano = 7. Si se escoge temple directo desde la temperatura de cementación(1700°F) se tiene:

$MF_{Mn} = 1.56$, $MF_{Si} = 1.1$, $MF_{Cr} = 1.41$, $MF_{Mo} = 1.42$, $MF_{Ni} = 1.11$ (ver [Anexo B](#)), %C = 0.8 en la capa cementada, $MF_C = 0.9$ (ver [Anexo A](#)). Reemplazando en D_{ic} mín se tiene: $D_{ic} \text{ mín} = 0.9 * 1.56 * 1.1 * 1.41 * 1.42 * 1.11 = 3.43$ pulgadas(87.1 mm). Este valor es mayor que el requerido de 3.3 pulg.

Conclusión: El acero SAE **8622H** cumple completamente con la templabilidad en el núcleo y en la capa cementada, por lo tanto, puede ser seleccionado para fabricar el engranaje de la *Prueba No.3*.

Resultados de Selector: Según los requerimientos de %C capa cementada = 0.8, Temperatura de temple = 1700°F, Velocidad de enfriamiento en el radio de raíz = J 6.24, Tipo de temple = Temple directo; se seleccionaron los siguientes aceros: 8625H, 8622H, 8627H, DIN16MnCr5, 94B15H, 94B17H, 4820H. Como es de notar, Selector seleccionó el acero 8622H porque cumple con el D_{ic} .

5.3.2 Diseño del acero para el engranaje de la Prueba No.3.

%C = 0.15 a 0.21, tamaño de grano = 7.

Determinación del D_{lb} mínimo:

Para %C mínimo = 0.15, IH = 41.5 Rc, DH = 30 a J4, IH/DH = 41.5/30 = 1.383. Para esta relación a J4 le corresponde un D_{lb} mínimo = 1.48 pulg.(37.59 mm) (ver [Anexo F](#)).

Determinación del D_{lb} máximo:

Para un %C máx = 0.21, IH = 45 Rc, DH = 45, IH/DH = 45/45 = 1.0. D_{lb} máximo = 4.9 pulgadas(124.46 mm) (ver [Anexo F](#)).

Para %C mínimo = 0.15 y tamaño de grano = 7, el MF_C es igual a 0.3 (ver [Anexo G](#)), y reemplazando en la ecuación del D_{lb} mínimo, se tiene:

$1.48 = 0.3 * MF(\text{aleantes})$, donde $MF(\text{aleantes}) = 1.48/0.3 = 4.933$. Escogiendo una composición química de: Mn = 1.1, Si = 0.2, Cr = 0.3, Mo = 0.23; Ni = 0.3. Sus factores multiplicadores son: $MF_{Mn} = 2.94$, $MF_{Si} = 1.0$, $MF_{Cr} = 1.2$, $MF_{Mo} = 1.3$, $MF_{Ni} = 1.08$ (ver [Anexo H](#)). Reemplazando: $D_{lb} \text{ mínimo} = 0.3 * 2.94 * 1.0 * 1.2 * 1.3 * 1.08 = 1.485$ pulg.(37.72 mm). Este valor es igual al requerido, por lo tanto, cumple para la templabilidad del núcleo.

Determinación del D_{lc} mín para este acero:

El D_{lc} mín requerido es de 3.3 pulg. Entonces, $3.3 = MF(\text{del carbono de la capa cementada}) * MF(\text{aleantes})$.

Si se escoge cementar a 1700°F y temple a 1575°F(855°C), se tiene: $MF_{Mn} = 2.0$, $MF_{Si} = 1.14$, $MF_{Cr} = 1.24$, $MF_{Mo} = 1.3$, $MF_{Ni} = 1.07$ (ver [Anexo B](#)). Reemplazando, se tiene: $3.3 = MF_C * 3.93$, $MF_C = 3.3/3.93 = 0.839$, se escoge un %C = 0.70 con un $MF_C = 0.85$ (ver [Anexo A](#)). Reemplazando se tiene:

$D_{lc} \text{ mín} = 0.85 * 2.0 * 1.14 * 1.24 * 1.3 * 1.07 = 3.34$ pulg (84.8 mm), el cual es mayor que el requerido de 3.3 pulg.

Conclusión: el acero con la composición química mínima de C = 0.15, Mn = 1.1, Si = 0.20, Cr = 0.3, Mo = 0.23, Ni = 0.3 y 0.70% de carbono en la capa cementada con el siguiente tratamiento térmico: Cementación a 1700°F y temple desde 1575°F(855°C) cumple completamente para ser seleccionado para el engranaje de la Prueba No.3.

6. MANUAL DEL OPERADOR.

En este capítulo se da paso a la descripción del uso de Selector en cada una de sus funcionalidades. Aunque con esta herramienta software es fácil trabajar, este manual le ofrecerá más detalladamente sus labores para los cuales fue desarrollado.

6.1 Reseña

El primer paso para dar inicio e ingresar al software, luego de haber sido instalado adecuadamente en el sistema, es haciendo doble clic sobre el icono de acceso directo al archivo ejecutable Selector.exe. Inmediatamente, se mostrará el recuadro que identifica al software (ver [Figura 11](#)) indicando que este se está cargando en memoria.

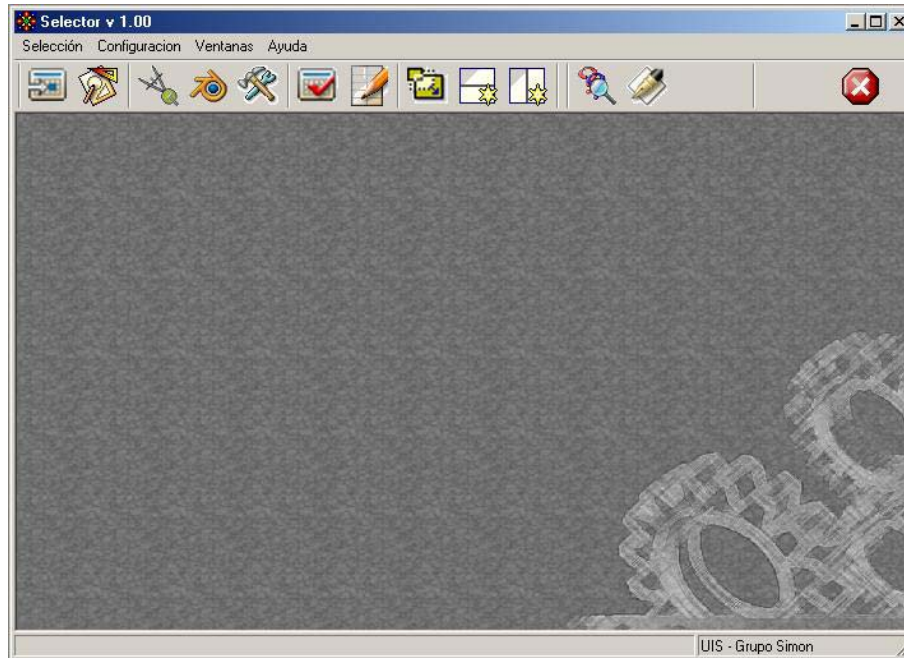
Figura 11. Imagen de Selector.



6.2 Ventana Principal

Desde el ingreso a la herramienta software hasta la salida de la misma, la ventana principal será la única que permanecerá vigente en la pantalla, pues en ella se expone el menú principal con todas las tareas que el software realiza. Es de saber, que estas tareas también pueden ser llamadas de una manera más rápida por medio del teclado ó los iconos que se encuentran justo debajo del menú principal. Una muestra de esta ventana se ilustra en la [Figura 12](#).

Figura 12. Ventana Principal.



6.3 Selección de un acero de cementación.

La selección de un acero de cementación es de las funciones más importantes realizadas por Selector. En su proceso, se pasa por una ventana que conlleva finalmente a una segunda y última que muestra el resultado de acuerdo a los requerimientos especificados por el operador.

Desde este instante, se le recomienda al operador durante el uso de la herramienta software, leer atentamente las leyendas que aparecen ubicadas en la parte superior de cada ventana, esto es, con el propósito de guiar al operador en su estadía dentro del software, además de asegurar el buen empleo del mismo.


Primero, se opta por hacer clic en *Selección* ubicado en el menú principal y seguidamente en *Selección ...* (ver [Figura 13](#)); otra forma más rápida y directa es oprimir el icono  ó a través del teclado presionando Ctrl+S. Así, aparecerá la primera ventana (ver [Figura 14](#)) que iniciará el proceso de selección. En ella se le pide al operador digitar el valor de los parámetros estipulados en la [Tabla 6](#) perteneciente a la especificación de requerimientos. Y a continuación, después de llenar correctamente todos los campos, hacer clic en el botón *Siguiente*. Para este caso, el botón de *Atrás* se emplea si se desea regresar a la ventana principal.

Figura 13. Submenú Selección.

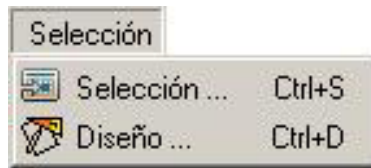


Figura 14. Ventana de selección de aceros de cementación.



6.3.1 Resultados de la selección.

Consecutivamente, luego de presionar el botón *Siguiete* de la ventana de selección, el software le enseñará la segunda ventana que mostrará los resultados obtenidos en la selección. Si al menos uno o más aceros cumplen con los requerimientos digitados por el operador, entonces serán listados en esta ventana de forma digital (ver [Figura 15](#)) junto a sus respectivos márgenes de error con el cual calificaron durante la selección. También, tiene la opción de observar los aceros seleccionados como archivo de texto, haciendo clic en la solapa *Archivo de texto* (ver [Figura 16](#)). Los aceros aparecerán ascendentemente basados en su respectivo margen de error.

Figura 15. Ventana de resultados digitales de la selección.

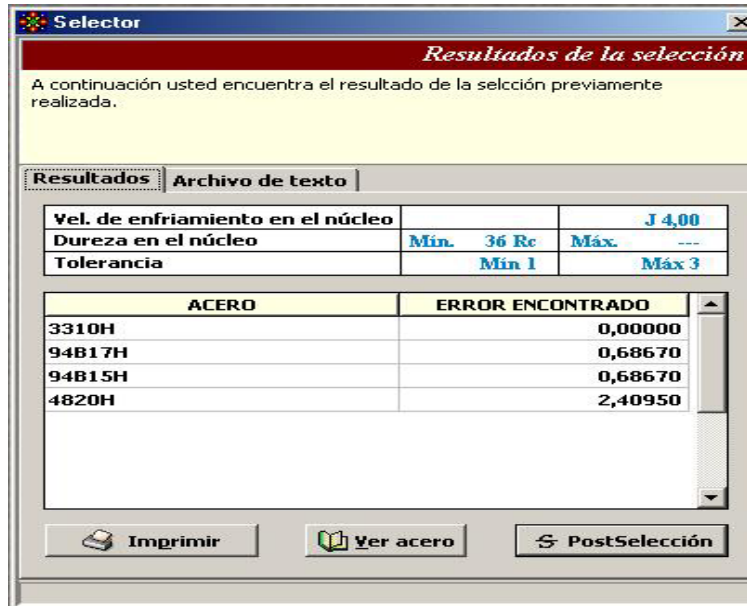
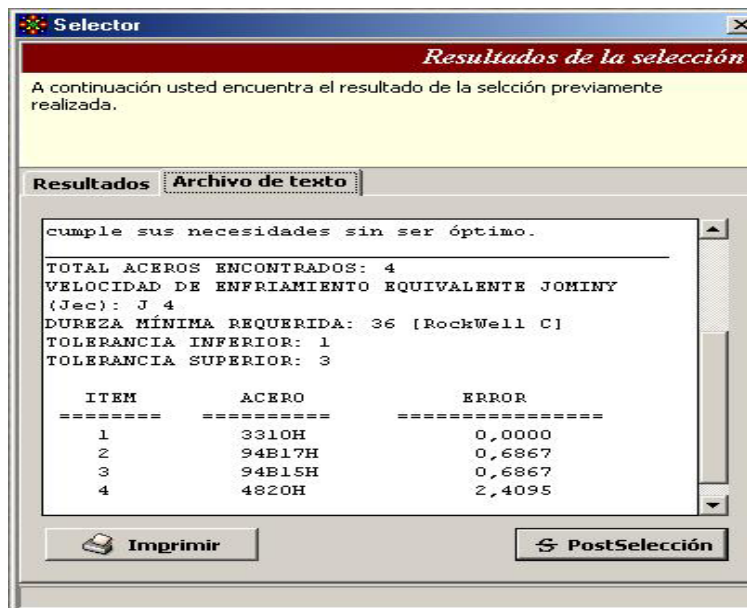


Figura 16. Ventana de resultados de la selección mostrados como archivo de texto.

