



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**“AUTOMATIZACIÓN DEL ANÁLISIS MICRO-
ESTRUCTURAL DE LOS ACEROS TRATADOS
TÉRMICAMENTE MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE
LABVIEW, IMPLEMENTADO EN EL LABORATORIO DE
TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LA FACULTAD DE
MECÁNICA”**

TIERRA SANI GEOVANNY ALFONSO

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

RIOBAMBA – ECUADOR

2015

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2013-04-22

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

TIERRA SANI GEOVANNY ALFONSO

Titulada:

**“AUTOMATIZACIÓN DEL ANÁLISIS MICRO-ESTRUCTURAL DE LOS
ACEROS TRATADOS TÉRMICAMENTE MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE
LABVIEW, IMPLEMENTADO EN EL LABORATORIO DE TRATAMIENTOS
TÉRMICOS DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Ing. Marco Santillán Gallegos
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Marco Almendáriz Puente
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Pablo Montalvo Jaramillo
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: TIERRA SANI GEOVANNY ALFONSO

TÍTULO DE LA TESIS: “AUTOMATIZACIÓN DEL ANÁLISIS MICRO-ESTRUCTURAL DE LOS ACEROS TRATADOS TÉRMICAMENTE MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE LABVIEW, IMPLEMENTADO EN EL LABORATORIO DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LA FACULTAD DE MECÁNICA”

Fecha de Examinación: 2015-05-14

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Carlos Santillán Mariño PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Marco Almendáriz Puente DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Pablo Montalvo Jaramillo ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Carlos Santillán
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Geovanny Alfonso Tierra Sani

DEDICATORIA

A mis padres; Jaime Rodrigo y María Isabel, quienes desde el primer día me brindaron su incondicional apoyo enseñándome a nunca desmayar en este largo camino hacia la consecución de esta gran meta en mi vida pre-profesional.

A mis hermanos Freddy y Angélica, ya que si no fui un ejemplo de superación para ellos espero serlo para sus hijos.

También a todos quienes de una u otra manera me brindaron su apoyo y pusieron su hombro para que al final del camino pueda llegar por fin a culminar mi sueño.

Geovanny Alfonso Tierra Sani

AGRADECIMIENTO

A mi familia; en especial a mis padres, pilares fundamentales en mi vida. Su tenacidad y lucha incansable han hecho de ellos el gran ejemplo a seguir.

También dedico este proyecto a Diana Marcillo, compañera inseparable de cada jornada ella ha sido fuerza para continuar luchando por todas las metas y sueños propuestos en mi vida. Sin ellos no hubiese podido ser posible terminar con éxitos esta etapa de mis estudios; A ellos este logro.

Geovanny Alfonso Tierra Sani

CONTENIDO

Pág.

1.	INTRODUCCIÓN	
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación.....	1
1.3	Objetivos.....	2
1.3.1	Objetivo general.....	2
1.3.2	Objetivos específicos.....	2
2.	MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO	
2.1	Concepto de automatización.....	4
2.2	Clases de automatización.....	4
2.2.1	Automatización fija.....	4
2.2.2	Automatización flexible.....	5
2.2.3	Automatización programable.....	5
2.3	Elementos de la automatización.....	6
2.4	¿Qué es LabVIEW?.....	7
2.4.1	Ventajas de usar LabVIEW.....	7
2.5	Herramientas de la función vision and motion.....	8
2.6	Principios de programación en LabVIEW.....	9
2.7	Definición de materiales.....	10
2.7.1	Propiedades de los materiales.....	10
2.7.2	Tratamientos térmicos.....	10
2.7.3	Temple.....	11
2.7.4	Factores que influyen en la práctica del temple.....	12
2.7.5	Fase de calentamiento en el temple.....	12
2.7.6	Tiempo de permanencia en el temple.....	14
2.7.7	Fase de enfriamiento en el temple.....	15
2.7.8	Transformación de los micro-constituyentes en el temple.....	17
2.7.9	Agentes de enfriamiento.....	19
2.7.10	Dureza HRC.....	19
2.7.11	Diagramas TTT (Tiempo-Temperatura-Transformación).....	19
2.7.12	Curvas de la “S”.....	20
2.8	Recocido.....	22
2.8.1	Tipos de recocido.....	22
3.	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ANALISIS METALOGRAFICO	
3.1	Constituyentes de los materiales ferrosos.....	24
3.2	Selección de los materiales, efecto del estudio.....	27
3.3	Corte de aceros.....	28
3.4	Tratamiento térmico de las probetas.....	30
3.4.1	Tiempo de calentamiento del horno (Tc).....	31
3.4.2	Tiempo de permanencia en el horno (Tp).....	32
3.4.3	Tiempo de enfriamiento (Te).....	32
3.4.4	Tiempo total del tratamiento térmico (Tt).....	33
3.5	Montaje de probetas.....	35
3.6	Desbaste.....	38

3.7	Pulido	39
3.7.1	Químicos utilizados para el análisis metalográfico.....	40
3.8	Secado	41
3.9	Ataque metalográfico	42
3.9.1	Preparación de reactivos	42
3.9.2	Tiempo de ataque	45
3.9.3	Neutralización del ataque.....	45
3.10	Observación metalográfica	46
3.10.1	Pantalla de visualización.....	48
3.11	Fotografías de las probetas tratadas térmicamente.	49
4.	VARIABLES A SER MEDIDAS E UTILIZADOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN	
4.1	Base de datos de los aceros tratados térmicamente.....	56
4.2	Elección y adquisición de la cámara	63
4.2.1	Parámetros que consideramos importantes para la selección de la cámara.	65
4.2.2	Información de la cámara OMAX A3530U.....	66
4.2.3	Características.	67
5.	PROGRAMACIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	
5.1	Elección de programa.....	68
5.1.1	VI 1. Ingreso a página de programación. (login).	68
5.1.2	VI 2. Capturar imagen (Adquisición).	71
5.1.3	VI 3. Comparación de patrones (Búsqueda).	72
5.1.4	VI 4. Resultados (Información).	75
5.1.5	VI 5. Diagramas.	77
5.1.6	VI 6. Ayuda (manuales).	78
5.2	Prueba y análisis de resultados de la programación.....	80
5.3	Primer análisis de resultados obtenidos	82
5.4	Segundo análisis de resultados obtenidos	85
5.5	Resumen del análisis de resultados	87
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
6.1	Conclusiones	88
6.2	Recomendaciones.....	88

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1	Temperaturas de austenización para aceros al carbono..... 13
2	Temperatura de austenización completa e incompleta de algunos aceros 14
3	Aceros más comunes de la industria 19
4	Temperaturas de recocido de regeneración 22
5	Listado de aceros Ivan Bohman 28
6	Listado de aceros Bohler 28
7	Numeración de discos de corte..... 29
8	Tiempos de calentamiento, permanencia y enfriamiento de los aceros en estudio34
9	Tiempo de exposición de reactivos 44
10	Medidas de objetivo y ocular 47
11	Material Ivan Bohman ARNE..... 49
12	Material Ivan Bohman XW41 49
13	Material Ivan Bohman Calmax 50
14	Material Ivan Bohman 760..... 50
15	Material Ivan Bohman Impax 718..... 51
16	Material Ivan Bohman 8407..... 51
17	Material Ivan Bohman 147M 52
18	Material Ivan Bohman SAE 1018 52
19	Materiales Bohler E920..... 53
20	Materiales Bohler W302 53
21	Materiales Bohler M238..... 54
22	Materiales Bohler K100 54
23	Materiales Bohler 1010 55
24	ARNE – AISI 01 – Templado en agua..... 56
25	ARNE – AISI 01 – Templado en aceite 59
26	ARNE – AISI 01 – Recocido 61
27	Parámetros analizados para la adquisición de la cámara..... 63
28	Comparaciones con varios tipos de cámaras 64
29	Especificaciones de la cámara OMAX A3530U 66
30	Nombre de usuario y contraseña 69
31	Evaluación prueba 1 83
32	Evaluación prueba 1 85

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1	Automatización fija 4
2	Automatización flexible 5
3	Automatización programable 6
4	Menú IMAQ USB 8
5	Pattern Matching.llb/ IMAQ Pattern 2 8
6	Application Directory 9
7	Ni- IMAQ 9
8	Pattern Matching.llb/ IMAQ Pattern 3 9
9	Materiales 10
10	Austenización de una pequeña pieza de acero a diferentes temperaturas 14
11	Procesos de calentamiento desde el estado austenítico de una aleación Fe-C eutectoide a diferentes velocidades de enfriamiento 16
12	Procesos de enfriamiento de un acero eutectoide 17
13	Velocidades de temple de los aceros al carbono Hipoeutectoides 17
14	Transformación micro-estructural de un acero DF2 18
15	Ejemplo de diagrama TTT para un acero 20
16	Curva de la “S” de un acero 0,90% de C 21
17	Ferrita 24
18	Cementita 24
19	Perlita 25
20	Martensita 25
21	Austenita 26
22	Troostita 26
23	Bainita 26
24	Discoton 29
25	Disco de corte 29
26	Corte de probetas 30
27	Equipo de seguridad para tratamiento térmico 31
28	Horno eléctrico 31
29	Aceite y agua para enfriamiento 32
30	Tiempo total del tratamiento térmico 33
31	Acero tratado térmicamente 33
32	Prontopress 36
33	Baquelita 36
34	Diámetro de la probeta encapsulada 37
35	Proceso de encapsulado 37
36	Probetas montadas en baquelita 38
37	Mesa de lijado 38
38	Desbaste con lija N° 100 39

39	Maquina pulidora	40
40	Pulido de materiales	40
41	Enjuague de probeta	41
42	Secado de probeta.....	41
43	Reactivos	43
44	Ataque químico de probetas	45
45	Neutralización del ataque químico	46
46	Microscopio óptico.....	46
47	Microestructura observada a 500x	47
48	Pantalla de visualización	48
49	Cámara Omax A3530U	67
50	Pantalla de inicio de LabVIEW 2012.....	68
51	Programa de Ingreso.....	69
52	Pantalla de inicio del programa	70
53	Programación de la captura de imagen.....	71
54	Pantalla de captura de imagen	72
55	Diagrama de bloques de búsqueda de información.....	73
56	Pantalla de comparación de imagen	74
57	Herramienta para la comparación de imagen	74
58	Diagrama de bloques de resultado de la búsqueda.....	75
59	Diagrama de bloques para la base de datos	76
60	Pantalla de resultados	77
61	Diagrama de bloques de ventana diagramas	77
62	Panel frontal de la ventana diagramas	78
63	Diagrama de bloques programación de manuales	79
64	Panel frontal de la ventana ayuda.....	79
65	Diagrama de procesos ventana ayuda	80
66	Fotografías de identificaciones fallidas.....	84
67	Diagrama de bloques de la base de datos con 5 fotografías.....	84
68	Fotografías de identificaciones acertadas.....	86
69	Base de datos del segundo control con 20 imágenes.....	87

LISTA DE ABREVIACIONES

LabVIEW	Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench
VI	Instrumentos virtuales
NI	National Instruments
ASTM	American society for testing and Materials
CCD	Cámaras de dispositivo de carga acoplada
CMOS	Cámaras de semiconductor de óxido metálico complementario
AISI	Association of Iron and Steel Engineers
SAE	Society of Automotive Engineers
UNE	Unión de Normas Españolas
AFNOR	Organización Nacional Francesa para la Estandarización
DIN	Instituto Alemán de Normalización
ASME	American society of Mechanical Engineers
MTF	Función de Transferencia de Modulación (Modulation Transfer Function)
CNC	Control Numérico Computarizado
MTU	Unidad Terminal Master
RTU _s	Unidad Terminal Remota
Lenguaje G	Lenguaje grafico
NI-IMAQ	Paquete de imágenes de instrumentos virtuales de National Instruments
lvproject	Extensión de LabVIEW
T/F	Verdadero o falso
HB	Dureza Brinell
FE-C	Hierro carbono
T	Tiempo
D	Diámetro de la probeta
TTT	Tiempo temperatura transformación
T ₀	Tiempo inicial
CFe ₃	Carburo de hierro
T _c	Tiempo de calentamiento
T _p	Tiempo de permanencia
T _e	Tiempo de enfriamiento
T _e	Tiempo de enfriamiento
EPP	Equipo de protección personal
PSI	Unidad de presión en el sistema anglosajón
μm	Micrómetros
P _s	Perlita gruesa
P _f	Perlita fina
M _s	Martensita gruesa
M _f	Martensita fina

Bs	Inicio de la transformación a la Bainita
Bf	Finalización de la transformación Bainita
Ar'	Iniciación de la troostita
Ar'''	Iniciación de martensita

LISTA DE ANEXOS

- A** Manual de mantenimiento
- B** Manual de seguridad
- C** Manual de uso LabVIEW
- D** Porcentaje de micro-constituyentes
- E** Manual de uso TopVIEW
- F** Diagrama de proceso
- G** Tablas de conversión de dureza
- H** Fichas de información de los aceros

RESUMEN

El presente trabajo trata de la automatización del análisis metalográfico micro estructural de los aceros tratados térmicamente mediante la utilización de LabVIEW, implementado en el laboratorio de materiales de la facultad de mecánica.