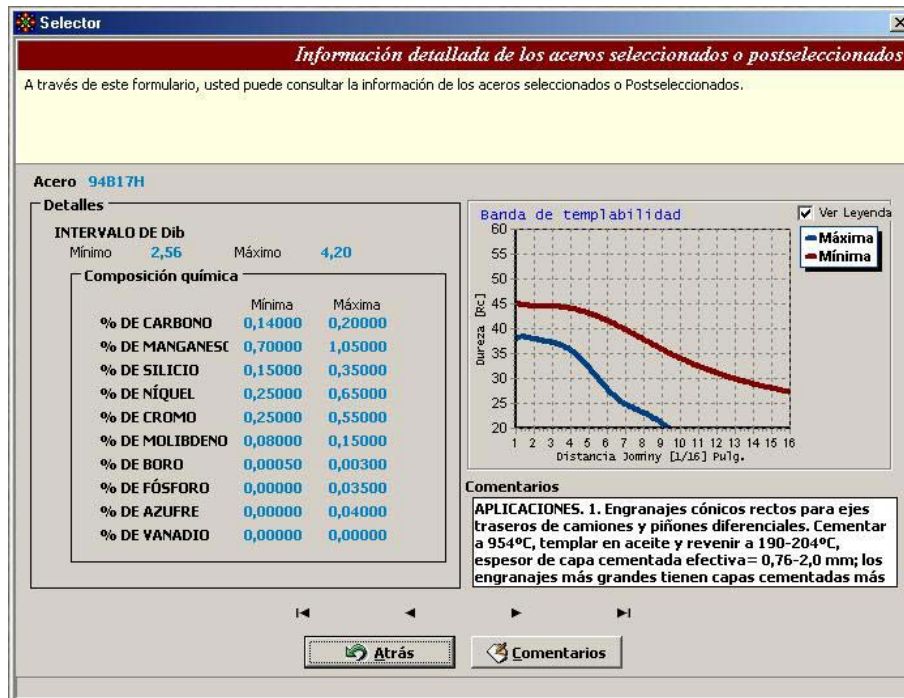


En los resultados mostrados como archivo de texto, se describen detalles como el total de aceros que cumplieron con los requerimientos iniciales para la selección, además de la tolerancia inferior y superior que se tuvo en cuenta sobre las curvas de templabilidad.

6.3.2 Información de los aceros seleccionados.

Haciendo referencia a los resultados digitales de la selección, el operador puede escoger alguno de los aceros seleccionados (haciendo clic sobre él) y luego, presionando el botón *ver acero* de la ventana de resultados, consultar sus propiedades como lo son la composición química y una gráfica de su banda de templabilidad, entre otros (ver [Figura 17](#)). De igual forma, se puede consultar dentro de esta ventana, la información detallada de otro de los aceros ya seleccionados, esto, a través de las flechas ubicadas en la parte inferior de la ventana. El botón *Atrás* para este caso, permite volver a la ventana de resultados de la selección.

Figura 17. Ventana de información detallada de un acero luego de su selección.



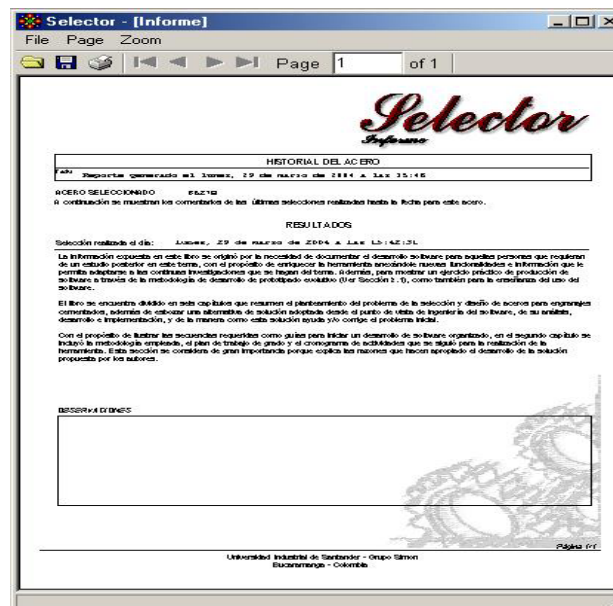
Además, como se muestra en la Figura, se establece el botón *Comentarios* que permite al operador ingresar a la base de datos algunas observaciones del por qué ha seleccionado ese acero (ver [Figura 18](#)). En esta nueva ventana, deberá guardar la información referente a la selección de determinado acero haciendo clic sobre el botón *Guardar*, así como también podrá eliminar cualquier comentario ya almacenado en la base de datos a través del botón *Eliminar*. También podrá consultar los comentarios de previas selecciones y postselecciones de ese acero por medio de las flechas ubicadas en la parte inferior de la ventana.

Figura 18. Ventana de Comentarios del acero.



Asimismo, si el operador desea tener a la mano el historial de las selecciones y postselecciones previas de este acero en cuestión, entonces deberá presionar el botón *Imprimir* que posteriormente mostrará una vista preliminar de este historial, para a continuación proceder a la impresión(ver [Figura 19](#)).

Figura 19. Ventana de la Vista preliminar del historial de un acero listo para imprimir.




6.4 Postselección ó selección exhaustiva de aceros de cementación.

Ambas maneras de exponer los resultados de la selección, poseen un botón llamado *PostSelección* (ver [Figura 15](#) y [Figura 16](#)). La postselección fue desarrollada con el propósito de realizar una mejor y más exhaustiva selección, basados en los aceros previamente seleccionados.

Por medio de este botón, el operador visualizará una ventana donde se le solicitará especificar los parámetros estipulados en la [Tabla 7](#) perteneciente a la especificación de requerimientos. — por ejemplo: el porcentaje de carbono en la capa cementada y la temperatura de temple, entre otros —, optimizando así los resultados antes obtenidos (ver [Figura 20](#)). Estos parámetros inicialmente tendrá unos valores por defecto, sin embargo, el operador podrá cambiarlos de acuerdo a sus necesidades. Para este caso, el botón *Atrás* volverá a los resultados de selección.

Figura 20. Ventana de postselección ó selección exhaustiva de aceros.

6.4.1 Velocidad de enfriamiento dado el engranaje.

La velocidad de enfriamiento del radio de raíz, es un dato importante en la postselección. El operador puede ingresar su valor digitándolo manualmente ó calcularlo con el software, haciendo clic en el botón  mostrado en la [Figura 20](#).

Asimismo, una nueva ventana se abrirá como ayuda para determinar este valor (ver [Figura 21](#)), que será en base al paso del engranaje y otros parámetros, como el tipo de engranaje (si es sólido ó en red) y el medio de temple (por inducción ó por temple en aceite agitado). Su resultado aparecerá en la parte inferior de esta ventana etiquetado con *Resultado J*.

Figura 21. Ventana de velocidad de enfriamiento dado el engranaje.

Selector

Velocidad de enfriamiento dado el engranaje

Este formulario, le ayuda en el cálculo de la velocidad de enfriamiento en el radio de raíz del engranaje. Para ello, debe especificar los siguientes parámetros.

Velocidad de enfriamiento

Tipo de engranaje: **Sólido**

Medio de temple: **Inducción**

Paso del engranaje:

Resultado J:

Aceptar


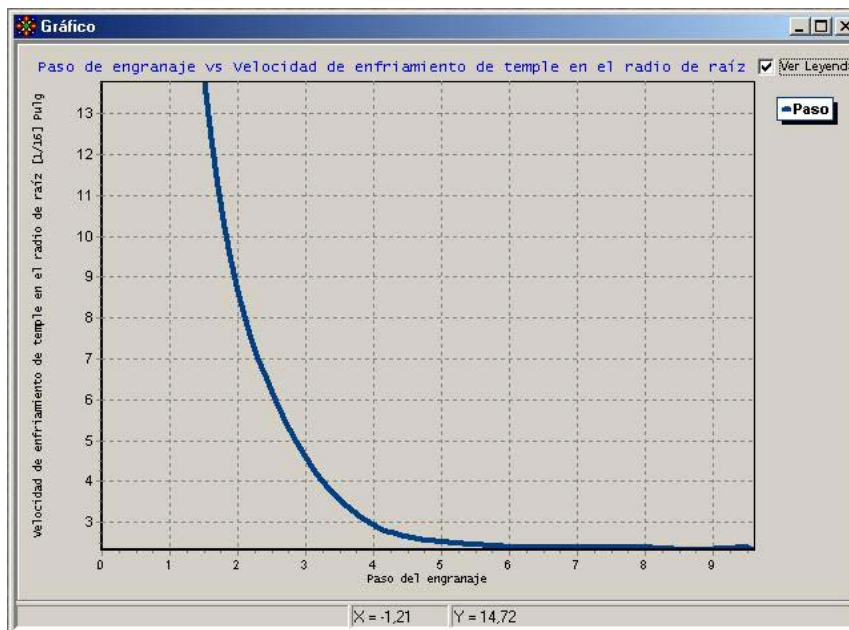
Sumado a esto, en esta última ventana está la oportunidad de digitar el valor del paso del engranaje por conocimiento previo del operador ó apoyado de un gráfico de Paso del engranaje vs. Distancia Jominy que servirá de guía para saber qué paso del engranaje utilizar para la postselección (ver [Figura 22](#)). Este gráfico se habilitará a través del botón  mostrado en la [Figura 21](#).

Figura 22. Ventana del Gráfico Paso del engranaje vs. Distancia Jominy.

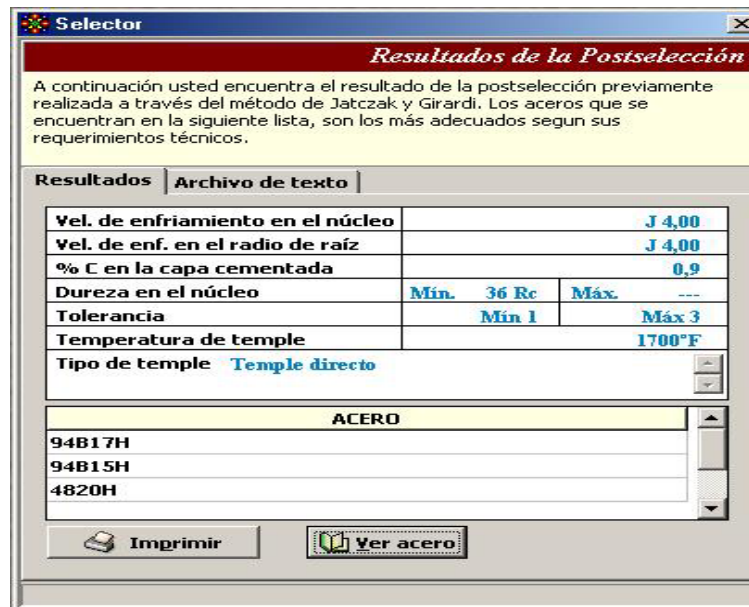


El botón *Aceptar* cerrará la ventana de velocidad de enfriamiento, y volverá a la anterior ventana (Postselección), colocando el valor de la velocidad de enfriamiento del radio de raíz en su respectivo campo. De esta forma, sólo quedará culminar el proceso de postselección presionando el botón *Continuar* (ver [Figura 20](#)).