Mediante la observación metalográfica podemos analizar la microestructura de los aceros, por tal razón se ha desarrollado la programación de un software en LabVIEW 2012 que permite reconocer automáticamente el tipo de acero y tratamiento térmico al cual fue expuesto. Así también otros datos importantes como: equivalencias en otras normas, características, utilización, composición químicas, diagrama hierro-carbono, curvas TTT, porcentaje de micro constituyentes, dureza, tiempo de ataque metalográfico y reactivo utilizado. Todos estos datos fueron recolectados y se muestran en una pestaña de información dentro de un instrumento virtual (ficheros de programación desarrollados en LabVIEW con interfaz hombre - máquina).

Lo que el programa hace es capturar una fotografía de una microestructura de acero luego la compara con las fotografías existentes en la base de datos identifica de qué tipo de acero se trata y nos muestra una hoja de resumen con datos exactos de sus principales características y propiedades térmicas. De esta manera reducimos el proceso de análisis metalográfico de 30 minutos a 2 minutos máximo que es el tiempo que tarda el software en identificar el material expuesto. Lo cual implica una reducción en el tiempo de trabajo, datos mucho más técnicos y con mayor exactitud que fue la premisa para desarrollar esta investigación.

Este trabajo servirá a estudiantes y profesionales que estén incursionando en temas referentes a la automatización industrial, metalografía y programación en LabVIEW. La metodología utilizada incluye una importante base teórica y práctica. A nivel teórico incorpora términos, conceptos de autores muy reconocidos en el medio de la investigación, y a nivel práctico cuenta con una extensa base de datos la que contiene información de varios tipos de acero.

ABSTRAC

The present paper is about micro structural metallographic analysis automation of the steel treated thermally by means of Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench (LabVIEW) usage implemented at material laboratory of Mechanics Faculty.

Micro structure of steel can be analyzed by means metallographic observation that is why software programming has been developed in LabVIEW 2012 in order to recognize automatically the kind of steel and thermal treatment which it has been exposed to as well as other important data such as: equivalences in other norms, characteristics, usage, chemical composition, iron-coal diagram, Temperature, Time and Transformation (TTT) curves, micro constituent percentage, hardness, metallographic attack time and reactive. All these data were collected and they are shown in an information chart into a virtual instrument (programming files developed in LabVIEW with man-machine interface)

This program captures a shot of a steel micro structure; it compares it with the shots existing in the data basis and identifies what kind of steel is. Then it shows a summary sheet with exact data of the main characteristics and thermal properties. So, metallographic-analysis process is reduced from 30 minutes to up 2 minutes. This time was used by this software to identify the exposed material. This implied a work time reduction, technical and more accurate data than the first time in order to develop this research.

This research will be useful for students and professionals who have knowledge about industrial automation, metallography and programming in LabVIEW. Theory and practice were used as methodology. The theory incorporates terms, author concepts who know about research and practice has a data basis containing several kind of steel information.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes.

LabVIEW (acrónimo de Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) es un entorno de programación destinado al desarrollo de aplicaciones, empleando la programación gráfica o lenguaje G para crear programas basados en diagramas de bloques. Tiene su mayor aplicación en sistemas de medición, monitoreo de procesos, aplicaciones de control industrial, procesamiento digital en tiempo real de aplicaciones biomédicas, manipulación de imágenes, automatización, diseño de filtros digitales, generación de señales entre otras, etc.

Para el empleo de LabVIEW no se requiere gran experiencia en programación, ya que se emplean iconos, términos e ideas familiares a científicos e ingenieros, y se apoya sobre símbolos gráficos en lugar de lenguaje escrito para construir las aplicaciones. Por ello resulta mucho más intuitivo que el resto de lenguajes de programación convencionales.

A medida que el hombre desarrolla nuevas tecnologías, en la industria surge la necesidad de contar con modernos sistemas automatizados que facilite las labores de producción en serie y de esta forma incrementar la productividad, reducir los tiempos de operación, disminuir costos de operación y mantenimiento entre otros.

Este trabajo pone en evidencia la sólida competencia técnica y práctica adquirida durante estos años. Ya que en el inmiscuye a distintos campos profesionales como son: el diseño, la planificación, formulación y evaluación, el control, la mejora continua, el mantenimiento incluyendo también la seguridad con la que debe ser desarrollado un proyecto en este caso el de Automatizar un proceso.

1.2 Justificación

Con la llegada de la revolución Industrial, la producción en serie es el medio más

utilizado en la industria al momento de fabricar cada uno de sus productos. Entre la gran variedad de softwares de programación sobresale LabVIEW ya que no requiere gran experiencia para su uso puesto que se emplean símbolos gráficos familiarizados con la ingeniería.

Este software nos permite comandar, controlar y supervisar los procesos industriales. Por tal virtud crearemos un instrumento virtual que sirva para automatizar el análisis metalográfico de los aceros tratados térmicamente en los laboratorios de Metalúrgica de la Facultad de Mecánica. Lo cual nos permite obtener datos experimentales de mejor calidad, en tiempos muy cortos y con una mayor exactitud.

El laboratorio de Metalúrgica de la Facultad de Mecánica necesita un sistema de automatización del análisis micro-estructural de los aceros, el mismo que es necesario para comparar patrones fotográficos de microestructuras tratadas térmicamente.

Desde el punto de vista técnico este sistema constituye un nuevo material didáctico eficiente y efectivo, con el fin de que los alumnos tengan una enseñanza tanto teórica como práctica con la ayuda del software LabVIEW.

Al ser un instrumento de uso estudiantil, la implementación del sistema, disminuirá costos en investigaciones posteriores. Incrementando el prestigio de la Facultad y de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo al contar con nueva infraestructura tecnológica.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Automatizar el análisis micro-estructural de los aceros tratados térmicamente mediante la utilización de LabVIEW, implementado en el laboratorio de tratamientos térmicos de la Facultad de Mecánica.

1.3.2 *Objetivos específicos.* Reducir tiempos de trabajo y costos en el análisis micro-estructural de los aceros tratados térmicamente, con la ayuda del software desarrollado en LabVIEW.

Realizar la programación de búsqueda automática para la comparación de patrones

fotográficos permitiendo tecnificar y mejorar la calidad de los resultados.

Tratar térmicamente aceros Bohler y aceros Bohman de bajo y medio contenido de carbono que fueron tratados térmicamente, que incremente la precisión al momento de comparar las fotografías microestructurales.

Utilizar las herramientas NI-IMAQ y sus aplicaciones fotográficas para automatizar el análisis micro-estructural de los aceros tratados térmicamente.

Conocer los distintos procesos que forman parte de las prácticas metalográficas y de tratamientos térmicos para aplicarlos correctamente.

CAPÍTULO II

2. MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO

2.1 Concepto de automatización

La automatización industrial es el uso de sistemas o elementos computarizados y electromecánicos utilizados para controlar maquinarias o procesos industriales. Abarca la instrumentación industrial, que incluye los elementos de campo, los sistemas de control, supervisión, transmisión y recolección de datos. Además las aplicaciones del software en tiempo real para supervisar y controlar procesos industriales. (Tompkins, 2006)

2.2 Clases de automatización

La automatización industrial se divide en tres grupos:

2.2.1 Automatización fija. Es un sistema en el cual la secuencia de las operaciones de proceso (o ensamble) está determinada por la configuración del equipo. Esta secuencia de operaciones usualmente es simple. Entre las principales características de la automatización fija tenemos:

- Los altos costos que implica su instalación.
- Se la utiliza para obtener elevados niveles de producción.
- Tiene poca facilidad para aceptar cambios en los productos.

Figura 1. Automatización fija



Fuente: <http://goo.gl/sbweiK>

2.2.2 Automatización flexible. “Un sistema automatizado flexible es aquel que puede producir una variedad de productos (o partes) con virtualmente ninguna pérdida de tiempo para cambios entre un producto y el siguiente. No hay tiempo de producción perdido mientras se reprograma el sistema y se cambia la preparación física (herramientas, aditamentos, parámetros de las máquinas)”. (BISHOP, 2009)

En consecuencia, el sistema puede producir varias combinaciones y programaciones de productos, en lugar de requerir que se hagan en lotes separados. Las características de la automatización flexible se pueden resumir en:

- Alta inversión en un sistema diseñado bajo requerimientos específicos.
- Producción continua de mezclas variables de productos.
- Tasas de producción medias.
- Flexibilidad para adaptarse a variaciones en el diseño del producto.

Figura 2. Automatización flexible



Fuente: <http://goo.gl/Ohzf80>

2.2.3 Automatización programable. “Se emplea cuando el volumen de producción es relativamente bajo y hay una diversidad de producción a obtener mediante la ayuda de un software. Los sistemas de producción automatizada que son programables son utilizados en volúmenes de producción bajos o medios”. (GÓMEZ, 2004)

De entre las características principales sobresalen las siguientes:

- Alto costo de instalación
- Flexibilidad para cambios de producto

- Alto volumen de producción
- Mayor flexibilidad en el tipo de producción
- Reprogramación de robots, máquinas CNC, autómatas programables, etc.
- Programable para adaptarse a variaciones del producto

Figura 3. Automatización programable



Fuente: <http://goo.gl/WXMFDy>

2.3 Elementos de la Automatización

Existen elementos claves que serán de utilidad para tener un sistema semiautomatizado. Por lo que las características necesarias en los elementos a controlar requieren obedecer una simple orden de mando, sin regresar algún tipo de retroalimentación.

Para conocer el funcionamiento de una red de automatización es necesario contar con los siguientes elementos de la automatización.

Ordenador central. Supervisa y recoge la información del resto de las subestaciones.

Ordenadores remotos. Reciben las señales de los sensores de campo, y comandan los elementos finales de control ejecutando el software de la aplicación.

Red de comunicación. Éste es el nivel que gestiona la información que los instrumentos de campo envían a la red de ordenadores desde el sistema. Pueden ser tecnología cableada (Eléctrica, hidráulica, Neumática) o tecnología programada (Autómatas programables, Ordenador de procesos, Sistema de control distribuido).

Instrumentos de campo. Son todos aquellos que permiten realizar la automatización o control del sistema. Cámaras, Sensores, Potencia, Actuadores.

2.4 ¿Qué es LabVIEW?

LabVIEW (acrónimo de Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) posee un ambiente de desarrollo gráfico dinámico, con funciones integradas para realizar adquisición de datos, control de instrumentos, análisis de mediciones, presentación de datos entre otras. Es compatible con herramientas de desarrollo similares y puede trabajar con programas de otra área de aplicación. Incluye librerías específicas para la adquisición de datos, control de instrumentación, análisis presentación y guardado de datos. Además es de fácil integración con hardware, específicamente con tarjetas de medición, adquisición y procesamiento de datos (incluyendo adquisición de imágenes).

Para el empleo de LabVIEW no se requiere gran experiencia en programación, ya que se emplean iconos, términos e ideas familiares a científicos e ingenieros, y se apoya sobre símbolos gráficos en lugar de lenguaje escrito. Por ello resulta mucho más intuitivo que el resto de lenguajes de programación convencionales (HOLGUIN, 2002).

2.4.1 *Ventajas de usar LabVIEW.*

Integra instrumentos de medida. Con LabVIEW puede conectarse a miles de instrumentos de medida, controladores de movimiento y sistemas de adquisición de imagen ya que trabaja con más de 1000 librerías de instrumentos de cientos de fabricantes.

No es un gasto es una inversión. Utilizando un sistema basado en LabVIEW, tiene acceso a sistemas de instrumentación completos con costos mucho más bajos que un único instrumento comercial. National Instruments también asegura que los programas que desarrolla hoy pueden migrar para aprovechar las tecnologías del futuro de una forma más rápida que con métodos tradicionales.