6.4.2 Resultados de la postselección.

Del mismo modo como aparecen los resultados de selección antes descritos — desde el punto de vista gráfico —, aparecerán los resultados de la postselección (ver [Figura 23](#) y [Figura 24](#)).

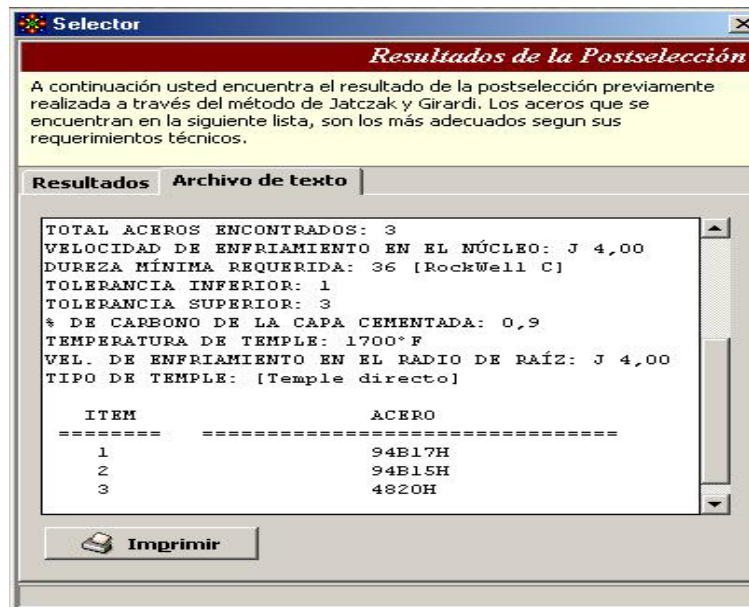
Figura 23. Ventana de resultados digitales de la postselección.



Escogiendo uno de los aceros postseleccionados y haciendo clic sobre el botón *ver acero* (perteneciente a la ventana de resultados digitales), permitirá exponer en una nueva ventana los detalles y algunos comentarios importantes que se deben tener en cuenta para ese acero (ver [Figura 17](#)).

Además, como se muestra en la [Figura 17](#), se establece el botón *Comentarios* que permite al operador ingresar a la base de datos algunas observaciones del por qué ha postseleccionado ese acero (ver [Figura 18](#)). En esta nueva ventana, deberá guardar la información referente a la postselección de determinado acero haciendo clic sobre el botón *Guardar*, así como también podrá eliminar cualquier comentario ya almacenado en la base de datos a través del botón *Eliminar*. También podrá consultar los comentarios de previas selecciones y postselecciones de ese acero por medio de las flechas ubicadas en la parte inferior de la ventana. Asimismo, si el operador desea tener a la mano el historial de las selecciones y postselecciones previas de este acero en cuestión, entonces deberá presionar el botón *Imprimir* que posteriormente mostrará una vista preliminar de este historial, para a continuación proceder a la impresión (ver [Figura 19](#)).

Figura 24. Ventana de resultados de la postselección mostrados como archivo de texto.



Es importante saber que el operador luego de terminar una primera selección, podrá realizar otras selecciones aún sin cerrar la ventana de los resultados de la anterior selección, y así sucesivamente.

De la misma manera, al hacer una primera postselección de acuerdo a unos aceros seleccionados, el operador tendrá la oportunidad de realizar una nueva postselección sobre los mismos aceros que resultaron de aquella selección. Esta acción será permitida, cuantas veces sea necesario.

Existen unos aspectos que el operador debe tener en cuenta en la selección y postselección, tales como el sistema de medidas y la tolerancia respecto al margen de error en el momento de seleccionar un acero. Estos puntos se profundizarán más adelante.

6.5 Diseño de un acero de cementación

El diseño de un acero de cementación es la segunda de las más importantes funciones realizadas por Selector, después de la selección. En su proceso, el operador deberá pasar por una ventana donde necesitará digitar los parámetros estipulados en la [Tabla 9](#) perteneciente a la especificación de requerimientos. para luego finalmente llegar a una segunda y última ventana que mostrará los resultados obtenidos.

Muy bien, el operador podrá dar comienzo a esta función haciendo clic en *Selección* ubicado en el menú principal y seguidamente en *Diseño ...* (ver [Figura 13](#)); otra manera de iniciar rápidamente la función de diseño es


oprimiendo el icono  o a través del teclado presionando Ctrl+D. Así, se visualizará la primera ventana (ver [Figura 25](#)) que iniciará el proceso de diseño.

Figura 25. Ventana de diseño de un acero de cementación



Selector X

Diseñar un acero

A través del siguiente diálogo usted podrá diseñar un acero que se ajuste a los requerimientos mecánicos y metalúrgicos que necesita para su engranaje.

Velocidad de enfriamiento en el núcleo 1 [1/16"]

% de carbono en el núcleo 0,1

Tamaño de grano 4

Velocidad de enfriamiento del radio de raíz [] →

Ingresar dureza como Un valor mínimo

Permitir aceros al Boro

DUREZA DEL NÚCLEO {DH}

[Rc]
Mínima

[]

Atrás Siguiente

En ella se le pide al operador digitar el valor de los parámetros estipulados en la [Tabla 9](#) perteneciente a la especificación de requerimientos. A continuación, después de llenar correctamente todos los campos, hacer clic en el botón *Siguiente*. Para este caso, el botón de *Atrás* se emplea si se desea regresar a la ventana principal.

6.5.1 Resultados del diseño

Inmediatamente, después de presionar el botón *Siguiente* de la ventana de diseño, el software le enseñará la segunda ventana que mostrará los resultados obtenidos en el diseño. Si al menos uno o más aceros cumplen con los requerimientos digitados por el operador, entonces serán listados en esta ventana de forma digital (ver [Figura 26](#)) junto a sus respectivas composiciones químicas. En ella misma, se visualizarán los parámetros que se tuvieron en cuenta para el proceso. Los aceros diseñados aparecerán ascendentemente basados en la economía ligada a cada elemento aleante, es decir, desde los aceros con una composición química económica, y creciendo en su precio hasta un acero con una composición química costosa.

Figura 26. Ventana de resultados digitales del diseño.

Selector ✕

Resultados del Diseño

A continuación usted encuentra el resultado de la fase de diseño. Los aceros que se encuentran en la siguiente lista, son los más adecuados según sus requerimientos técnicos, y están organizados desde los más económicos hasta los más costosos basados en su composición química.

Velocidad de enfriamiento en el núcleo		J 4,00
% de carbono en el núcleo		0,17
Tamaño de grano		7 ASTM
Velocidad de enfriamiento del radio de raíz		J 4,00
Diámetro crítico ideal de la capa cementada		
Dureza en el núcleo	Min 44 Rc	Máx ---

Composición química de los aceros que cumplen con los requisitos anteriores. Los valores están expresados en porcentajes

C	Mn	Si Mín	Si Máx	Cr	Mo	Ni	B Mín	B Máx	P Máx	S Máx
0,00	0,99	0,15	0,35	1,26	0,47	0,02	0,0000	0,0000	0,04	0,035
0,00	0,95	0,15	0,35	1,29	0,47	0,02	0,0000	0,0000	0,04	0,035
0,00	0,88	0,15	0,35	1,34	0,47	0,02	0,0000	0,0000	0,04	0,035
0,00	0,81	0,15	0,35	1,39	0,47	0,02	0,0000	0,0000	0,04	0,035
0,00	0,74	0,15	0,35	1,44	0,47	0,02	0,0000	0,0000	0,04	0,035
0,00	0,67	0,15	0,35	1,49	0,47	0,02	0,0000	0,0000	0,04	0,035

Aceptar
Imprimir

6.6 Sistema de medidas

Selector es una herramienta que también le permitirá escoger el sistema de medidas para los requerimientos de los aceros de cementación. Las medidas que se manejan para este caso son el sistema internacional (milímetros) y el sistema inglés (pulgadas). La herramienta software tiene escogida por defecto la opción del sistema inglés.


Para acceder a esta posibilidad, el operador podrá entrar a *Configuración* en el menú de la ventana principal y luego hacer clic sobre la primera opción descrita como *Seleccionar sistema de medidas ...* (ver [Figura 27](#)) ó de forma directa a través del icono . Así, se abrirá una pequeña ventana con las dos opciones que representan el sistema de medidas manejado por el software (ver [Figura 28](#)).

Figura 27. Submenú de Configuración.

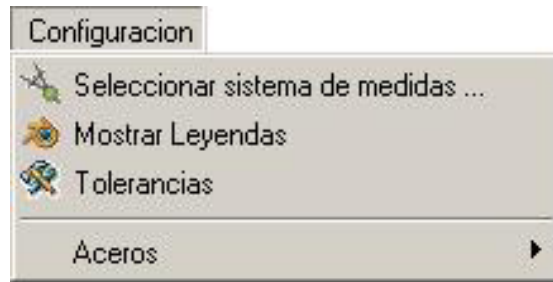
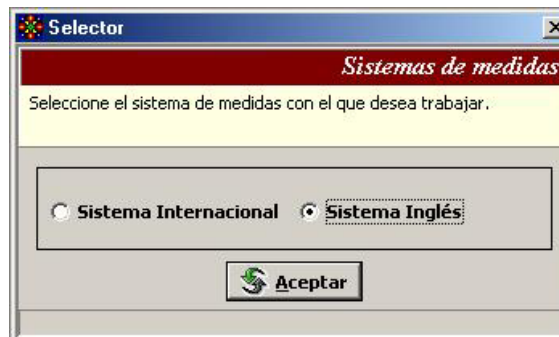


Figura 28. Ventana de sistema de medidas.



Para cerrar esta ventana actualizando el sistema de medidas con el cual se desea trabajar, el operador debe utilizar el botón *Aceptar*.

6.7 Leyendas de Selector.

La leyendas son guías que aparecen en los gráficos que se exhiben en el software, con el fin de ayudar a identificar las curvas esbozadas.


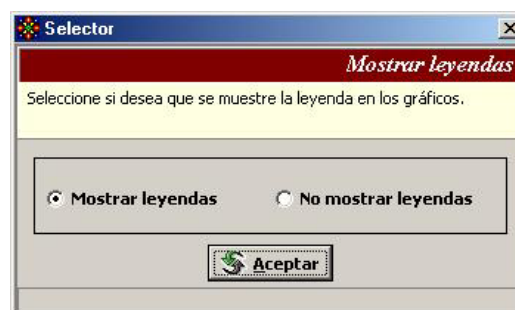
El operador podrá habilitar o deshabilitar las leyendas antes de realizar una selección. Esto es, directamente pulsando el icono  ó por medio de la segunda opción del submenú de configuración etiquetada como *Mostrar Leyendas* (ver [Figura 27](#)). Como consecuencia a esta acción, la [Figura 29](#) muestra la ventana que se abre solicitando escoger una de las dos alternativas.

Figura 29. Ventana de leyendas.




El software por defecto muestra las leyendas en los gráficos, sin embargo, el operador puede ingresar a esta ventana y cambiar la opción. Luego, para confirmar la opción escogida ó cambiada, se debe hacer clic en el botón *Aceptar*. De esta manera, la ventana se cerrará y el software volverá a la ventana principal para que el operador continúe con su operación.