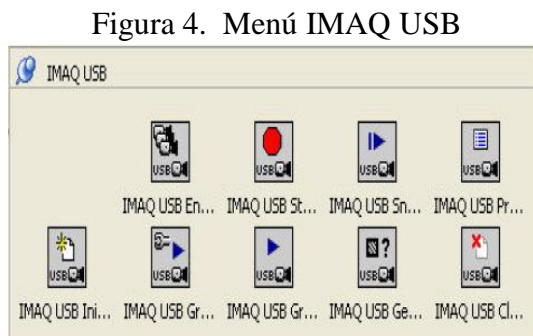
Monitoreo y control de procesos y máquinas. Puede realizar medidas y control de alta velocidad y con muchos canales. Para aplicaciones de automatización industrial complejas y a gran escala de fácil monitoreo.

Repotencia el rendimiento de su sistema. “Debido a que la instrumentación virtual está basada en la tecnología informática estándar, usted puede disfrutar de un aumento

exponencial en el rendimiento con un costo mucho más bajo que el de un nuevo instrumento de medida”. (SABOGAL, 2012)

2.5 Herramientas de la función vision and motion

Adquisición de imágenes con NI IMAQ para cámaras USB. Describe los conceptos básicos e información para aplicaciones con “NI-IMAQ for USB Cameras”. LabVIEW soporta una gran cantidad y variedad de cámaras ya sean estas webcams, microscópicas, escáneres y otras.



Fuente: Software LabVIEW 2012

Pattern Matching/ IMAQ Pattern 2. Crea una descripción de la imagen de la plantilla que desea buscar en la fase de coincidencia de patrones. Esta descripción de datos se añade a la imagen de la plantilla de salida. Durante la fase de adaptación, el descriptor de plantilla se extrae de la imagen de la plantilla y se utiliza para buscar la plantilla de la imagen en la inspección.

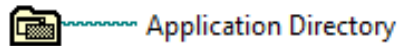
Figura 5. Pattern Matching.llb/ IMAQ Pattern 2



Fuente: Software LabVIEW 2012

Application Directory. Si se llama a este VI desde el entorno de desarrollo y el VI está cargado en un archivo de proyecto de LabVIEW (.lvproj), este VI devuelve la ruta a la carpeta que contiene el archivo de proyecto. Si el proyecto no se guarda, este VI devuelve un mensaje que dice < No es un trazado >.

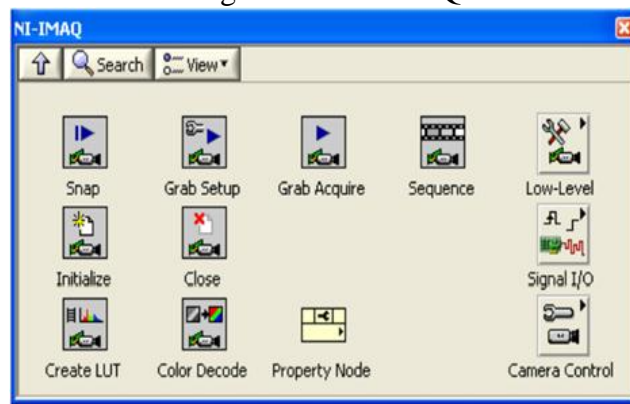
Figura 6. Application Directory



Fuente: Software LabVIEW 2012

Ni-Imaq. Sirve para muchas aplicaciones entre las que destacan la adquisición de imágenes, es decir abrir y cerrar interfaces para cámaras USB provee a través de su Asistente de Visión.

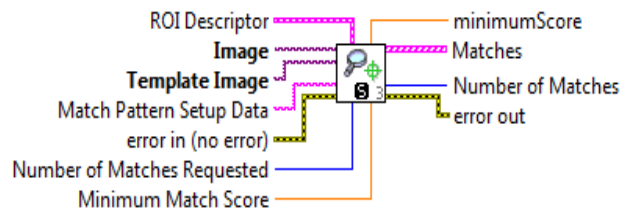
Figura 7. Ni- IMAQ



Fuente: Software LabVIEW 2012

Pattern Matching/IMAQ Pattern 3. Las búsquedas de patrón o imagen de la plantilla, en una imagen de inspección.

Figura 8. Pattern Matching.llb/ IMAQ Pattern 3



Fuente: Software LabVIEW 2012

2.6 Principios de programación en LabVIEW

De acuerdo a PELEGRI Sebastián 2010 en su libro titulado “Entorno gráfico de programación” cuando se crea un objeto en el Panel Frontal “Un terminal es creado en

el Diagrama de Bloques. Estos terminales permiten tener acceso a los objetos colocados en el Panel desde el código del Diagrama de Bloques. Cada terminal contiene información útil acerca de su objeto correspondiente ubicado en el Panel de Control. Por ejemplo, el color y símbolos proveen información acerca del tipo de dato; así los terminales booleanos son verdes con el indicativo de *T/F*” (PELIGRI, 2010).

2.7 Definición de materiales

En ingeniería, material es una sustancia (elemento o, más comúnmente compuesto químico) con alguna propiedad útil, sea mecánica, eléctrica, óptica, térmica o magnética. El material puede ser simple o complejo y también heterogéneo.

Figura 9. Materiales



Fuente: <http://goo.gl/iK4IO4>

2.7.1. Propiedades de los materiales. Son las características que los definen y distinguen de los demás materiales y se clasifican en:

- Propiedades físicas
- Propiedades mecánicas
- Propiedades térmicas
- Propiedades eléctricas
- Propiedades ópticas
- Propiedades magnéticas
- Propiedades químicas
- Propiedades tecnológicas

2.7.2. Tratamientos térmicos. El tratamiento térmico modifica la estructura de los materiales metálicos mediante ciclos de calentamiento y enfriamiento. Esto permite modificar ciertas propiedades, sobre todo mecánicas, relacionadas con la estructura de

los metales. Sólo son susceptibles de tratamientos térmicos las aleaciones que experimentan transformaciones en estado sólido (BARREIRO, 2009).

Estos tratamientos térmicos se aplican principalmente en los aceros. Es preciso, para comprender las transformaciones de la estructura de un acero, conocer sus componentes estructurales. Las variaciones de las propiedades vienen dadas en función del contenido de carbono, según el contenido de carbono se distingue tres tipos de aceros:

Eutectoide. Acero con un 0,86% de Carbono, formando una estructura llamada perlita.

Hipoeutectoide. Acero con menos del 0,86% de Carbono, formando una estructura no equilibrada llamada ferrita-perlita.

Hipereutectoide. Acero con más de 0,86% de Carbono, dando una estructura no equilibrada que se designa con el nombre de perlita-cementita.

2.7.3 Temple. Es el proceso consiste en el calentamiento y enfriamiento de un metal en su estado sólido para cambiar sus propiedades físicas. El fin que se pretende generalmente conseguir en este ciclo es transformar toda la masa de acero con el calentamiento en austenita y después, por medio de un enfriamiento suficientemente rápido, se convierte la austenita en martensita, que es el constituyente típico de los aceros templados. El temple busca los siguientes objetivos:

- Aumenta la dureza.
- Disminuye la ductilidad.
- Aumenta la fragilidad.

2.7.3.1 Clases de temple. Se emplean modernamente ocho clases de temples que se diferencian tanto por la técnica de operación como por los resultados obtenidos, se los realiza dependiendo la utilización. Se clasifican en:

Temples normales

- De austenización completa
- De austenización incompleta

Temple interrumpidos

- En agua y aceite
- En agua y aire

Temple isotérmicos

- En agua y aceite
- Martempering

Temple superficiales

- Oxiacetilénico
- Por inducción

2.7.4 *Factores que influyen en la práctica del temple.* Durante los tratamientos térmicos, el acero sufre deformaciones, debido al desigual y rápido enfriamiento de las diferentes partes de las piezas, asimismo experimenta cambios de volumen debido a la dilatación térmica por lo que debemos considerar los siguientes factores:

- Composición del acero
- Diferencia de masas
- Temperatura y tiempo de calentamiento
- Tipo de horno (protección o no)
- Velocidad de enfriamiento.
- Medios de enfriamiento

2.7.5 *Fase de calentamiento en el temple.* Esta fase tiene por objeto, en teoría, transformar toda la masa del acero en austenita. Su desarrollo está definido por tres variables:

- Velocidad de elevación de temperatura
- Permanencia en la temperatura límite
- Temperatura límite

La temperatura máxima que debe alcanzar el horno se indica en las especificaciones de cada tratamiento térmico, y dentro de ellos los fabricantes precisan la temperatura más conveniente para cada tipo de aleación. Cabe indicar también que es recomendable elevar en 50°C la temperatura del horno para que la austenita se forme completamente.

La temperatura de austenización de algunos tipos de acero podemos observar en la siguiente tabla:

Tabla 1. Temperaturas de austenización para aceros al carbono

Porcentaje de carbono [%]	Temperatura [°C]	Porcentaje de carbono [%]	Temperatura [°C]
0,1	925	0,8	780
0,2	900	0,9	775
0,3	870	1,0	770
0,4	840	1,1	770
0,5	830	1,2	765
0,6	810	1,3	760
0,7	790	1,4	760

Fuente: ALMENDÁRIZ Marco. Procesos Industriales. p.92

La tabla anterior indica el porcentaje de carbono y la temperatura de austenización de los aceros al carbono.

De ningún modo debe sobrepasar la temperatura indicada, pues se corre el riesgo de aumentar innecesariamente el tamaño del grano de los constituyentes, se procura no pasar de los 850°C en el calentamiento de los aceros.

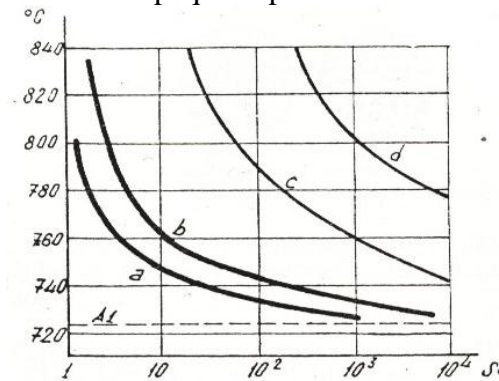
Cuando realizamos tratamiento térmico el tiempo de calentamiento depende de muchos factores que es importante tenerlos en cuenta.

A continuación describimos los factores más importantes que inciden al momento de templar un acero:

- La clase de acero
- El tamaño de las piezas
- La forma de las piezas y su estado superficial
- La clase o tipo de horno que se utilice

2.7.6. Tiempo de permanencia en el temple. Es el tiempo que el acero debe permanecer en el horno hasta alcanzar completamente el grado de austenización.

Figura 10. Austenización de una pequeña pieza de acero a diferentes temperaturas



Fuente: ALMENDARIZ Marco. Procesos Industriales. p. 93

Dónde:

a = Aparición de la austenita

b = Desaparición de la perlita

c = Disolución de los carburos

d = Homogenización de la austenita

A₁ = Temperatura de Austenización

2.7.6.1 Temperaturas de austenización. La temperatura de austenización para el temple de los aceros al carbono.

Tabla 2. Temperatura de austenización completa e incompleta de algunos aceros

% Carbono	Temperatura [°C]	Austenización
0.10	925	Completa
0.20	900	Completa
0.30	870	Completa
0.40	840	Completa
0.50	830	Completa
0.60	810	Completa
0.70	780	Completa
0.80	770	Completa
0.90	770	Completa
1.00	760	Incompleta
1.20	760	Incompleta

Fuente: Fuente: ALMENDÁRIZ Marco. Procesos Industriales. p.100

2.7.6.2. Tiempo de mantenimiento a la temperatura de temple. Durante este tiempo, contado desde el momento en que la temperatura es uniforme en todo el espesor de la pieza, deben complementarse todas las transformaciones necesarias para conseguir en el enfriamiento la finalidad deseada con el tratamiento.

Para secciones pequeñas secciones utilizaremos la siguiente fórmula:

$$t = 20 \frac{Dmm}{2} \text{ (min)} \quad (1)$$

Cuando las secciones son más grandes se calcula un mínimo de media hora y en total:

$$t = \frac{1}{22} + \frac{Dmm}{120} \text{ (Horas)} \quad (2)$$

2.7.7 Fase de enfriamiento en el temple. El enfriamiento es el proceso del temple que tiene gran importancia ya que su objetivo, en teoría, es transformar la totalidad de la austenita formada en otro constituyente muy duro, denominado martensita, aunque en alguna variedad de temple el constituyente final deseado es la bainita (BARINOV, 1998).