6.8 Tolerancias en Selector.

En el proceso de selección y postselección, es determinante contar con el margen de error que se maneja al momento de seleccionar uno u otro acero. Esto, porque su valor podrá afectar más adelante el funcionamiento del engranaje, luego de ser fabricado con el acero seleccionado. Este margen de error, está basado en las tolerancias de dureza que se definen para las bandas de templabilidad (ver [Figura 30](#)) para el proceso de selección de los aceros. Entonces, entre menos sea el margen de error, más adecuado será el acero para su selección final por parte del operador. Sin embargo, hay situaciones donde no siempre el acero seleccionado que posee menor margen de error es el necesario para el operador, debido a otras razones — económicas y políticas de la empresa que fabricará el engranaje, entre otros — expuestas por este último; terminado así, con una selección otorgada a un acero con un valor no tan cercano a cero dentro del margen de error.

Figura 30. Ventana de tolerancias en Selector.



Para visualizar esta ventana y modificar las tolerancias en Selector, el operador puede escoger la tercera opción del submenú de configuración etiquetada como *Tolerancias* (ver [Figura 27](#)) ó también presionar el icono  ubicado justo debajo del menú principal.

Como se observa en la Figura, se manejan dos valores para las tolerancias: el primero es la tolerancia para la banda de templabilidad correspondiente a la dureza mínima de un acero, luego el valor especificado en este

campo será de 1 por debajo de la dureza mínima ingresada por el operador en su proceso de selección (ver [Figura 7](#)); y la segunda es la tolerancia referente a la banda de templabilidad que corresponde a la dureza máxima de un acero, luego el valor especificado en este campo será de 3 por encima de la dureza máxima ingresada por el operador en su proceso de selección. Estos valores antes mencionados, son los que por defecto el software propone. Además, se debe aclarar que si el operador en la ventana de selección no ingresa un intervalo de dureza sino únicamente un valor mínimo, entonces referente a las tolerancias sólo se tendrá en cuenta el campo que indica la dureza mínima.

Por otro lado, para cerrar y volver a la ventana principal, hacer clic sobre el botón *Aceptar*, actualizando así los valores de tolerancia que el operador declaró.

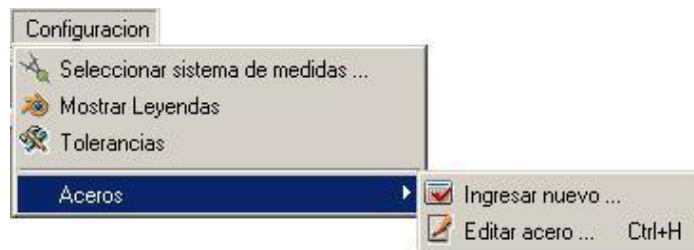
6.9 Aceros

Es de conocimiento para el lector que los aceros son uno de los aspectos primordiales para Selector. Tanto es, que el desarrollo de esta herramienta gira en torno a los aceros de cementación con el propósito de escoger el más adecuado a las necesidades del operador. Por tanto, la información de los aceros almacenada en la base de datos del software deberá ser examinada profundamente y altamente calificada por profesionales en la materia, con el objeto de lograr una óptima operación sobre las funciones de Selector.

La base de datos de Selector trae consigo una serie de aceros estándares para engranajes cementados con sus respectivos requerimientos y características. Sin embargo, en este software el operador tendrá la oportunidad de modificar esta información ya sea para la actualización u otras razones relacionadas con los parámetros de cada acero. De igual manera, se le permitirá ingresar nuevos aceros junto con sus propiedades en caso de no encontrarse en la base de datos. Por motivos de confiabilidad, el operador debe asegurarse de recopilar toda la información necesaria para ingresar un nuevo acero dentro del software; así, no se afectarán los procesos de selección por la ausencia de información o inclusive errores en la misma.

En el submenú de configuración, el operador podrá encontrar una opción etiquetada como *Aceros* donde le enseñará las dos posibilidades que corresponden al ingreso y editado de los aceros (ver [Figura 31](#)). De este modo, una nueva ventana se abrirá dependiendo de la alternativa optada por el operador.

Figura 31. Submenú para ingresar y/o editar aceros.



6.9.1 Ingresar un acero


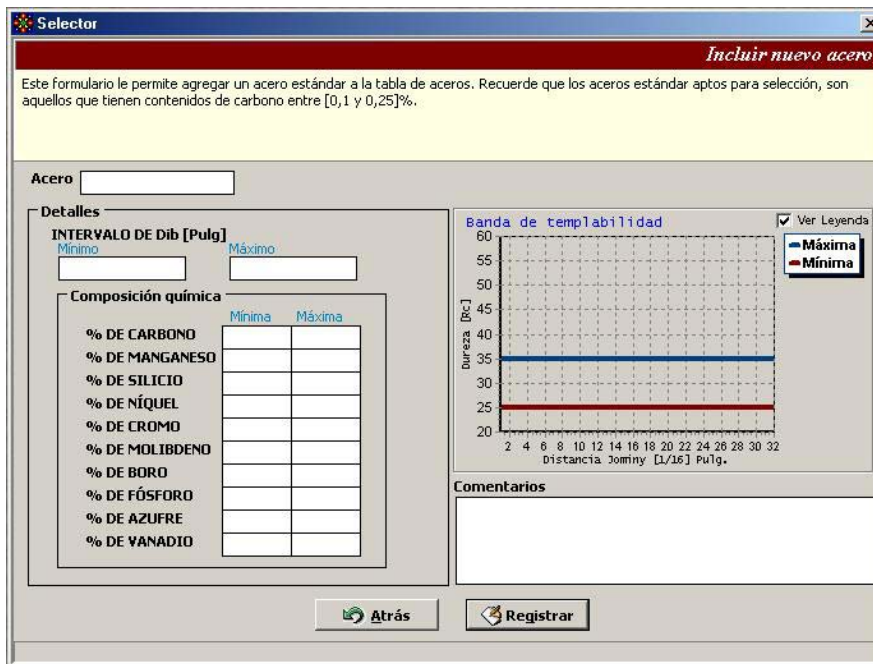
Si el operador decide ingresar un nuevo acero, deberá tomar la opción *Ingresar nuevo ...* del submenú de configuración (ver [Figura 31](#)). Así, la ventana que se mostrará tendrá sus campos en blanco con el fin de ingresar un nuevo acero que no se encuentre en la base de datos (ver [Figura 32](#)). Una forma más rápida de abrir la misma ventana es a través del icono  que se encuentra debajo del menú principal.

Figura 32. Ventana de ingresar un acero.



Selector Incluir nuevo acero

Este formulario le permite agregar un acero estándar a la tabla de aceros. Recuerde que los aceros estándar aptos para selección, son aquellos que tienen contenidos de carbono entre [0,1 y 0,25]%.
Acero

Detalles

INTERVALO DE DIB [Pulg]

Mínimo Máximo

Composición química

	Mínima	Máxima
% DE CARBONO	<input type="text"/>	<input type="text"/>
% DE MANGANESO	<input type="text"/>	<input type="text"/>
% DE SILICIO	<input type="text"/>	<input type="text"/>
% DE NÍQUEL	<input type="text"/>	<input type="text"/>
% DE CROMO	<input type="text"/>	<input type="text"/>
% DE MOLIBDENO	<input type="text"/>	<input type="text"/>
% DE BORO	<input type="text"/>	<input type="text"/>
% DE FÓSFORO	<input type="text"/>	<input type="text"/>
% DE AZUFRE	<input type="text"/>	<input type="text"/>
% DE VANADIO	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Banda de templabilidad Ver Leyenda

Dureza [Rc] vs. Distancia Jominy [1/16] Pulg.

Comentarios

Al ingresar la información del nuevo acero, se debe tener en cuenta ciertas precauciones: Primero, escribir correctamente el nombre del acero debido a que para la edición del mismo, únicamente estará inhabilitado este campo; segundo, las unidades para los valores en el intervalo de D_{ib} serán tomadas inicialmente en pulgadas; tercero, si los porcentajes para algunos elementos de la composición química del acero son menores del 1,00%, deberán ser digitados comenzando por "0,". Por ejemplo: % DE CARBONO = 0,18. En cambio, sería un error digitar: % DE CARBONO = ,18.

Por otro lado, para ingresar las bandas de templabilidad del nuevo acero, sólo se deberá hacer clic sobre cada curva — la curva correspondiente a la dureza mínima es la de color rojo y la curva correspondiente a la dureza máxima es la de color azul —. Posteriormente, Selector le indicará que se creará un nuevo archivo en la base de datos del software (con extensión *.lnz*) que representará el polinomio de dicha curva, y luego se abrirá una ventana que le permitirá ingresar tabuladamente los puntos de la misma (ver [Figura 33](#)). En esta ventana, la primera columna de celdas representa las abscisas y la segunda columna las ordenadas. Para pasar de una

celda a otra y digitar cada valor, se podrá utilizar la tecla *Enter* ó manejando el *mouse* y haciendo tres veces clic en la respectiva celda. Al terminar de ingresar todos los puntos, el operador podrá abrir un submenú haciendo clic derecho sobre cualquier celda, el cual le ofrecerá diversas funciones. Entre ellas, la de dibujar la curva escogiendo la opción *Polinomio* y darle el mejor ajuste de acuerdo al orden de la misma (ver [Figura 34](#)). Además, esta última deberá ser guardada en un archivo escogiendo la opción *Archivo* de este submenú y haciendo clic sobre la etiqueta *Guardar Como ...* (ver [Figura 35](#)). Para ello, Selector ha manejado un nombre estándar para los polinomios de las curvas de templabilidad dependiendo de su dureza (mínima ó máxima). Para los correspondientes a la dureza mínima les denomina DH_MIN_XXXX.Inz y para los correspondientes a la dureza máxima DH_MAX_XXXX.Inz. Las cuatro X representan el nombre del nuevo acero. Por ejemplo: DH_MIN_8625H.Inz y DH_MAX_8625H.Inz, corresponden a los polinomios de las curvas de dureza mínima y máxima del acero de cementación 8625H. Sin embargo, es libre del operador darle otro nombre a los polinomios de cada curva.

Figura 33. Ventana de puntos para las bandas de templabilidad.

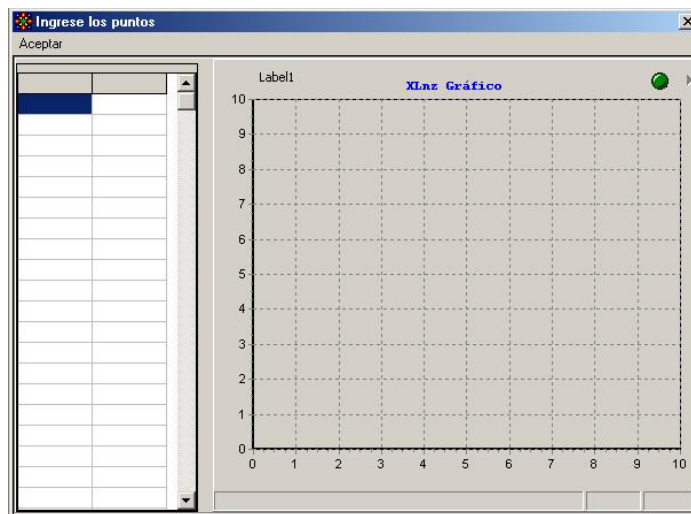


Figura 34. Submenú Polinomio para bandas de templabilidad



Figura 35. Submenú Archivo para bandas de templabilidad.



Por otra parte, la tercera opción brindada por este submenú y etiquetada como *Edición*, permite realizar diversas operaciones con los puntos de la curva (ver [Figura 36](#)). Y finalmente, la cuarta y última opción del submenú etiquetada como *Ordenar Lista* es para ordenar los valores de los puntos de manera ascendente. Un submenú alternativo que Selector brinda en esta ventana, se muestra haciendo clic derecho sobre la gráfica (ver [Figura 37](#))

Figura 36. Submenú Edición para bandas de templabilidad.

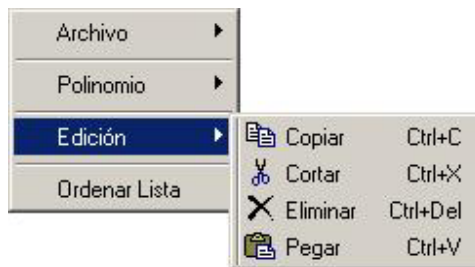


Figura 37. Submenú alternativo para bandas de templabilidad.



Ahora, para cerrar la ventana de la banda de templabilidad, el operador podrá hacer clic en *Aceptar* ubicado en el menú superior de esta ventana, volviendo así a la ventana de las propiedades del acero.

Luego de culminar la inclusión de los valores que corresponden al ingreso del acero, deberá presionar el botón *Registrar* para guardar toda la nueva información en la base de datos. El botón *Atrás* para este caso, cerrará esta ventana y volverá a la ventana principal.

6.9.2 Editar un acero.


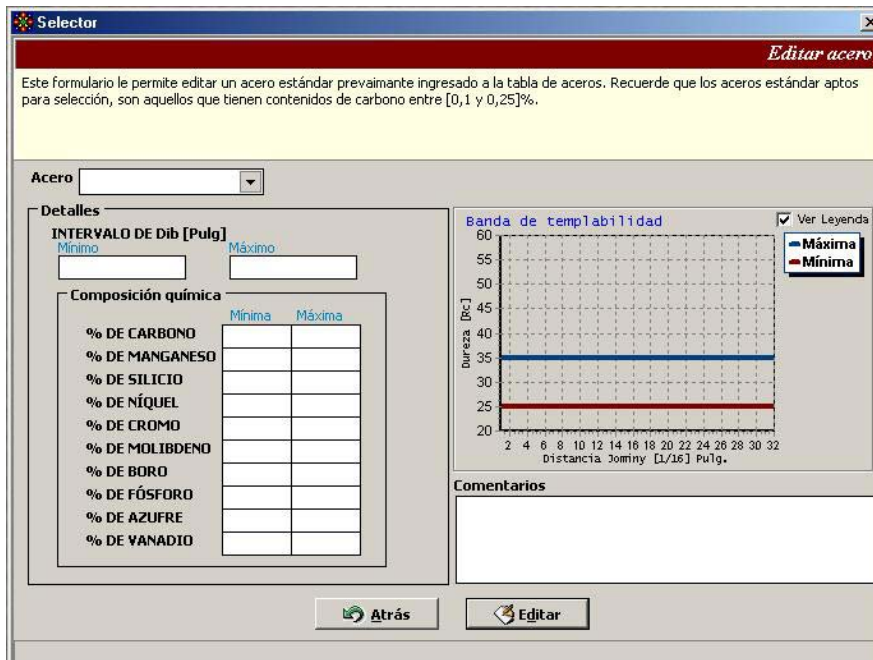
Ahora, si el operador decide elegir la opción *Editar acero ...* del submenú de configuración (ver [Figura 31](#)), de esta forma, la ventana que se abrirá tendrá inicialmente los campos vacíos. Sin embargo, haciendo clic sobre la flecha del campo *Acero* (ver [Figura 38](#)) aparecerá un listado de los aceros con la posibilidad de escoger uno de ellos, para más adelante modificar su información. Otras maneras de acceder a esta ventana para modificar la información de un acero es por medio del icono  ó con el teclado presionado Ctrl+E.

Figura 38. Ventana de editar un acero.



Este formulario le permite editar un acero estándar previamente ingresado a la tabla de aceros. Recuerde que los aceros estándar aptos para selección, son aquellos que tienen contenidos de carbono entre [0,1 y 0,25]%.

Acero

Detalles

INTERVALO DE DIB [Pulg]

Mínimo Máximo

Composición química

	Mínima	Máxima
% DE CARBONO		
% DE MANGANESO		
% DE SILICIO		
% DE NÍQUEL		
% DE CROMO		
% DE MOLIBDENO		
% DE BORO		
% DE FÓSFORO		
% DE AZUFRE		
% DE VANADIO		

Banda de templabilidad Ver Leyenda

Dureza [Bc]

Distancia Jominy [L/16] Pulg.

Comentarios

Una vez escogido el acero a editar, el operador deberá a través del botón *Editar*, habilitar los campos de los requerimientos del acero. Sin embargo, en la inclusión de los datos para modificar la información se deben tener cuenta algunas precauciones (ver [Ingresar un acero](#)). Para cambiar los puntos de las bandas de templabilidad, sólo se tiene que dar clic en la respectiva curva e inmediatamente se abrirá una ventana con los puntos y el gráfico de dicha curva (ver [Figura 33](#)). Para el manejo de esta ventana lea la sección *Ingresar un acero* referente a las bandas de templabilidad.

Luego de culminar con la edición de los valores del acero, el operador deberá hacer clic en el botón *Aceptar* para actualizar la información en la base de datos, es entonces, cuando Selector le indicará que el acero ha sido modificado correctamente. Es importante aclarar, que siempre se deberá hacer clic en este último botón si se desea pasar a otro acero para editarlo, pues de lo contrario, los cambios realizados al anterior acero no serán registrados. Por otro lado, el botón *Atrás*, cerrará la ventana y volverá a la ventana principal.

6.10 Ventanas en Selector.


Como se ha visto en este manual, es de notar que luego de cumplirse diversas funciones dentro de la herramienta software — como lo son la selección y la postselección de aceros —, es posible que se presenten una o más ventanas abiertas simultáneamente (resultados de selección, postselección y diseño). Pues bien, Selector ofrece la facilidad de organizar estas ventanas de tres formas: en cascada, mosaico horizontal y mosaico vertical. Esto, con el propósito de ayudar al operador a visualizar cómodamente todas aquellas ventanas que están vigentes durante el uso de Selector.

6.10.1 Cascada.


El escalonamiento de las ventanas que están abiertas además de la ventana principal del software, es la característica principal de la opción *Cascada*. Las ventanas son ubicadas una detrás de la otra en orden de aparición a manera intercalada. Para lograr esta acción, el operador se debe ubicar en *Ventanas* del menú principal y consecutivamente hacer clic en la primera opción etiquetada como *Cascada* (ver [Figura 39](#)).

Figura 39. Submenú Ventanas.




Una manera inmediata y ágil de realizar esta operación, es por medio del icono  .

6.10.2 Mosaico horizontal.

Esta opción permite organizar las ventanas de los diversos resultados de selección y postselección intercaladamente alineadas en filas, es decir, horizontalmente. Para ello, el operador deberá entrar a *Ventanas* del menú principal y escoger la segunda opción etiquetada como *Mosaico horizontal* (ver [Figura 39](#)), ó directamente presionando el icono  ubicado justo debajo de este menú.

6.10.3 Mosaico vertical.

Esta opción corresponde a la elección de la tercera alternativa referente al submenú de *Ventanas* y etiquetada como *Mosaico vertical* (ver [Figura 39](#)). Su acción es ubicar las ventanas intercaladamente en columnas (verticalmente) a través del espacio que ofrece la ventana principal. Para hacerlo más rápido y directo, el operador podrá hacer clic en el botón  .

6.11 Ayuda en Selector.

Además de este manual para el operador, Selector también brinda un sistema de ayuda para el buen manejo de la herramienta, sin olvidar la información importante como lo son la universidad y las personas que participaron en el desarrollo de la misma.

6.11.1 Ayuda de Selector


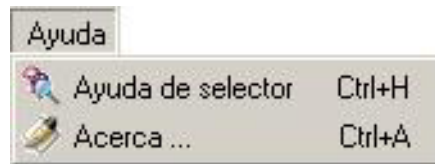
Selector como herramienta software, posee un sistema de ayuda que profundiza el manejo de todas las funciones realizadas, así como las definiciones de palabras utilizadas en el proceso de selección y postselección. El operador podrá ingresar a ella por medio del menú principal, entrando a *Ayuda* y seguidamente en la primera opción etiquetada como *Ayuda de Selector* (ver [Figura 40](#)), ó directamente con el icono . Por comodidad, también se podrá presionar en el teclado Ctrl+H así como también la tecla F1 para algunos temas de interés y, finalmente haciendo clic derecho en el *mouse* para hacer aparecer un botón con el mensaje de “¿Qué es esto?” que finalmente despliega la ventana principal del sistema de ayuda mostrando los temas relacionados para entrar al sistema de ayuda.

Figura 40. Submenú Ayuda.



6.11.2 Desarrolladores y Colaboradores de Selector.


Una información importante para Selector, son los nombres de los desarrolladores y de los profesionales que ayudaron a la realización de esta herramienta software, sin perder de vista la institución que respaldó y estuvo detrás de este trabajo de grado. Dicha información se puede consultar en el submenú de *Ayuda* y escogiendo la segunda opción etiquetada como *Acerca ...* (ver [Figura 40](#)), como también presionando en el teclado Ctrl+A, ó haciendo clic en el icono . De esta forma, una imagen aparecerá en el centro de la ventana principal (ver [Figura 41](#)). Luego, para cerrarla, el operador podrá con el *mouse* hacer clic donde dice *Cerrar* en su parte inferior ó en cualquier sector de esta imagen.

Figura 41. Imagen referente a la información personal de Selector.



6.12 Salir de Selector.


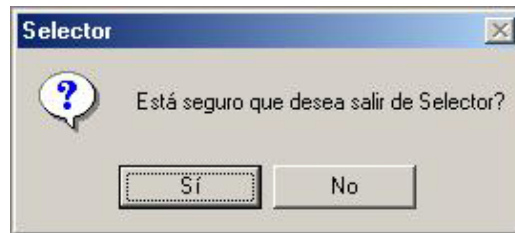
Finalmente, en el momento que el operador desee terminar la navegación dentro de Selector, tendrá que hacer clic en el icono  y a continuación él le solicitará confirmar su petición de salir del sistema (ver [Figura 42](#)).

Figura 42. Ventana para salir de Selector.



CONCLUSIONES

Selector es una herramienta software que apoya la selección y el diseño de aceros para la fabricación de engranajes cementados de una manera confiable y eficiente. Para ello, cumple con una serie de requerimientos y algoritmos que luego de ser validados y evaluados, permiten obtener con certeza resultados que ya han sido comprobados manual y experimentalmente por profesionales en la materia.

Este software puede ser utilizado en las diferentes instituciones educativas que actualmente se ocupan de la enseñanza de los aceros de cementación, de los engranajes cementados y de los diferentes temas de la ingeniería relacionados en este campo. Además, no se deben olvidar las empresas que trabajan estos tipos de piezas y aceros y aquellas que requieran capacitación para sus empleados, tales como siderúrgicas y metalmecánicas. De la misma manera, un personal ya capacitado, así como profesionales e individuos con conocimientos básicos en metalúrgica y mecánica, podrán fácilmente operar con las diferentes funciones que ofrece la herramienta.

Para la selección y el diseño de un acero de cementación, se necesita una gran cantidad de cálculos matemáticos alternado por la consulta de gráficas y tablas que son difíciles de encontrar reunidas en una misma bibliografía. El desarrollo de este software logró que información necesaria para las operaciones antes mencionadas, fuese organizada en una base de datos, en un programa de computadora y en este libro.

Además, el software Selector indirectamente ayuda a disminuir el índice de accidentalidad y evitar futuros sucesos que ocasionen pérdidas humanas y materiales producidas por la interacción del hombre con las máquinas que tengan engranajes con la posibilidad de sufrir fracturas y roturas debido a malas selecciones y/o diseños previamente hechos sobre los aceros.

De las ventajas que se obtienen en la utilización del software, podemos destacar las siguientes:

- Eficiencia y velocidad en las respuestas visualizadas por el software luego de un proceso de selección y diseño.
- La posibilidad de hacer un análisis de sensibilidad por parte del operador entre los requerimientos mecánicos y/o metalúrgicos necesarios y las opciones que le brindan los proveedores en cuanto a los aceros disponibles en el mercado.
- Lista e imprime los aceros que cumplen con los requerimientos del operador, permitiendo exponerlos en un orden descendente de acuerdo a sus necesidades. Esto hace que el operador pueda analizar

fácilmente las diversas respuestas que el software le proporciona con base en los detalles y en los comentarios de cada uno de los aceros.