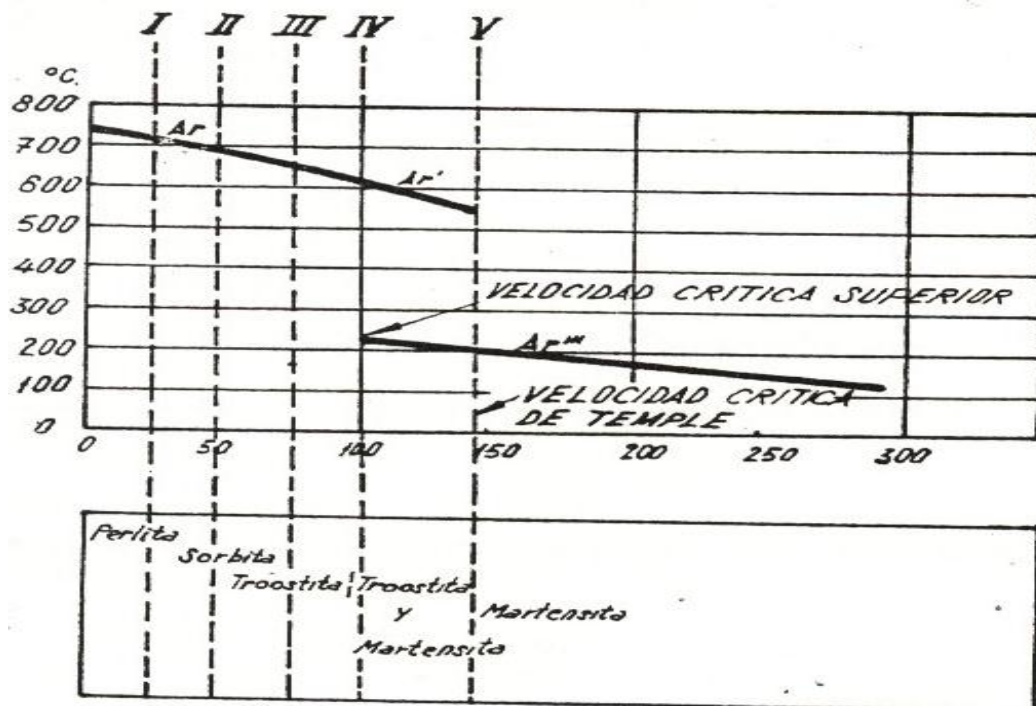
La velocidad de enfriamiento mínimo para que tenga lugar la formación de la martensita se denomina velocidad crítica de temple.

LÍNEA I. Enfriamiento lento en el interior del horno. El constituyente finalmente obtenido es perlita de poca dureza (200 HB).

LÍNEA II. Enfriamiento menos lento. La transformación de la austenita se retrasa más, y tiene lugar a unos 650°C, siendo el constituyente formado sorbita, cuya dureza es de 320 HB.

LÍNEA III. Enfriamiento medianamente rápido. La transformación de la austenita tiene lugar a 600°C, en esta fase el constituyente formado es la troostita que tiene un grado de dureza más elevado que los anteriores, pues tiene una dureza de alrededor de 450HB que es una dureza media.

Figura 11. Procesos de calentamiento desde el estado austenítico de una aleación Fe-C eutectoide a diferentes velocidades de enfriamiento



Fuente: ALMENDÁRIZ Marco. Procesos Industriales. p.96

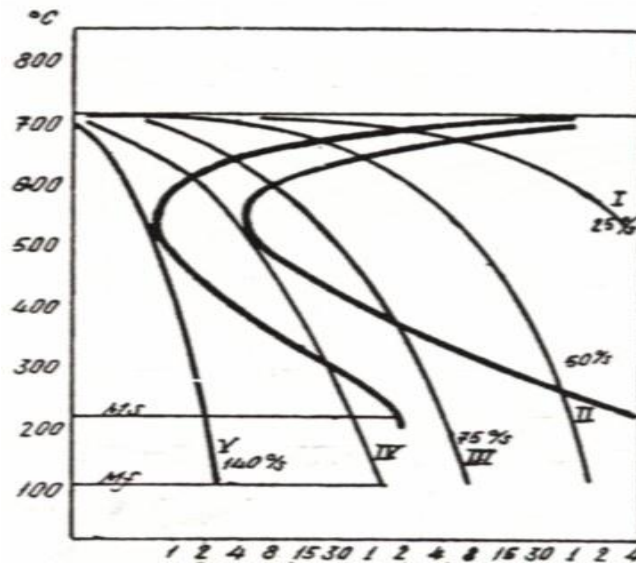
LÍNEA IV. A partir de una velocidad de enfriamiento determinada que se denomina primera velocidad crítica de temple o velocidad crítica inferior, se observa un desdoblamiento del punto crítico Ar en dos. Uno que se denomina Ar' (iniciación de la troostita) que aparece a temperaturas de unos 600°C, y otro punto de transformación Ar''' (iniciación de martensita), que aparece a unos 250°C, como se sabe la martensita es el constituyente característico de los aceros templados.

LÍNEA V. Enfriamiento rápido. A partir de una velocidad determinada de enfriamiento desaparece el primer punto de transformación Ar'. A partir de ella el único constituyente formado por transformación de la austenita, es la martensita, que es el único constituyente de los aceros que han adquirido un temple perfecto.

2.7.7.1. Velocidad crítica de temple. Es la velocidad de enfriamiento mínima para que la totalidad del acero se transforme en martensita. Las velocidades críticas de temple varían para los aceros al carbono de 200°C a 600°C por segundo.

Cabe indicar que a mayor velocidad de temple mayor será la dureza y mientras la velocidad de temple sea menor, el grado de dureza también disminuirá.

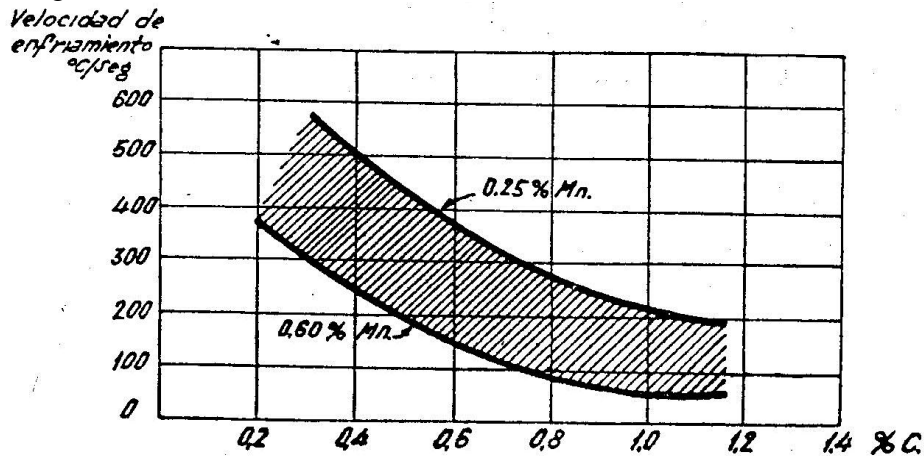
Figura 12. Procesos de enfriamiento de un acero eutectoide



Fuente: ALMENDÁRIZ Marco. Procesos Industriales. p.97

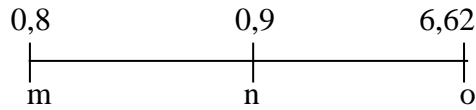
Los elementos de aleación hacen, en general, disminuir la velocidad crítica de temple, pudiendo alguno de ellos templarse al aire, a velocidades inferiores a 50°C por segundo. Además la velocidad crítica del temple disminuye cuando el contenido de carbono aumenta.

Figura 13. Velocidades de temple de los aceros al carbono Hipoeutectoides



Fuente: ALMENDÁRIZ Marco. Procesos Industriales. p.160

2.7.8 Transformación de los micro-constituyentes en el temple. A continuación se muestra una gráfica que describe la transformación estructural de un acero DF2 durante el proceso de temple. Entre las características principales de este acero podemos mencionar su equivalencia AISI 01 que es un acero para trabajo en frío.



$$\% \text{ Fase 1} = \frac{m-n}{m-o} \times 100$$

$$\% \text{ Fase 2} = \frac{m-n}{m-o} \times 100$$

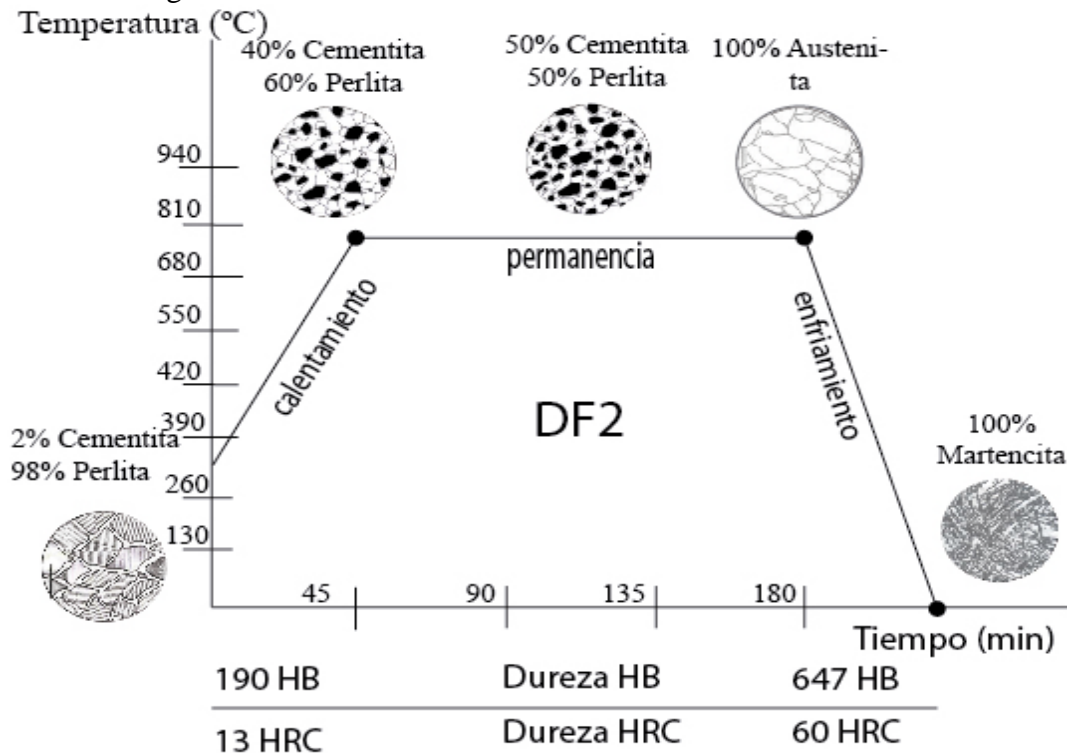
$$\% \text{ Perlita} = \frac{0,9-6,67}{0,8-6,67} \times 100$$

$$\% \text{ Cementita} = \frac{0,8-0,9}{m-n} \times 100$$

$$\% \text{ Perlita} = 98,3$$

$$\% \text{ Cementita} = 1,70$$

Figura 14. Transformación micro-estructural de un acero DF2



Fuente: Autor

Descripción de la transformación en el temple. La grafica muestra el cambio micro-estructural de un acero DF2 templado en aceite. Con una dureza de suministro igual a 190HB que equivale a 13HRC al introducir la probeta al horno ingresa con un porcentaje de 92% perlita y 2% cementita se incrementa la temperatura y cuando se alcanza la temperatura de austenización (725°C) los porcentajes de micro-constituyentes cambia a 60% perlita y 40% cementita, a la mitad del proceso de calentamiento se tiene 50% perlita y 50% cementita, al finalizar el proceso de calentamiento la estructura es 100% austenítica, y luego del tiempo de enfriamiento la estructura es 10% martensítica. Con una dureza de 650HB que equivale a 60HRC.

2.7.9 Agentes de enfriamiento. Entre los principales agentes tenemos:

Agua. Debe emplearse a temperatura máxima de 20°C, pues con agua más caliente se prolonga mucho la primera etapa de enfriamiento y disminuye la velocidad de temple.

Aceites. En la actualidad se prefieren los aceites minerales, procedentes de la destilación del petróleo y a ser posible preparados especialmente para temple.

Sales fundidas. Actualmente se utilizan mucho los baños de sales fundidas formados por proporciones variables de cloruros, nitratos, carbonatos, cianuros, etc, que abarcan temperaturas desde 150° C a 1300°C.

2.7.10 Dureza HRC. La dureza Rockwell o ensayo de dureza Rockwell es un método para determinar la dureza, es decir, la resistencia de un material a ser penetrado. El ensayo de dureza Rockwell constituye el método más usado para medir la dureza debido a que es muy simple de llevar a cabo y no requiere conocimientos especiales.