- Ayuda a los docentes en la enseñanza y a los estudiantes en el proceso de aprendizaje sobre el tema, dado que brinda rápidas respuestas a ejercicios por resolver, reduciendo el tiempo en operaciones matemáticas necesarias para llegar a una solución. Esto permite que el tiempo se aproveche en análisis posteriores o en otros tipos de operaciones.
- Facilita el entendimiento del proceso de selección y diseño de un acero de cementación, el cual se encuentra esbozado en la ayuda del sistema.
- El uso de Selector en la industria reduce los costos que acarrea la pérdida de tiempo en una selección realizada con los métodos tradicionales.
- Selector le suministra al operador detalladamente los requerimientos y las características de cada uno de los aceros almacenados en la base de datos, tales como, su composición química, las durezas y las velocidades de enfriamiento, entre otros, actualizadas hasta la fecha. Además, brinda la opción de actualizar la información editando cada uno de los requerimientos y características que contiene el acero.
- El software podrá servir como guía para la realización de posteriores trabajos de grado, gracias a que su metodología de desarrollo es ordenada y estricta. También, la investigación que se hizo para enriquecer el software, puede servir de consulta para personas interesadas en el área de la cementación de aceros para engranajes cementados.

Selector representa un aporte tecnológico para la sociedad, debido a que su desarrollo se hizo sobre las últimas herramientas ofrecidas por el mercado en el campo de la informática; además, porque soluciona un problema real en el ámbito laboral y educativo, enseñando igualmente a los usuarios una nueva forma de manejar estos procesos metalúrgicos y mecánicos. También, porque incentiva al estudio, a la investigación y al desarrollo de nuevos proyectos afines en el área.

El desarrollo de la interfaz gráfica del software buscó un acoplamiento usuario-programa durante la estadía del usuario en el uso de la herramienta a través del empleo de tonos suaves en los colores e imágenes atractivas a la vista, logrando un ambiente pasivo y tranquilo a lo largo del programa que evite el agotamiento producido por el continuo trabajo enfrente del computador.

Luego de la lectura de este libro y del análisis de la herramienta, se observa el buen cumplimiento de cada uno de los objetivos planteados al trabajo de grado y de todas las metas que como estudiantes fueron establecidas al comienzo de la carrera. Como consecuencia, se logra una experiencia en el planteamiento y desarrollo de una propuesta de investigación y análisis de un problema originado en la sociedad, basados en todo el conocimiento adquirido durante de la carrera de ingeniería de sistemas de la UIS.

RECOMENDACIONES

Selector es una herramienta que fue desarrollada basada en las últimas tecnologías hasta la fecha. Sin embargo, y como es de esperar, el mundo de la informática varía constantemente haciendo relativa la palabra "actual". Es por tanto, que se aconseja seguir investigando los nuevos estudios sobre los aceros de cementación para tratar de mantener actualizado a Selector, ó al menos conservarlo dentro un margen de actualidad.

La herramienta desde el momento de su concepción, fue pensada para ser ejecutada sobre un sistema Windows® XP. Aunque en el presente, son cada vez mayores los usuarios de sistemas operativos alternativos como Linux®; por tanto, se recomienda el desarrollo de un próximo proyecto software estándar en donde el sistema operativo sea multiplataforma, que permita fácilmente hacer de Selector una herramienta para la Internet, basándose en tecnologías tales como Webservice. En otras palabras, se plantea implantar un servidor donde se almacene la base de datos y un pequeño programa de servidor que preste información a programas clientes que se puedan encontrar en otros horizontes del mundo compartiendo la misma base de datos.

Esto está ligado, a incentivar a las personas interesadas en la materia, a desarrollar una nueva versión de Selector el cual brinde la oportunidad de escoger el idioma deseado al momento de la instalación.

Una posibilidad de expandir esta herramienta, es integrarla con proyectos software afines que estén postulados a desarrollarse posteriormente, con el propósito de crear un paquete completo que cumpla con todas las funciones evaluadas y calificadas por un sin número de personas interesadas; esto será factible, dado que Selector fue planeado para desarrollarse con una arquitectura modular fácilmente integrable con otra sistema. Además, servirá como bibliografía para el apoyo de nuevos trabajos en donde se necesite información ya almacenada en Selector.

Asimismo, reconocerle a Selector la importante tarea que cumple por medio de las diversas funciones que efectúa y la valiosa información que suministra, haciendo de ellos su mayor provecho y consumo por parte de los distintos operadores.

En el mundo industrial, el campo económico es vital para la supervivencia de la industria como tal. De esta manera, los sistemas informáticos deben ser cada vez más completos e integrados con esta política; así, se propone que la investigación y el análisis de los costos de cada uno de los elementos aleantes de un acero de cementación sean tenidos en cuenta para una próxima versión en donde el operador pueda conocer el precio actual de un acero al momento de su selección y/o diseño.

Finalmente, un punto clave que ayuda al esparcimiento de la enseñanza y el aprendizaje que ofrece Selector, es la divulgación del mismo, otorgándosele la suficiente publicidad en diferentes entidades para que el conocimiento inherente en él, sea beneficiado por todas las personas que lo requieran.

BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN SOCIETY FOR METALS. "SOURCE BOOK ON MATERIALS SELECTION, VOLUME I". Metals Park, Ohio 44073: Editorial AMERICAN SOCIETY FOR METALS, March 1977. 182-185p, 188p, 193-206.

AMERICAN SOCIETY FOR METALS. METALS HANDBOOK. VOL I. "PROPERTIES AND SELECTION: IRONS, STEELS, AND HIGH-PERFORMANCE ALLOYS". ASM. INTERNATIONAL. TENTH EDITION. 1990. 491-496p,

AULAWARE, Tutorial de Delphi. [Online]. Aulaware. [1999]. Available from Internet: <URL: <http://leo.worldonline.es/acanudas/delphi/tdelphi5.htm>>

BORLAND SOFTWARE CORPORATION, Borland Developer Network. [Online]. Borland Software Corporation. [2003]. Available from Internet: <URL: <http://community.borland.com/delphi/0,1419,1,00.html>>

DATE, C. J. "AN INTRODUCTION TO DATABASE SYSTEMS" ADDISON-WESLEY. MA. 4TH EDITION. 1986.

DUARTE, Abdías; QUINTERO, Manuel. "SISTEMA BASADO EN EL CONOCIMIENTO DE APOYO A LA SELECCIÓN DE MATERIALES PARA AMBIENTES CORROSIVOS", Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga. 2002. Trabajo de Grado. Ingeniería Metalúrgica.

EL GUILLE, Creación de Ayudas. [Online]. [España]: Guillermo 'guille' Som [16 de Julio de 2001]. Available from Internet: <URL: http://www.elguille.info/vb/vb_hlp.htm>

KERN Roy F.; SUESS, Manfred E. "STEEL SELECTION". New York: Editorial John Wiley & Sons, 1979. 181-194p, 418-434p.

FRENCH, Tomas; VIERCK, Charles. "DIBUJO DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA GRÁFICA". MÉXICO: Editorial MCGRAW-HILL, 1988. 561p

GNOLL, James R; WEINBERG, Paul N. "APLIQUE SQL". MADRID, OSBORNE: Editorial MCGRAW-HILL, 1991.

MARONI, P. J. "TEMPLABILIDAD : UN METODO PARA SELECCIONAR ACEROS " MITRE. BUENOS AIRES: 1976.

METAL PROGRESS. "*METAL PROGRESS, VOLUME 100 No.3*". September 1971. 60-69p.

PROGRAMACIÓN EN CASTELLANO, Delphi. [Online] [España]: PROGRAMACIÓN EN CASTELLANO. [1999-2004] Available from Internet: <URL: <http://www.programacion.net/direcciones.php?categoria=delphi>>

SIEBERT, Clarence A.; DOANE, Douglas V.; BREEN, Dale H. "THE HARDENABILITY OF STEELS". Metals Park, Ohio 44073: Editorial AMERICAN SOCIETY FOR METALS, 1977.

TARTAGLIA, J. M.; ELDIS, G.T. "*CORE HARDENABILITY CALCULATIONS FOR CARBURIZING STEELS*". En : METALLURGICAL TRANSACTIONS A. VOLUME 15A. (June 1984).

VILLAMIZAR, Luis Carlos. "*SISTEMA DE APOYO PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES EN AMBIENTES CORROSIVOS*". Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga. 1995. Trabajo de Grado. Ingeniería Metalúrgica.

ANEXOS.

Anexo A. Factores Multiplicadores de Jatczak y Girardi. Factores multiplicadores para el Carbono (Rango de tamaño de grano ASTM 5/9).

Porcentaje	800°C (1475°F)	830°C (1525°F)	855°C (1575°F)	927°C (1700°F)
0,6	0,77	0,79	0,79	0,79
0,65	0,795	0,81	0,82	0,82
0,7	0,82	0,83	0,85	0,85
0,75	0,83	0,845	0,875	0,875
0,8	0,83	0,86	0,9	0,9
0,85	0,80	0,85	0,91	0,93
0,9	0,73	0,81	0,9	0,935
0,91	0,715	0,785	0,89	0,935
0,92	0,70	0,765	0,88	0,93
0,93	0,685	0,745	0,87	0,92
0,94	0,675	0,73	0,86	0,91
0,95	0,66	0,71	0,85	0,9
0,96	0,65	0,7	0,835	0,89
0,97	0,64	0,69	0,825	0,875
0,98	0,625	0,675	0,81	0,86
0,99	0,62	0,665	0,795	0,845
1	0,61	0,655	0,78	0,83
1,01	0,60	0,645	0,76	0,815
1,02	0,595	0,64	0,74	0,8
1,03	0,59	0,63	0,725	0,79
1,04	0,58	0,625	0,71	0,78
1,05	0,575	0,62	0,695	0,77
1,06	0,57	0,61	0,68	0,76
1,07	0,565	0,605	0,67	0,75
1,08	0,56	0,6	0,655	0,74
1,09	0,557	0,595	0,645	0,735

Porcentaje	800°C (1475°F)	830°C (1525°F)	855°C (1575°F)	927°C (1700°F)
1,1	0,555	0,59	0,64	0,73
Tamaño de Grano promedio	8/9	7/8	6/7	5/7

Anexo B. Factores Multiplicadores de Jatzcak y Girardi. Factores multiplicadores para el cálculo de la templabilidad de la capa cementada de los aceros de cementación y la templabilidad de los aceros altos en carbono endurecidos después de un tratamiento anterior de normalizado o temple.

Porcentaje	Mn*			
	800°C (1475°F)	830°C (1525°F)	855°C (1575°F)	927°C (1700°F)
0,05	1,02	1,04	1,04	1,04
0,1	1,06	1,06	1,06	1,06
0,15	1,10	1,1	1,1	1,1
0,2	1,14	1,14	1,14	1,14
0,25	1,18	1,18	1,18	1,18
0,3	1,26	1,26	1,27	1,26
0,35	1,31	1,32	1,33	1,33
0,4	1,35	1,38	1,39	1,39
0,45	1,41	1,44	1,45	1,44
0,5	1,45	1,47	1,48	1,47
0,55	1,48	1,53	1,53	1,53
0,6	1,52	1,58	1,58	1,56
0,65	1,55	1,61	1,62	1,59
0,7	1,59	1,65	1,67	1,61
0,75	1,62	1,69	1,72	1,66
0,8	1,65	1,73	1,76	1,71
0,85	1,67	1,76	1,81	1,75
0,9	1,69	1,81	1,86	1,81
0,95	1,73	1,85	1,89	1,91
1	1,75	1,88	1,93	2
1,05	1,78	1,92	1,98	2,09
1,1	1,80	1,96	2	2,19
1,15	1,82	2,02	2,04	2,28
1,2	—	2,07	2,09	2,33
1,25	—	2,14	2,16	2,4
1,3	—	2,21	2,23	2,45
1,35	—	2,29	2,33	2,49

Porcentaje	Mn*			
	800°C (1475°F)	830°C (1525°F)	855°C (1575°F)	927°C (1700°F)
1,4	—	2,37	2,42	2,55
1,45	—	2,5	2,54	2,59
1,5	—	2,58	2,62	2,62
1,55	—	—	—	2,66
1,6	—	—	—	2,69
1,65	—	—	—	2,72
1,7	—	—	—	2,75
1,75	—	—	—	2,79
1,8	—	—	—	2,82
1,85	—	—	—	2,86
1,9	—	—	—	2,89
1,95	—	—	—	2,93
2	—	—	—	2,95

Porcentaje	Si*			
	800°C (1475°F)	830°C (1525°F)	855°C (1575°F)	927°C (1700°F)
0,05	1,02	1,04	1,04	1,04
0,1	1,06	1,06	1,06	1,06
0,15	1,1	1,1	1,1	1,1
0,2	1,14	1,14	1,14	1,14
0,25	1,18	1,18	1,18	1,18
0,3	1,19	1,19	1,2	1,24
0,35	1,20	1,2	1,21	1,33
0,4	1,21	1,21	1,21	1,4
0,45	1,22	1,22	1,22	1,48
0,5	1,23	1,23	1,24	1,54
0,55	1,24	1,24	1,25	1,61
0,6	1,25	1,25	1,26	1,67
0,65	1,26	1,26	1,27	1,72
0,7	1,27	1,27	1,28	1,78
0,75	1,28	1,28	1,29	1,84
0,8	1,29	1,29	1,3	1,88
0,85	1,31	1,31	1,31	1,93
0,9	1,32	1,32	1,32	1,96
0,95	1,33	1,33	1,32	1,99
1	1,34	1,34	1,33	2
1,05	1,35	1,34	1,34	2,01
1,1	1,35	1,35	1,34	2,01
1,15	1,36	1,36	1,35	2,04
1,2	1,36	1,37	1,35	2,05
1,25	1,38	1,38	1,36	2,06
1,3	1,39	1,39	1,38	2,07
1,35	1,4	1,4	1,39	2,08
1,4	1,41	1,41	1,4	2,09
1,45	1,42	1,43	1,41	2,1
1,5	1,43	1,45	1,43	2,11
1,55	1,45	1,46	1,45	—

Porcentaje	Si*			
	800°C (1475°F)	830°C (1525°F)	855°C (1575°F)	927°C (1700°F)
1,65	1,48	1,49	1,48	—
1,7	1,50	1,51	1,51	—
1,75	1,52	1,53	1,53	—
1,8	1,54	1,55	1,55	—
1,85	1,57	1,58	1,58	—
1,9	1,60	1,6	1,6	—
1,95	1,62	1,62	1,62	—
2	1,66	1,66	1,65	—

Porcentaje	Cr Aceros Cementados 927°C (1700°F)	Cr*			
		800°C (1475°F)	830°C (1525°F)	855°C (1575°F)	927°C (1700°F)
0,05	1,04	1,02	1,04	1,04	1,04
0,1	1,06	1,06	1,06	1,06	1,06
0,15	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
0,2	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14
0,25	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
0,3	1,3	1,22	1,22	1,24	1,23
0,35	1,41	1,26	1,27	1,28	1,31
0,4	1,49	1,28	1,32	1,33	1,29
0,45	1,59	1,31	1,35	1,36	1,44
0,5	1,67	1,33	1,38	1,39	1,47
0,55	1,75	1,34	1,41	1,41	1,52
0,6	1,84	1,35	1,43	1,44	1,56
0,65	1,89	1,36	1,46	1,46	1,61
0,7	1,95	1,38	1,47	1,47	1,66
0,75	2	1,39	1,49	1,48	1,73
0,8	2,05	1,39	1,51	1,5	1,76
0,85	2,09	1,4	1,51	1,51	1,81
0,9	2,12	1,41	1,52	1,52	1,86
0,95	2,15	1,41	1,53	1,53	1,92
1	2,18	1,41	1,54	1,54	1,96
1,05	2,21	1,41	1,55	1,54	2
1,1	2,24	1,41	1,56	1,55	2,06
1,15	2,27	1,41	1,56	1,56	2,08
1,2	2,29	1,41	1,58	1,57	2,12
1,25	2,32	1,41	1,59	1,58	2,15
1,3	2,35	1,41	1,59	1,58	2,18
1,35	2,39	1,41	1,59	1,59	2,21
1,4	2,44	1,42	1,61	1,59	2,23
1,45	2,47	1,43	1,61	1,59	2,24
1,5	2,5	1,44	1,61	1,59	2,25
1,55	2,53	1,45	1,62	1,6	2,26

Porcentaje	Cr	Cr*			
	Aceros Cementados 927°C (1700°F)	800°C (1475°F)	830°C (1525°F)	855°C (1575°F)	927°C (1700°F)
1,6	2,55	1,45	1,62	1,61	2,27
1,65	2,57	1,46	1,63	1,62	—
1,7	2,6	1,47	1,64	1,64	—
1,75	—	1,47	1,65	1,65	—
1,8	—	1,48	1,67	1,67	—
1,85	—	1,49	1,68	1,69	—
1,9	—	1,52	1,69	1,7	—
1,95	—	1,54	1,72	1,72	—
2	—	1,56	1,74	1,74	—

Porcentaje	Al 800°C (1475°F) a 927°C (1700°F)	Ni*			
		800°C (1475°F)	830°C (1525°F)	855°C (1575°F)	927°C (1700°F)
0,05	1,02	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	1,05	1,01	1,01	1,01	1,01
0,15	1,08	1,03	1,03	1,02	1,03
0,2	1,12	1,04	1,04	1,04	1,04
0,25	1,15	1,05	1,05	1,05	1,05
0,3	1,18	1,07	1,07	1,07	1,07
0,35	1,22	1,09	1,09	1,09	1,11
0,4	1,27	1,11	1,11	1,11	1,14
0,45	1,31	1,12	1,13	1,12	1,16
0,5	1,35	1,13	1,14	1,13	1,18
0,55	1,40	1,14	1,15	1,14	1,20
0,6	1,45	1,15	1,16	1,15	1,22
0,65	1,48	1,16	1,17	1,16	1,24
0,7	1,53	1,16	1,18	1,17	1,25
0,75	1,57	1,17	1,18	1,18	1,26
0,8	1,61	1,18	1,19	1,19	1,27
0,85	1,65	1,19	1,19	1,20	1,29
0,9	1,70	1,20	1,20	1,21	1,31
0,95	1,73	1,21	1,21	1,22	1,34
1	1,77	1,22	1,23	1,23	1,35
1,05	1,80	1,22	1,24	1,23	1,36
1,1	1,84	1,23	1,24	1,24	1,37
1,15	1,87	1,24	1,25	1,25	1,39
1,2	1,90	1,25	1,26	1,25	1,41
1,25	1,93	1,26	1,27	1,26	1,43
1,3	1,95	1,26	1,28	1,26	1,45
1,35	1,97	1,27	1,29	1,27	1,48
1,4	1,99	1,28	1,30	1,28	1,52
1,45	2,00	1,29	1,31	1,29	1,56
1,5	2,00	1,31	1,32	1,31	1,58
1,55	—	1,32	1,33	1,32	1,62

Porcentaje	Al 800°C (1475°F) a 927°C (1700°F)	Ni*			
		800°C (1475°F)	830°C (1525°F)	855°C (1575°F)	927°C (1700°F)
1,6	—	1,33	1,34	1,33	1,66
1,65	—	1,34	1,35	1,35	—
1,7	—	1,35	1,36	1,36	—
1,75	—	1,37	1,37	1,37	—
1,8	—	1,38	1,39	—	—
1,85	—	—	1,41	—	—
1,9	—	—	1,43	—	—
1,95	—	—	1,45	—	—
2	—	—	1,49	—	—

Porcentaje	Mo*			
	800°C (1475°F)	830°C (1525°F)	855°C (1575°F)	927°C (1700°F)
0,05	1,05	1,05	1,05	1,13
0,1	1,1	1,1	1,1	1,27
0,15	1,15	1,15	1,17	1,42
0,2	1,20	1,2	1,26	1,56
0,25	1,24	1,24	1,35	1,73
0,3	1,29	1,29	1,45	1,9
0,35	1,34	1,34	1,55	2,09
0,4	1,39	1,39	1,65	2,27
0,45	1,44	1,44	1,75	2,45
0,5	1,49	1,49	1,86	2,64
0,55	1,54	1,54	1,97	2,82
0,6	1,60	1,6	2,09	3,03
0,65	1,66	1,66	2,21	3,26
0,7	1,72	1,72	2,32	3,52
0,75	1,80	1,8	2,44	3,8
0,8	1,87	1,87	2,55	4,08
0,85	1,92	1,92	2,67	4,4
0,9	2,07	2,07	2,78	4,8
0,95	2,18	2,18	2,91	5,2
1	2,33	2,33	3,03	5,5

Porcentaje	Si [®] Multialeante			
	830°C (1525°F)	830°C (1525°F)	855°C (1575°F)	927°C (1700°F)
0,05	1,01	1,04	1,04	1,04
0,1	1,06	1,06	1,06	1,06
0,15	1,1	1,1	1,1	1,1
0,2	1,14	1,14	1,14	1,14
0,25	1,18	1,18	1,18	1,18
0,3	1,26	1,26	1,27	1,27
0,35	1,31	1,32	1,33	1,36

Porcentaje	Si [®] Multialeante			
	830°C (1525°F)	830°C (1525°F)	855°C (1575°F)	927°C (1700°F)
0,4	1,35	1,36	1,36	1,46
0,45	1,41	1,4	1,4	1,54
0,5	1,45	1,45	1,45	1,67
0,55	1,47	1,48	1,47	1,8
0,6	1,49	1,5	1,49	1,92
0,65	1,52	1,53	1,52	2,06
0,7	1,54	1,55	1,54	2,21
0,75	1,56	1,56	1,56	2,35
0,8	1,58	1,58	1,58	2,51
0,85	1,59	1,59	1,59	2,68

Anexo C. Factores Multiplicadores de Jatzak y Girardi. Factores multiplicadores para la combinación Nickel + Manganeso.

(Cuando se templen desde 800°C (1475°F)).

Nickel (%)	Manganeso (%)					
	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80
0,9	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00
1,00	1,50	1,60	1,70	1,85	2,00	2,15
1,20	1,60	1,70	1,85	2,00	2,25	2,45
1,40	1,70	1,80	2,05	2,30	2,55	2,85
1,60	1,95	2,10	2,30	2,60	3,00	3,55
1,80	2,30	2,50	2,70	3,10	3,70	4,90

(Cuando se templen desde 830°C (1525°F)).

Nickel (%)	Manganeso (%)					
	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80
0,9	1,50	1,70	1,90	2,00	2,20	2,40
1,00	1,55	1,75	1,90	2,05	2,20	2,40
1,20	1,70	1,85	2,00	2,20	2,50	2,75
1,40	1,85	2,00	2,25	2,50	2,70	3,05
1,60	2,05	2,25	2,50	2,75	3,10	3,75
1,80	2,35	2,60	3,00	3,40	4,00	4,20

(Cuando se templen desde 855°C (1575°F)).

Nickel (%)	Manganeso (%)					
	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80
0,9	1,50	1,70	1,90	2,00	2,20	2,40
1,00	1,60	1,80	1,95	2,10	2,30	2,50
1,20	1,70	1,90	2,00	2,20	2,50	2,95
1,40	1,85	2,00	2,20	2,50	2,80	3,20
1,60	2,05	2,25	2,55	2,90	3,25	3,90
1,80	2,30	2,65	2,95	3,50	4,00	5,50

Anexo D. Factores Multiplicadores de Jatzak y Girardi. Factores multiplicadores para el Boro.