Se pueden utilizar diferentes escalas que provienen de la utilización de distintas combinaciones de penetradores y cargas, lo cual permite ensayar prácticamente cualquier metal o aleación.

Tabla 3. Aceros más comunes de la industria

Nombre	% Carbono	Acero	Micro-constituyentes	Dureza
1018	0,18	Hipoeutectoide	F + P	163HB
DF2	0,9	Hipereutectoide	P + C	13HRC
705	0,36	Hipoeutectoide	F + P	34HRC
718	0,37	Hipoeutectoide	F + P	33HRC

Fuente: IVAN BOHMAN, Catálogo Materiales de Ingeniería 2010. p. 14

2.7.11 Diagramas TTT (Tiempo-Temperatura-Transformación). Los diagramas TTT son también conocidos como diagramas de transformación isotérmica. El tiempo se presenta logarítmicamente en el eje horizontal y la temperatura en el eje vertical.

Esta curva se interpreta partiendo del tiempo cero (t_0 =tiempo donde inicia la transformación en la región de Austenita) y continúa hacia abajo y a la derecha a lo largo de la trayectoria que muestra cómo se enfría el metal en función del tiempo.

La Figura N° 43 presenta un ejemplo del diagrama TTT para un acero donde:

Ps = Representa el momento en el cual se produce Perlita gruesa.

Pf = Representa el momento en el cual se produce Perlita fina.

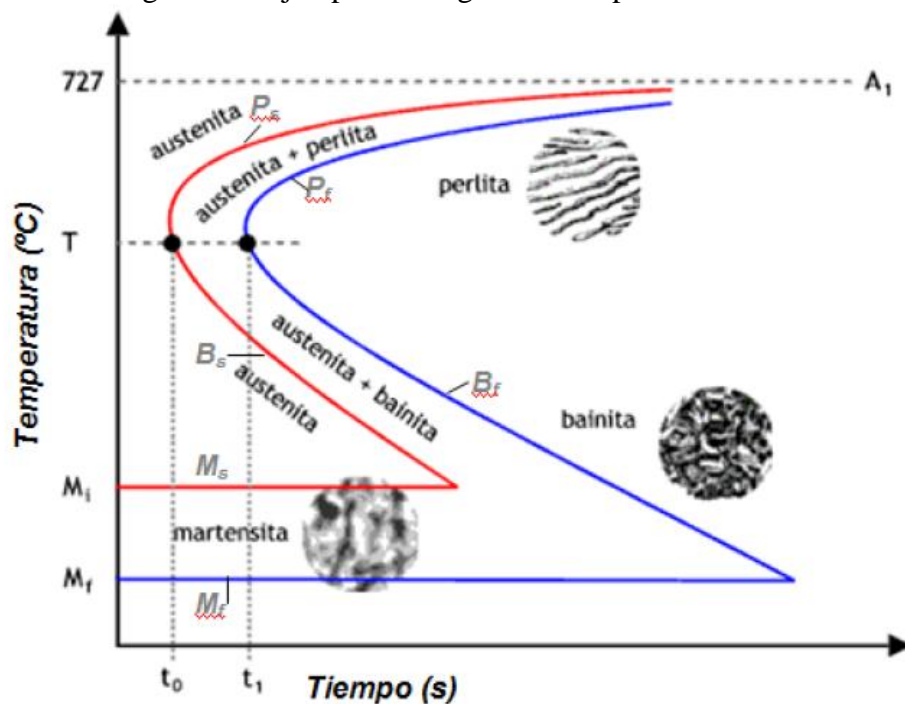
Ms = Representa el momento en el cual se produce Martensita gruesa.

Mf = Representa el momento en el cual se produce Martensita fina.

Bs = Momento de inicio de la transformación a la Bainita.

Bf = Momento de la finalización de la transformación Bainita.

Figura 15. Ejemplo de diagrama TTT para un acero

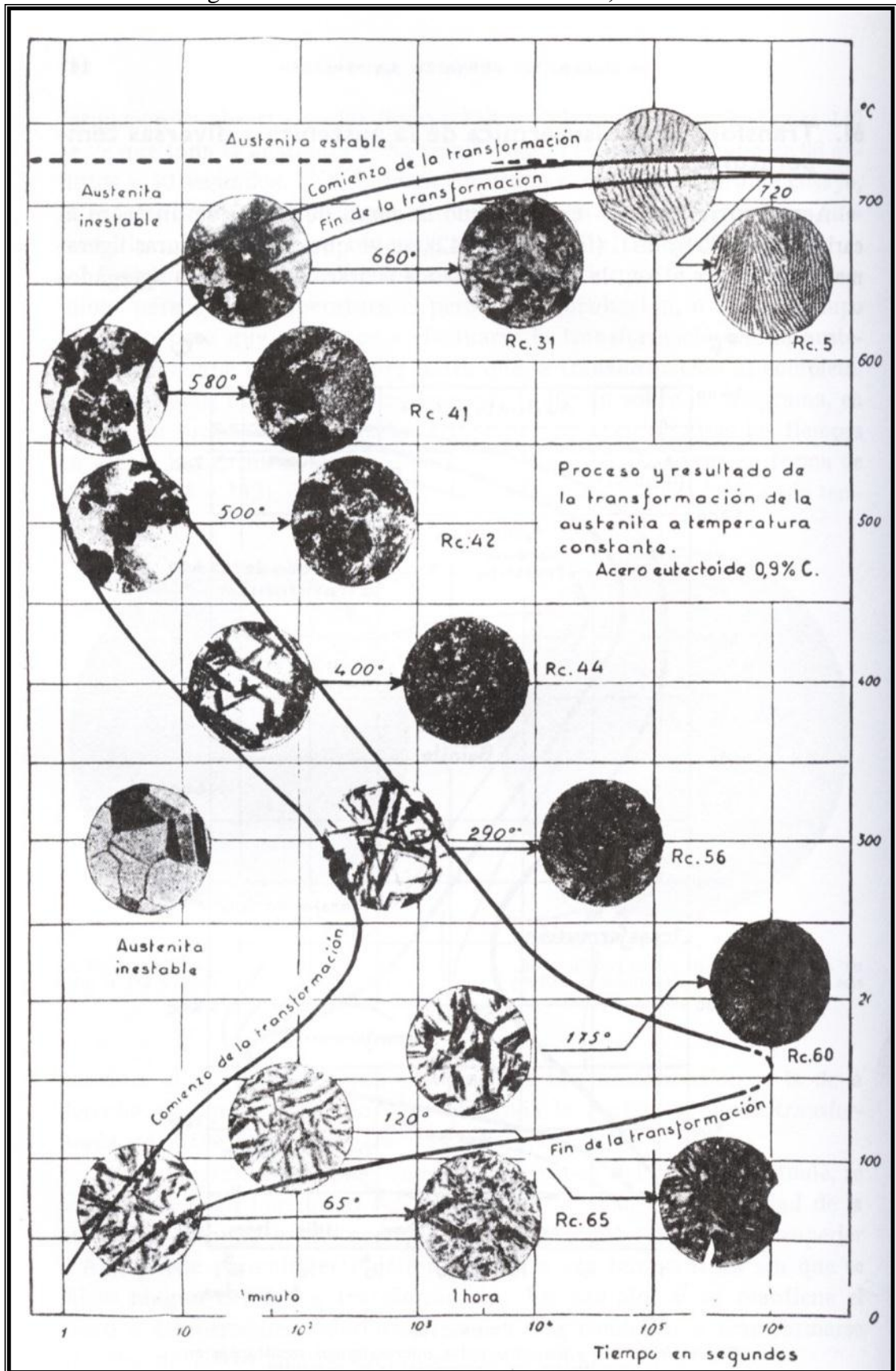


Fuente: LIMAN Tylor. Metals Handbook. p. 420

2.7.12 Curvas de la “S”. Un diagrama TTT (temperatura, tiempo, transformación) o curva S resume las posibles transformaciones de la austenita para cada acero, imprescindibles tanto para el diseño de tratamientos térmicos como para la interpretación de las microestructuras resultantes después de los mismos. Su construcción experimental se realiza mediante un determinado número de muestras de acero que, previamente austenizadas, se enfrían en baños de sales a diferentes temperaturas y tiempos determinados. La microestructura obtenida en cada una de las muestras se analiza y representa, obteniéndose así el diagrama TTT para ese acero.

Es curva es conocida también con el nombre de curva de transformación isotérmica.

Figura 16. Curva de la "S" de un acero 0,90% de C



Fuente: Fuente: LIMAN Tylor. Metals Handbook. p. 422

2.8. Recocido

Consiste en calentamientos a temperaturas adecuadas, seguidos generalmente de enfriamientos lentos. Se consigue ablandar los aceros y las fundiciones, también sirve para regenerar la estructura y eliminar las tensiones internas de las piezas con el objeto de que estos materiales puedan ser maquinados fácilmente. (STURLA, 2012)

2.8.1 *Tipos de recocido.* El recocido se clasifica en tres tipos

2.8.1.1 *Recocidos de regeneración.* Sirve para regenerar la estructura del material y ablandarlo. En este tratamiento, las piezas son calentadas a una temperatura ligeramente más elevada que la crítica superior, generalmente de 20 a 40°C. Para los aceros al carbono, estas temperaturas son las siguientes:

Tabla 4. Temperaturas de recocido de regeneración

Contenido de carbono en el acero	Temperatura de recocido de regeneración (°C)
0,1	910
0,2	890
0,3	850
0,4	830
0,5	810
0,6	790
0,7	775
0,8	760
0,9	760

Fuente: IVAN BHOMAN. Manual Materiales de Ingeniería. 2010. p 25

2.8.1.2. *Recocido globular.* Este tratamiento se emplea para facilitar el maquinado de los aceros, dejándolos con una dureza menor que la obtenida con el recocido de regeneración. El calentamiento se realiza a una temperatura intermedia entre la crítica superior e inferior.

2.8.1.3. *Recocido subcrítico.* El calentamiento en éste tipo de recocido se realiza a temperaturas por debajo del punto crítico inferior, y el enfriamiento conviene hacerlo dentro del horno. Para dar este tratamiento a los aceros aleados, se debe consultar los

catálogos de los fabricantes. En general, las temperaturas de calentamiento varían horas según:

- El espesor
- La composición química del acero
- Resultado deseado

Se emplea este tratamiento para eliminar las tensiones internas y ablandar el material, aunque las durezas obtenidas, son mayores a las que se consiguen cuando el acero se trata por un recocido globular o de regeneración.

Para determinar la temperatura de calentamiento, el tiempo de permanencia en el horno y la velocidad de enfriamiento de los aceros aleados, se deben consultar las tablas y diagramas confeccionados por los fabricantes de aceros.

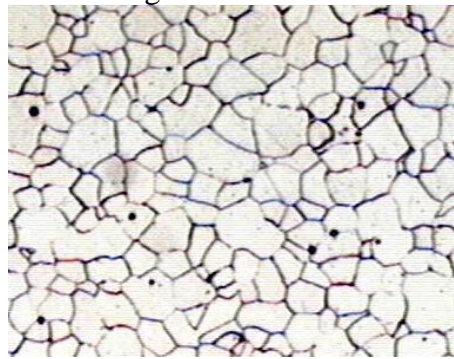
CAPÍTULO III

3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ANÁLISIS METALOGRAFICO

3.1 Constituyentes de los materiales ferrosos

Ferrita. La ferrita es el más blando y dúctil constituyente de los aceros. Se considera la ferrita como hierro alfa puro y tiene una dureza de 90 Brinell.

Figura 17. Ferrita



Fuente: <http://goo.gl/QJLJBI>

Cementita. Es carburo de hierro, de fórmula Fe_3C , y contiene por tanto 6,67 % de carbono y 93,33 % de hierro. Es el constituyente más duro y frágil de los aceros, alcanzando una dureza Brinell de 700 (68 Rockwell C).