	Contenido de Carbono (%)				
	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
Templados desde 830°C (1525°F)	1,50	1,75	1,30	1,25	1,00
Templados desde 927°C (1700°F)	1,75	1,60	1,45	1,30	1,20

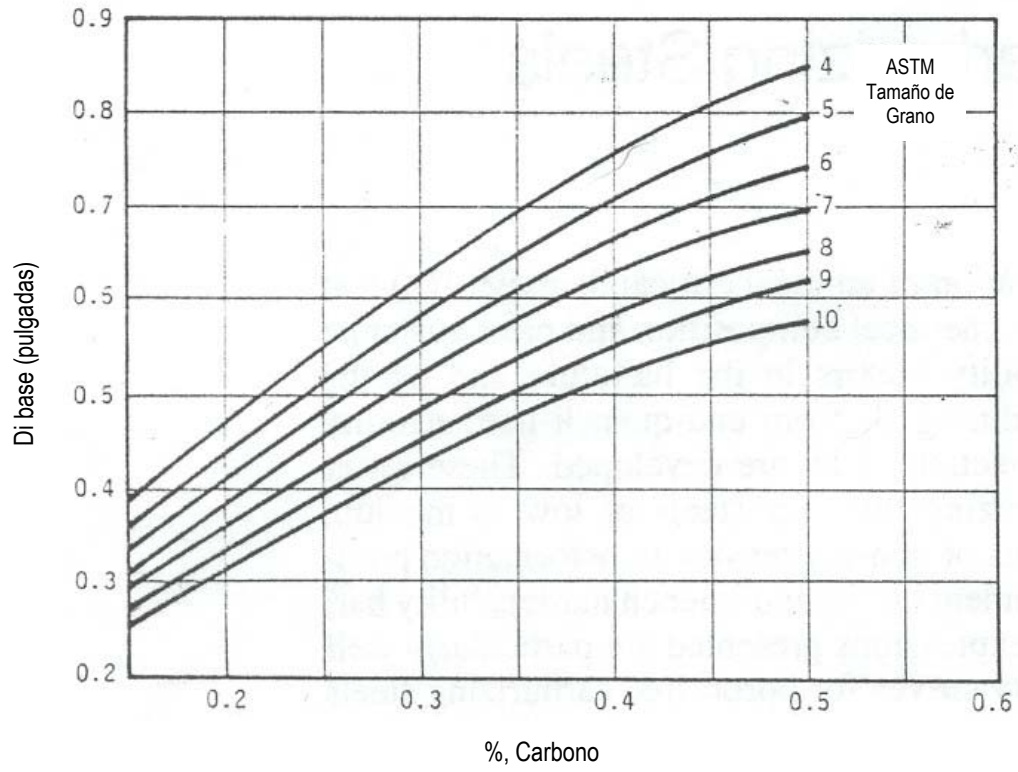
Anexo E. Dureza inicial en el núcleo.

Porcentaje de carbono	Dureza máxima, HRC (IH)
0,10	39,0
0,11	39,5
0,12	40,0
0,13	40,5
0,14	41,0
0,15	41,5
0,16	42,0
0,17	42,5
0,18	43,0
0,19	44,0
0,20	44,5
0,21	45,0
0,22	45,5
0,23	46,0
0,24	47,0
0,25	47,5
2,26	48,0
2,27	48,5
2,28	49,0

Anexo F. Relaciones IH/DH para diferentes distancias Jominy en aceros de cementación de diferentes D_i.

D _i , ln. (mm)	IH / DH											
	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J12	J16
0,8 (20,3)	1,12	1,43	2,27	2,72	3,14	3,53	3,9	4,26	4,62	5,01	5,66	7,16
0,9 (22,9)	1,09	1,32	1,94	2,39	2,76	3,09	3,39	3,69	3,99	4,31	4,88	6,15
1,0 (25,4)	1,07	1,24	1,69	2,12	2,44	2,72	2,97	3,22	3,47	3,72	4,21	5,3
1,1 (27,9)	1,05	1,18	1,51	1,90	2,19	2,42	2,63	2,83	3,04	3,24	3,66	4,57
1,2 (30,45)	1,04	1,14	1,38	1,71	1,96	2,17	2,35	2,51	2,67	2,85	3,21	3,97
1,3 (33,0)	1,03	1,11	1,29	1,57	1,79	1,97	2,12	2,26	2,39	2,53	2,84	3,47
1,4 (35,6)	1,03	1,09	1,23	1,45	1,65	1,81	1,95	2,06	2,17	2,29	2,55	3,06
1,5 (38,1)	1,02	1,07	1,19	1,37	1,54	1,69	1,81	1,91	2,00	2,10	2,31	2,73
1,6 (40,6)	1,02	1,07	1,16	1,30	1,45	1,59	1,70	1,79	1,87	1,96	2,14	2,47
1,7 (43,2)	1,02	1,06	1,14	1,25	1,39	1,52	1,62	1,70	1,76	1,85	2,00	2,27
1,8 (45,7)	1,02	1,05	1,13	1,22	1,34	1,46	1,56	1,64	1,71	1,78	1,90	2,12
1,9 (48,3)	1,02	1,05	1,12	1,20	1,31	1,42	1,52	1,59	1,65	1,72	1,83	2,00
2,0 (50,8)	1,02	1,05	1,11	1,18	1,29	1,40	1,49	1,56	1,62	1,69	1,78	1,92
2,1 (53,3)	1,01	1,04	1,10	1,17	1,27	1,37	1,46	1,54	1,60	1,66	1,74	1,85
2,2 (55,9)	1,01	1,04	1,08	1,16	1,26	1,36	1,45	1,52	1,58	1,64	1,72	1,81
2,3 (58,4)	1,01	1,03	1,07	1,16	1,25	1,34	1,42	1,50	1,57	1,63	1,69	1,78
2,4 (61,0)	1,01	1,03	1,06	1,15	1,24	1,32	1,40	1,48	1,55	1,61	1,67	1,75
2,5 (63,5)	1,01	1,03	1,05	1,14	1,23	1,31	1,38	1,45	1,51	1,57	1,64	1,72
2,6 (66,0)	1,01	1,02	1,05	1,13	1,21	1,29	1,36	1,43	1,49	1,55	1,61	1,69
2,7 (68,6)	1,01	1,02	1,05	1,12	1,19	1,27	1,34	1,41	1,47	1,52	1,58	1,66
2,8 (71,1)	1,01	1,02	1,05	1,11	1,18	1,25	1,32	1,38	1,44	1,49	1,55	1,63
2,9 (73,7)	1,01	1,02	1,05	1,10	1,17	1,24	1,30	1,36	1,41	1,46	1,52	1,60
3,0 (76,2)	1,00	1,02	1,04	1,09	1,15	1,22	1,28	1,33	1,38	1,43	1,49	1,58
3,1 (78,7)	1,00	1,02	1,04	1,09	1,14	1,20	1,26	1,31	1,36	1,40	1,46	1,55
3,2 (81,3)	1,00	1,02	1,04	1,08	1,13	1,19	1,24	1,29	1,33	1,37	1,43	1,52
3,3 (83,8)	1,00	1,01	1,04	1,07	1,12	1,17	1,22	1,26	1,30	1,34	1,40	1,49
3,4 (86,4)	1,00	1,01	1,03	1,06	1,10	1,15	1,20	1,24	1,28	1,31	1,37	1,46
3,5 (88,9)	1,00	1,01	1,03	1,05	1,09	1,14	1,18	1,22	1,25	1,29	1,34	1,43
3,6 (91,4)	1,00	1,01	1,03	1,04	1,08	1,12	1,16	1,19	1,22	1,26	1,32	1,40
3,7 (94,0)	1,00	1,01	1,03	1,03	1,06	1,10	1,14	1,17	1,20	1,23	1,29	1,37
3,8 (96,5)	1,00	1,01	1,02	1,02	1,05	1,08	1,10	1,14	1,17	1,20	1,26	1,34

Anexo G. Factores Multiplicadores de Retana y Doane para el carbono dado el tamaño de grano.



Anexo I. Tabla de especificaciones del sistema

Detalles	Requisitos mínimos
Sistema Operativo	Windows® 2000/XP
Motor de base de datos	FireBird™ 1.5
Resolución de la pantalla	800x600dpi 256 Colores
Procesador	x86
Memoria física	64MB
Espacio de almacenamiento físico	20MB
Periféricos	Teclado, Mouse.

Anexo J. Descripción general del código

A continuación se muestra el nombre de cada una de las unidades que contiene el software junto con su respectivo nombre de formulario, el módulo al que pertenece y una breve descripción de sus funciones.

Unidad	Formulario	Módulo	Descripción
UTablas	DBasel	BD	Realiza la conexión entre la base de datos física y el Manejador a través de DBExpress® (ver Conexión Base de datos - Manejador).
UMain	FMain	Manejador	Es la ventana principal del SW, en ella se encuentra el acceso a las funcionalidades de Selector a través de sus menús.
USplash	Splash	Manejador	Muestra la presentación del Software mientras se carga la información inicial.
UWait	FWait	Manejador	Contiene funciones que permiten actualizar la información de la base de datos lógica, presentando un diálogo de espera al usuario.
wndAbout	AboutBox	Manejador	Muestra la información de los autores y colaboradores del proyecto.
wndComentarios	frmComentarios	Manejador	Administra el historial de selección de cada acero.
wndDiseno	frmDisenar	Manejador	Gestiona la información requerida para realizar el diseño de un acero.
wndEAcero	frmEAcero	Manejador	Controla la información necesaria para la edición de un acero
wndGraph	frmGraph	Manejador	Publica los gráficos referentes a la Figura 5
wndHVEnf	frmHVEnf	Manejador	Retorna la velocidad de enfriamiento del radio de raíz calculada según RQ-2.19.4.1 a RQ-2.19.4.6 .
wndLeyendas	frmLeyendas	Manejador	Administra la visualización de las leyendas de los gráficos expuestos en Selector.
wndMBandas	frmBandas	Manejador	Selecciona la banda de templabilidad a ser modificada en el formulario frmEAcero.
wndNAcero	frmNAcero	Manejador	Gestiona la información requerida para ingresar un nuevo acero en la base de datos.
wndPostSeleccion	frmPostSeleccion	Manejador	Controla la información para realizar una PostSelección (ver RQ-2.18 a RQ-2.29)

wndRDiseno	frmRDisenar	Manejador	Muestra los resultados del diseño de un acero.
wndRPostSeleccion	frmRPostSeleccion	Manejador	Ilustra los resultados de la PostSelección
wndRSeleccion	frmRSeleccion	Manejador	Expone los resultados de la selección de un acero.
wndSeleccion	frmSeleccion	Manejador	Administra la información requerida para realizar la selección de un acero
wndToleracias	frmToleracias	Manejador	Selecciona los niveles de tolerancias usados para realizar una selección.
wndUnidades	frmUnidades	Manejador	Elige el sistema de medidas a usar por Selector.
wndVAcero	frmVAcero	Manejador	Muestra la información referente a los aceros seleccionados o postseleccionados.
ULnzSel	FLnz	Manejador	Se encarga de tomar un conjunto de tuplas y encontrar a través del método de mínimos cuadrados la función que mejor se ajusta.
FrmStd	StdFrm	Manejador	Es el padre de las ventanas modales usadas en Selector, contiene algunas funciones básicas y los estándares de visualización.
Funciones	---	Manejador	Contiene un conjunto de procedimientos y funciones estándares usadas frecuentemente en el software.
Selector	---	Manejador	Este es el archivo de proyecto de Delphi™
Librerias	---	Kernel	Contiene las funciones de cambio de unidades entre los sistemas de medidas usados. Además, contiene las interfaces entre las librerías de acceso dinámico y Selector.
USelector	---	Kernel	Es el corazón de Selector, en él se desarrollan todas las funciones y procedimientos principales (ver Estructura interna del software)