Figura 18. Cementita



Fuente: <http://goo.gl/NkeuXk>

Perlita. Es un constituyente compuesto por el 86,5 % de ferrita y el 13,5 % de cementita. La perlita tiene una dureza de aproximadamente 200 Brinell. Cada grano de perlita está formado por láminas o placas alternadas de cementita y ferrita. Si la perlita

laminar se calienta durante algún tiempo a una temperatura un poco inferior a la crítica (inferior a 723° C),

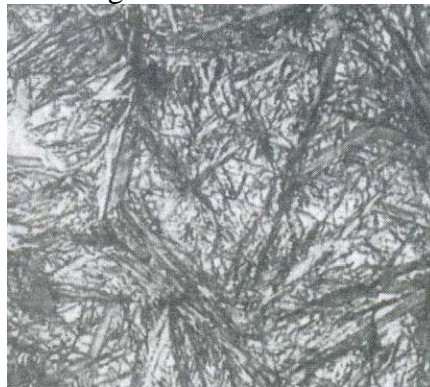
Figura 19. Perlita



Fuente: <http://goo.gl/qovx5m>

Martensita. Después de la cementita es el constituyente más duro de los aceros. La Martensita es una solución sólida sobresaturada de carbono en hierro alfa. Se obtiene por enfriamiento muy rápido de los aceros, una vez elevada su temperatura lo suficiente para conseguir su constitución austenítica. Su dureza varía de 50 a 68 Rockell C; su resistencia mecánica de 175 a 250 Kg/mm² y su alargamiento de 2,5 % a 0,5 %.

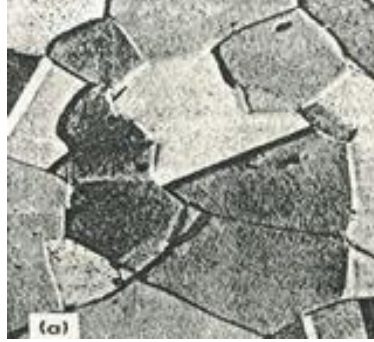
Figura 20. Martensita



Fuente: <http://goo.gl/iAq0xv>

Austenita. Es el constituyente más denso de los aceros, y está formado por la solución sólida, por inserción, de carbono en hierro gamma. La proporción de carbono disuelto varía desde el 0 al 1,76 % correspondiendo este último porcentaje la máxima solubilidad a la temperatura de 1.130° C. La Austenita en los aceros al carbono, es decir, sin ningún otro elemento aleado, empieza a formarse a la temperatura de 723° C. La Austenita tiene una dureza Brinell de unos 300, una resistencia de unos 100 Kg/mm².

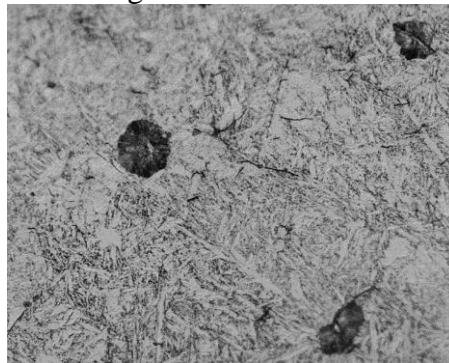
Figura 21. Austenita



Fuente: <http://goo.gl/wTjCz>

Troostita. Antiguamente se la denominaba osmondita. Se produce la troostita por transformación isotérmica de la Austenita entre las temperaturas de 500° C a 600° C. Su dureza es de unos 450 Brinell.

Figura 22. Troostita



Fuente: <http://goo.gl/qovx5m>

Bainita. Se forma la bainita en la transformación isotérmica de la austenita, enfriando la austenita rápidamente hasta una temperatura comprendida entre 300° C y 500° C y manteniéndola después a una temperatura constante hasta la transformación total de la austenita en bainita.

Figura 23. Bainita



Fuente: <http://goo.gl/zpfiwp>

Sorbita. Se produce también por transformación isotérmica de la austenita a temperaturas comprendidas entre 600° C y 650° C. Es decir enfriando rápidamente la austenita, que deberá estar a temperaturas por encima de la crítica superior, hasta una temperatura comprendida entre 600° C y 650° C, y manteniéndola a esta temperatura constante hasta su total transformación en sorbita. Tiene una dureza de unos 350 Brinell, una resistencia de unos 100 Kg/mm² y un alargamiento del 15%.

Ledeburita. La Ledeburita no es un constituyente de los aceros, sino de las fundiciones. Se encuentra en las aleaciones hierro – carbono cuando el porcentaje de carburo de hierro aleado es superior al 25 %, o sea, con un contenido total de carbono superior a 1,76 %.

Steadita. Es un constituyente de naturaleza eutéctica, que aparece en las fundiciones de más de 0,15 % de fósforo

Grafito. El grafito es uno de los tres estados alotrópicos en que se encuentra el carbono en estado libre en la naturaleza, siendo los otros dos el diamante y el carbono amorfo.

Impurezas. Se denomina impurezas a todos los elementos indeseables en la composición de los aceros y fundiciones.

3.2 Selección de los materiales, efecto del estudio





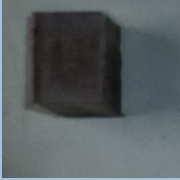
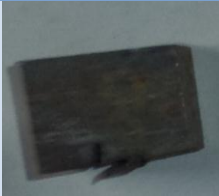


En el país existen muchos proveedores de aceros. Por tal razón elegimos los aceros de acuerdo a la demanda del campo industrial tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- Las variedad materias primas (aceros) más utilizados en la industria.
- La calidad y costo del producto.
- Los tiempos de entrega del material.
- La distancia entre ciudades.

Luego de revisar los distintos proveedores elegimos para nuestro estudio los aceros especiales de Ivan Bohman y aceros Bholer, ya que se rigen a los parámetros buscados en cuanto a las características mencionadas anteriormente.

Las fotografías de estos materiales se detallan a continuación:

Tabla 5. Listado de aceros Ivan Bohman

ARNE=DF2	XW-41	CALMAX	IMPAX 718	8407
				
AISI O1	AISI D2	AISI D6	AISI P20	AISI H13
	760	145M	SAE 1018	
				
	AISI 1045	AISI 1518	1018	

Fuente: Autor

Tabla 6. Listado de aceros Bohler

E 920	W 302	M 238	K 100	SAE 1010
				
AISI 1020	AISI H13		AISI D6	AISI 1010

Fuente: Autor

3.3. Corte de aceros

Se corta un pedazo de material representativo del material en estudio con una maquina llamada discoton y la ayuda de un disco abrasivo. El corte se debe hacer con el mayor cuidado posible, buscando no producir cambios en el material como transformaciones de fase.

Discoton. Es un equipo capaz de cortar acero con un disco especial de corte por abrasión, mientras suministra un gran caudal de refrigerante (parafina), evitando así el sobrecalentamiento del material.

Figura 24. Discoton



Fuente: Autor

Disco de corte. Está formado por pequeños granos de carbón prensados unos con otros de un material resistente al impacto y al corte. La numeración es inversamente proporcional a la dureza, es decir para cortar un acero de gran dureza necesitamos un disco de menor numeración. (DUBOX, 1974)

Tabla 7. Numeración de discos de corte

Numeración de los discos de corte	
Nº 01	Para aceros duros
Nº 02	Para aceros medianamente duros
Nº 03	Para aceros suaves
Nº 04	Para fundiciones grises
Nº 05	Para fundiciones blancas
Nº 06	Para materiales no ferrosos

Fuente: DISCO STRUERS. Catalogo 2012. p. 13

Figura 25. Disco de corte



Fuente: <http://goo.gl/1PCf8v>

La selección del disco de corte depende del tipo, diámetro y dureza de material que se vaya a cortar. Colocamos el disco para luego sujetar la pieza de acero y posteriormente realizamos cortes transversales de modo que obtengamos 3 muestras de cada material.

Debido que el disco de corte se utiliza durante un largo tiempo de trabajo hay que tomar en cuenta que el disco de corte no se fracture ni se recaliente, que las caras de nuestras probetas no se rayen y que la maquina cortadora no se recaliente.

Precauciones al momento de cortar:

- Buena sujeción de la probeta
- Refrigeración constante del material a cortar
- Evitar el recalentamiento del disco
- Presión de corte adecuada
- No exceder el tiempo máximo de trabajo.

Figura 26. Corte de probetas



Fuente: Autor

3.4 Tratamiento térmico de las probetas

Para el tratamiento térmico utilizamos un horno eléctrico. En el cual introducimos la probeta y dependiendo del acero graduamos el horno hasta que alcance la temperatura de calentamiento (T_c), una vez alcanzado el tiempo de calentamiento elevamos la temperatura hasta la temperatura de austenización esperamos que se cumpla el respectivo tiempo de permanencia (T_p) y sometemos al medio de enfriamiento respectivo.

Figura 27. Equipo de seguridad para tratamiento térmico



Fuente: Autor

3.4.1 *Tiempo de calentamiento del horno (T_c)*. Es el tiempo en el cual el horno alcanza la temperatura de austenización cronometrada desde el momento que el horno se enciende. El tiempo de calentamiento dependerá del tipo de horno en el cual se está trabajando.

Figura 28. Horno eléctrico



Fuente: Autor

3.4.2 *Tiempo de permanencia en el horno (T_p)*. Es el tiempo que exponemos las probetas luego que el horno alcanza su temperatura de austenización, se lo calcula mediante la siguientes fórmulas que sirven para diámetros pequeños y grandes respectivamente.

$$t = 20 \frac{Dmm}{2} \text{ (min)}$$

$$t = \frac{1}{22} + \frac{Dmm}{120} \text{ (horas)}$$

3.4.3 *Tiempo de enfriamiento (T_e)*. En un dato experimental y se obtiene cronometrado el tiempo que tarda la probeta en alcanzar la temperatura ambiente luego de haber apagado el horno con la ayuda de un medio de enfriamiento. Estos tiempos los encontramos en la tabla 8.

Figura 29. Aceite y agua para enfriamiento



Fuente: Autor

Precauciones al momento de tratar térmicamente:

- Comprobar el buen funcionamiento del horno
- Controlar continuamente su temperatura
- Usar el EPP.
- No introducir las manos en el horno.

3.4.4 *Tiempo total del tratamiento térmico (Tt)*. El tiempo total de tratamiento se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$Tt = Tc + Tp + Te \quad (3)$$

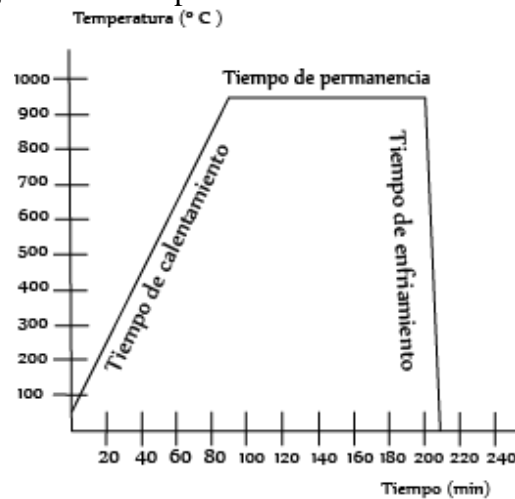
Dónde:

Tc=Tiempo de calentamiento en el horno

Tp= Tiempo de permanencia en el horno

Te= Tiempo de enfriamiento del acero

Figura 30. Tiempo total del tratamiento térmico



Fuente: Autor

A continuación presentamos un acero para trabajo en frío ARNE AISI 01 templado en agua y en aceite que es un acero de buena maquinabilidad.

Figura 31. Acero tratado térmicamente.



Fuente: Autor

Tabla 8. Tiempos de calentamiento, permanencia y enfriamiento de los aceros en estudio

ACEROS IVÁN BOHMAN						
Acero	Grado de austenización [°C]	Templado	Tc [horas]	Tp [horas]	Te [horas]	Tt [horas]
ARNE	790-850	En agua	2	1	0,016	3,016
DF2	790-850	En aceite	2	1	0,05	3,05
AISI 01	800	Recocido	2	1	19	22
XW 41 AISI D2 Sverver	990-1050	En agua	2	1,5	0,016	3,516
	990-1050	En aceite	2	1,5	0,05	3,55
	850	Recocido	2	1,5	20	23,5
Calmax AISI D6	850	En agua	1,5	1	0,016	2,516
	850	En aceite	1,5	1	0,05	2,55
	860	Recocido	1,5	1	16,5	19
718 impax supreme AISI P20	850	En agua	1,5	1	0,016	2,516
	850	En aceite	1,5	1	0,05	2,55
	700	Recocido	1,5	1	20	22,5
8407 Orvar AISI H13	1020-1050	En agua	2,5	0,75	0,033	3,58
	1020-1050	En aceite	2,5	0,75	0,083	3,33
	850	Recocido	2,5	0,75	24	27,25
760 AISI 1045	770-810	En agua	2	1	0,016	3,016
	790-830	En aceite	2	1	0,05	3,05
	850	Recocido	2	1	16	19
145 M AISI 1518	900-920	En agua	2,5	0,75	0,016	3,26
	900-920	En aceite	2,5	0,75	0,066	3,316
	900	Recocido	2,5	0,75	21	24,25
SAE 1018 Tolerancia H10	990	En agua	2	1	0,033	3,033
	990	En aceite	2	1	0,083	3,083
	990	Recocido	2	1	24	27

Tabla 8. (continuación)

ACEROS BOHLER			Tratamiento Térmico: Templado			
Acero	Grado de austenización [°C]	Templado	Tc [horas]	Tp [horas]	Te [horas]	Tt [horas]
E 920	770-800	En agua	1,67	0,75	0.016	2,43
	770-800	En aceite	1,67	0,75	0,066	2,483
	650-700	Recosido	1,67	0,75	27	29,416
W 302	1020-1080	En agua	2,5	1	0,033	3,533
	1020-1080	En aceite	2,5	1	0,083	3,583
	750-800	Recocido	2	1	20	23
M 238	840	En agua	2	0,75	0.016	2,766
	840	En aceite	2	0,75	0,083	2,833
	990	Recocido	2	0,75	21	23,75
K 100	950-1000	En agua	2	1	0.016	3,016
	950-1000	En aceite	2	1	0,083	3,083
	800-850	Recocido	1,5	1	22	24,5
1010	840-870	En agua	2	0,75	0.016	2,766
	840-870	En aceite	2	0,75	0,083	2,833
	890-910	Recocido	2	0,75	22	24,75

Fuente: Autor

3.5 Montaje de probetas

Se la realiza cuando se considere necesario para una mejor manipulación de la muestra o para evitar la conservación de los bordes o alguna capa constituyente, Este proceso también se puede realizar en frío usando resinas especiales de secado rápido.

Prontopress. Es una maquina donde se recubren las probetas con un polímero denominado baquelita, con ayuda de calor y presión la probeta queda encapsulada y

lista para su manipulación. La pieza debe estar libre de grasa o contaminante que interfiera en la adherencia.

Figura 32. Prontopress

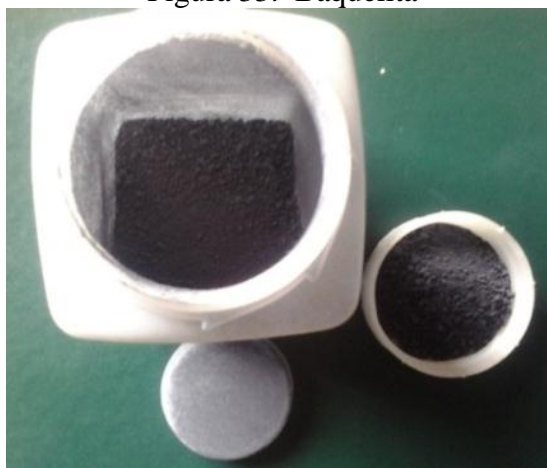


Fuente: Autor

El encapsulado se realiza cuando las probetas metalográficas son difíciles de manejar o simplemente para una mejor presentación.

Baquelita. Es un polvo de moldeo utilizado para encapsular probetas. Son de un alto grado de compactación al momento de interactuar con el calor y recibir presión. Estos polvos pueden venir en distintos colores, sin alterar sus propiedades originales.

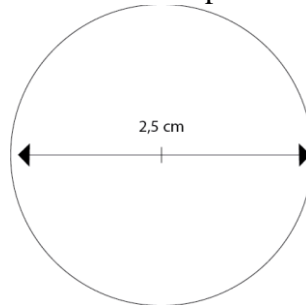
Figura 33. Baquelita



Fuente: Autor

El Prontopress trabaja con una presión de 2500 psi. Necesitamos alrededor de 4 minutos para encapsular una probeta de 2,5 cm de diámetro.

Figura 34. Diámetro de la probeta encapsulada



Fuente: Autor

Precauciones al momento de encapsular las probetas:

- Ajustar correctamente los seguros del Prontopress antes de empezar el encapsulado.
- Terminado el encapsulado sacar los seguros lentamente ya que puede haber una pequeña explosión en el interior de la máquina.
- Utilizar guantes de cuero ya que al sacar la probeta del Prontopress estas salen con elevadas temperaturas.
- Utilizar mascarilla ya que se emanan gases tóxicos.

Figura 35. Proceso de encapsulado



Fuente: Autor

Las probetas quedan encapsuladas en baquelita lo cual permite que tengan una mejor presentación y sean fáciles de manipular, luego de todo este proceso están listas para el siguiente proceso.

Figura 36. Probetas montadas en baquelita.



Fuente: Autor

3.6 Desbaste

Para este proceso se utiliza un equipo desbastador como indican las normas ASTM e3-01 la misma que consta de lijas de agua N° 100, 200, 400, 600, 1000, 1200, 1500 y 2000 granos/pulg², utilizadas con el objetivo de pulir el acero en estudio desde un desbaste grueso con la lija N° 200 hasta llegar a un desbaste fino con la lija N° 2000. Entre cada cambio de lija es necesario girar la probeta a 90°.

Figura 37. Mesa de lijado



Fuente: Autor

Recomendaciones:

- Eliminar las partículas del lijado con la ayuda de agua.
- El lijado debe ser unidireccional.
- Evitar largos periodos de trabajo.

Iniciamos el desbaste manual con la lija número 100 de arriba hacia abajo presionando al bajar y levantando la probeta al subir. Ayudándonos del chorro de agua del equipo desbastador para eliminar las limallas que deja el lijado procedemos a realizar el pulido grueso.

Figura 38. Desbaste con lija N° 100



Fuente: Autor

Una vez pasada la primera lija colocamos la siguiente. Giramos la probeta 90° y procedemos con el lijado, así sucesivamente pasamos por la lija 200, 400, 600, 1000, 1200, 1500 y finalmente llegamos a la lija de 2000 granos/pulg². Sin olvidarnos el giro de 90° de la probeta cada vez que realicemos el cambio de lija.

Precauciones al momento de desbastar las probetas:

- Evitar largos periodos de trabajo.
- Tomar posturas de trabajo adecuadas. quirúrgicos
- No trabajar con gran cantidad de agua.
- Al momento de lijar evitar el contacto de las lijas con los dedos.

3.7 Pulido

Luego del pulido grueso se realiza un pulido fino usando polvos abrasivos como alúmina o polvo de diamante en tamaños de 10, 5 y 1µm, en pulidoras automáticas. Para ello se usa una serie de paños especiales en máquinas semiautomáticas.

Pulidora. Es una máquina que sirve para pulir distintos tipos de materiales consta de un disco giratorio cubierto de una felpa de pulido: utiliza un aditamento que se llama alúmina (óxido de aluminio).

Figura 39. Máquina pulidora



Fuente: Autor

El procedimiento consiste en colocar el paño en la máquina pulidora luego encenderla, verter alúmina sobre el paño y finalmente colocar la probeta a pulir en el paño, para que las partículas de alúmina realicen el pulido de dicha probeta. El pulido tiene por objeto, conseguir una superficie semejante a un espejo y apta para el ataque metalográfico. Para que el pulido sea perfecto; depende de cuatro factores muy importantes:

- La selección del paño
- Tipo de abrasivo utilizado
- Velocidad de trabajo

3.7.1 *Químicos utilizados para el análisis metalográfico:*

Alúmina. Conocida también como óxido de aluminio son los que dan brillo a las probetas, puede ser de dos tipos alúmina fina y alúmina gruesa.

Figura 40. Pulido de materiales



Fuente: Autor

Precauciones al momento de pulir las probetas:

- Colocar adecuadamente el paño en la máquina.
- Trabajar a velocidades moderadas.

Recomendaciones:

- No debe haber presión excesiva entre el paño y la probeta.
- La probeta debe moverse en la dirección del diámetro del disco.

Enjuague. Su finalidad es eliminar todas las impurezas del producto del lijado, para esto necesitamos un grifo con agua donde lavamos la probeta utilizando solamente las yemas de los dedos para evitar rayaduras en los aceros.

Figura 41. Enjuague de probeta



Fuente: Autor

3.8 Secado

Para el proceso de secado se utiliza un compresor de aire. De modo que el aire a presión es el encargado de secar el material.

Figura 42. Secado de probeta



Fuente: Autor

Indicaciones:

- Sujetar la probeta del contorno para evitar el contacto directo con el acero ya que pueden quedar marcas.

Precauciones al momento de secar las probetas:

- Evitar la máxima presión del compresor ya que puede causar accidentes.

3.9 Ataque metalográfico

El ataque químico tiene como objetivo revelar las fases y micro-constituyentes de los metales y aleaciones. Se atacan mecanográficamente al material en estudio a base a reactivos químicos apropiados con la finalidad de resaltar las microestructuras presentes en el material. Estos reactivos dependen del tipo de material que se desea atacar y el tipo de fase que se desea observar.

Reactivos. Un reactivo es una sustancia que permite revelar la presencia de una sustancia diferente y que, a través de una interacción, da lugar a un nuevo producto.

3.9.1. Preparación de reactivos: Hay una enormidad de ataques químicos, para diferentes tipos de metales y situaciones de acuerdo al tipo de acero y el contenido de carbono se debe utilizar cierto tipo de reactivos. En nuestro caso utilizaremos los siguientes reactivos:

Nital. Alcohol etílico o metílico 95%, Ácido nítrico concentrado 5%

Tiempo: De segundos a minutos

Temperatura: Ambiente

Observaciones: Este es el reactivo de uso más común en hierro puro (ataque de los límites de grano de la ferrita) aceros al carbono y aceros aleados. Las soluciones con más de 10% de ácidos nítrico son explosivas por lo que se recomienda tener cuidado al momento de manipularlos.

Ataca los límites de grano de ferrita en aceros de bajo carbono. Produce máximo contraste entre perlita y cementita o ferrita a los límites de grano. Revela los límites de grano en aceros con 4% de silicio. Ataca los límites de grano de ferrita en estructuras formadas por ferrita y Martensita. Ataca los aceros de bajo cromo que son resistentes al picral (GINBERG, 1998).

Reactivo de Vilella

Glicerina 45ml, Ácido nítrico 15ml, Ácido clorhídrico 30ml.

Tiempo: De segundos a minutos

Temperatura: Ambiente

Observaciones: útil para aceros inoxidable con alto contenido de cromo y aceros al cromo-níquel. Revela los primitivos granos de austenita en Martensita revenida o no y en estructuras bainitizadas. Revela las colonias de perlita (GINBERG, 1998).

Figura 43. Reactivos



Fuente: Autor

Recomendaciones:

- Para tener un buen ataque metalográfico es necesario utilizar reactivos que hayan sido preparados en el momento mismo del ataque. Ya que al ser volátiles pierden sus propiedades químicas.
- Lavar la pipeta en caso de utilizar varios tipos de reactivos
- Evitar el ingreso de partículas extrañas en los frascos.
- Almacenar correctamente los reactivos para evitar accidentes.

A continuación se muestra una tabla del tiempo de exposición a los reactivos.

Tabla 9. Tiempo de exposición de reactivos

Acero	Porcentaje de Carbono (%)	Tratamiento térmico	Reactivo	Tiempo de Exposición (Seg)
ArneDF2 Aisi 01	0,85 a 0,9	Templado en agua	Nital 4	30
		Templado en aceite	Nital 4	22
		Recocido	Nital 4	28
XW 41 Aisi D2 Sverver	1,5	Templado en agua	Nital 4	8
		Templado en aceite	Nital 4	25
		Recocido	Nital 4	15
Calmax Aisi D6	0,6	Templado en agua	Nital 4	16
		Templado en aceite	Nital 4	27
		Recocido	Nital 4	32
718 impax Supreme Aisi P20	0,37	Templado en agua	Nital 4	6
		Templado en aceite	Nital 4	11
		Recocido	Nital 4	15
8407 Orvar Aisi H13	0,39	Templado en agua	Vilella	46
		Templado en aceite	Vilella	35
		Recocido	Vilella	29
760 Aisi 1045	0,5	Templado en agua	Nital 4	36
		Templado en aceite	Nital 4	29
		Recocido	Nital 4	10
145 M Aisi 1518	0,16 a 0,22	Templado en agua	Nital 4	55
		Templado en aceite	Nital 4	47
		Recocido	Nital 4	35
Sae 1018 Tolerancia H10	0,15 a 0,18	Templado en agua	Nital 4	4
		Templado en aceite	Nital 4	11
		Recocido	Nital 4	8
E 920	0,17	Templado en agua	Vilella	7
		Templado en aceite	Vilella	6
		Recocido	Vilella	14
W 302	0,39	Templado en agua	Vilella	33
		Templado en aceite	Vilella	24
		Recocido	Vilella	21
M 238	0,38	Templado en agua	Vilella	16
		Templado en aceite	Vilella	20
		Recocido	Vilella	14
K 100	2	Templado en agua	Vilella	7
		Templado en aceite	Vilella	9
		Recocido	Vilella	12
1010	0,08 a 0,13	Templado en agua	Vilella	49
		Templado en aceite	Vilella	56
		Recocido	Vilella	38

Fuente: Autor

3.9.2 *Tiempo de ataque.* El ataque es hecho por inmersión o fregado con algodón embebido en el líquido escogido por la región a ser observada, durante algunos segundos hasta que la estructura o defecto sea revelada.

El tiempos de ataque metalográfico dependerá de la concentración de reactivos. Es decir que a mayor concentración del reactivo menor tiempo de ataque metalográfico y a menor concentración del reactivo mayor será el tiempo de ataque metalográfico.

Figura 44. Ataque químico de probetas



Fuente: Autor

Nota: En ocasiones suele exceder el ataque químico, en ese caso debe volver a pulirse en el paño para posteriormente dar un nuevo ataque químico.

Precauciones al momento de atacar químicamente las probetas:

- Evitar el contacto directo de los reactivos con la piel.
- Evitar inhalar los reactivos.
- No mezclar los reactivos sin un conocimiento previo.

El ataque químico es inversamente proporcional al tiempo de ataque

3.9.3 *Neutralización del ataque.* Luego de que culmine el tiempo de exposición del reactivo el ataque debe ser neutralizado con un baño de alcohol e inmediatamente secar la probeta con aire comprimido para evitar las quemaduras de la muestra.

Debe tratarse en lo mínimo de tener contacto directo con las probetas en vista que cualquier roce puede manchar o rayar la pieza.

Figura 45. Neutralización del ataque químico



Fuente: Autor

3.10 Observación metalográfica

Las probetas atacadas químicamente, son sometidas a un control de calidad en el microscopio. Las piezas que revelen su microestructuras pasan a la sección toma de fotografía caso contrario regresan a la secciones de pulido y ataque metalográfico donde el proceso se repite hasta que pueda observar su estructura metalográfica.

Figura 46. Microscopio óptico



Fuente: Autor

Microscopio óptico. Es un instrumento que permite observar objetos que son demasiado pequeños a simple vista. Consta de oculares y objetivos que forman parte de un sistema de ampliación. Si tiene dos combinaciones de objetivo-ocular que dan la misma magnificación.

Funcionamiento del microscopio. La muestra se coloca en el portaobjetos donde la superficie expuesta es ampliada mediante un sistema de luz que se reflejada en el metal y entra al objetivo, Esto nos permitirá observar todas las características micro-estructurales por el ocular a una ampliación adecuada. Estas ampliaciones van desde 50 X hasta 2000 X.

Cuando la imagen observada es muy pequeña o poco visible necesariamente debe ser ampliada. Para calcular el aumento total del microscopio utilizaremos la siguiente formula:

$$\text{Aumento total} = \text{Aumento del objetivo} \times \text{Aumento del ocular} \quad (4)$$

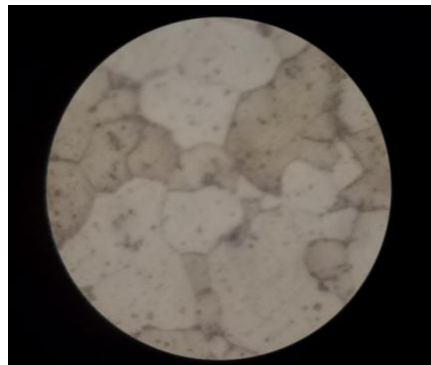
Tabla 10. Medidas de objetivo y ocular

Aumento del objetivo	Aumento del ocular	Aumento total
100 x	5 x	500 x
50 x	10 x	500 x

Fuente: Autor

Una vez ampliada la imagen debemos enfocarla correctamente para así observar la micro-estructura de las probetas en estudio.

Figura 47. Microestructura observada a 500x



Fuente: Autor

Recomendaciones:

- Las probetas deben ser manipuladas cuidadosamente para evitar dañar la superficie que se va a observar.
- Cuando las probetas presentan oxido, deben ser pulidas y atacadas químicamente.

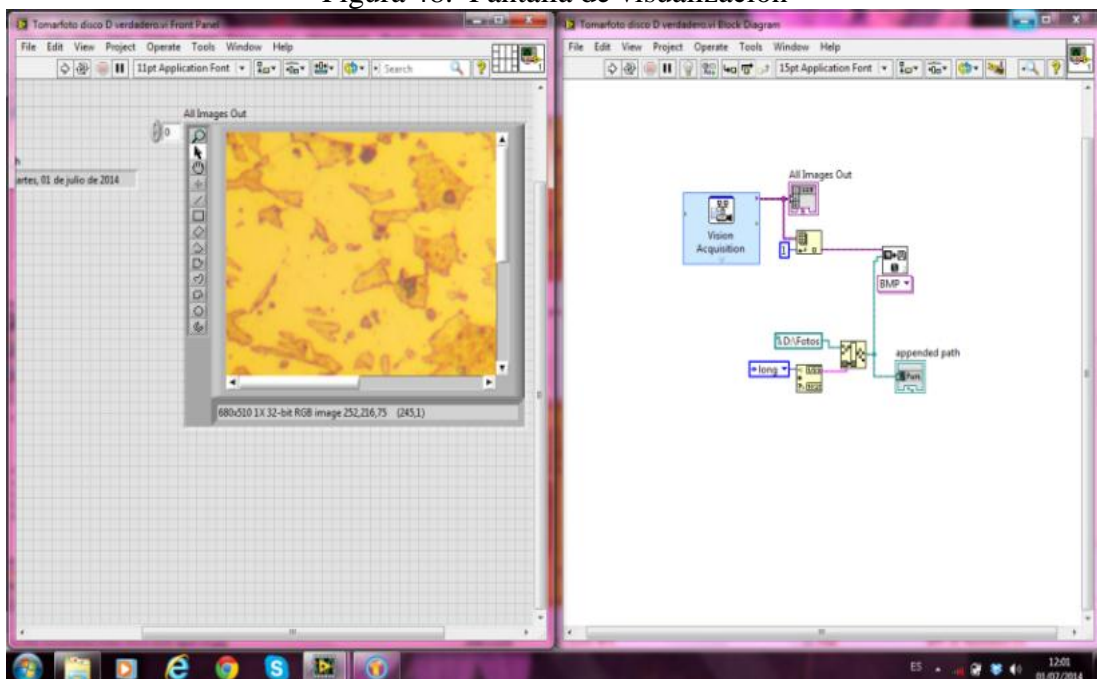
Precauciones al momento de observar las microestructuras:

- Conectar correctamente los equipos.
- Evitar las malas posturas de trabajo.
- No forzar la vista.

3.10.1. Pantalla de visualización. Esta pantalla sirve para observar en tiempo lo que el lente del microscopio óptico está captando. Conectamos la cámara fotográfica OMAX A3530U al computador mediante el cable USB 2.0.

Al encender el software en LabVIEW podemos observar directamente en la pantalla las estructuras y micro-constituyentes de nuestras probetas en estudio. Los niveles de exposición como brillo, contraste, nitidez, etc. Están ya regulados en la programación LabVIEW.

Figura 48. Pantalla de visualización



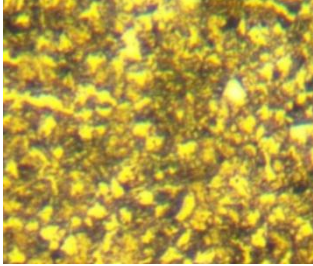
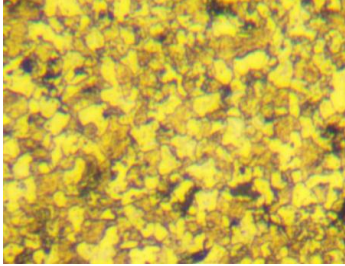
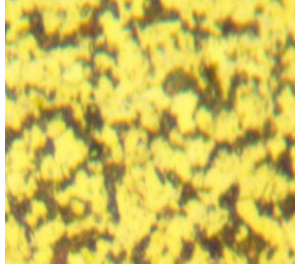
Fuente: LabVIEW 2012

Recomendaciones:

- Colocar y enfocar correctamente las probetas a ser observadas.
- No modificar el diagrama de bloques de la programación.

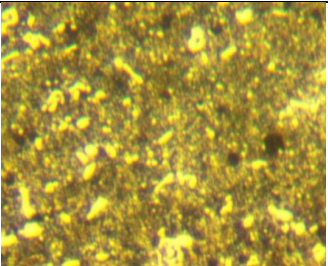
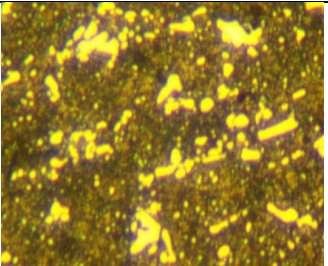
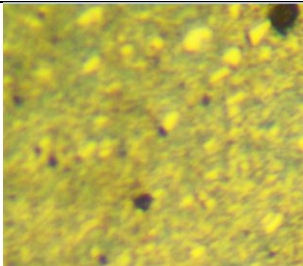
3.11 Fotografías de las probetas tratadas térmicamente.

Tabla 11. Material Ivan Bohman ARNE

Laboratorio Materiales-Facultad de Mecánica		
Material	% Carbono	Aumento
ARNE – AISI 01	0,9% Carbono	Aumento 200X
Tratamiento térmico		
Templado en aceite	Templado en agua	Recocido
		
Martensita 85% Bainita. 22%	Martensita 78% Austenita retenida. 22%	Perlita 68% Ferrita 32%
Tc=120min	Tc=120min	Tc=120min
Tp=60min	Tp=60min	Tp=60min
Te=3min	Te=1min	Te=19 horas

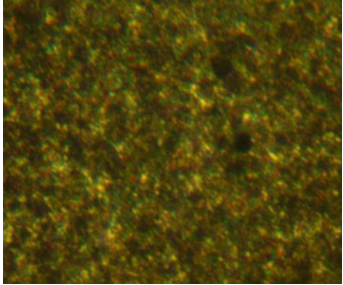
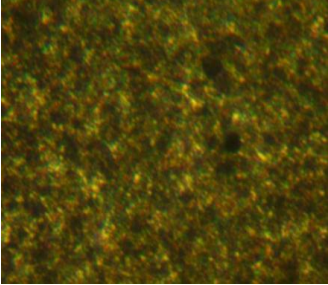
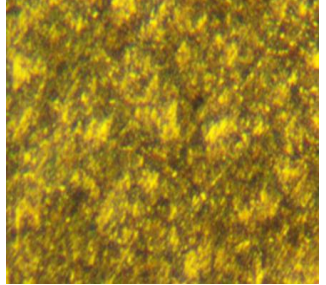
Fuente: Autor

Tabla 12. Material Ivan Bohman XW41

Laboratorio Materiales-Facultad de Mecánica		
Material	% Carbono	Aumento
XW41 - AISI D2	1,5% Carbono	Aumento 200X
Tratamiento térmico		
Templado en aceite	Templado en agua	Recocido
		
Martensita=52,42% Austenita retenida=47,57%	Martensita=82% Austenita retenida=18%	Perlita=40,07% Austenita retenida=59,92%
Tc=120min	Tc=120min	Tc=120min
Tp=90min	Tp=90min	Tp=90min
Te=1min	Te=1min	Te=20horas

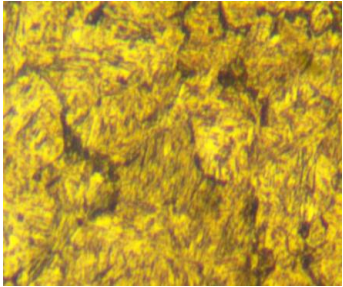
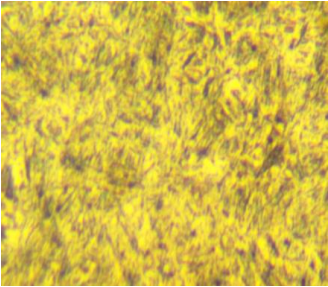
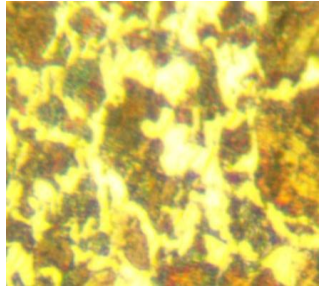
Fuente: Autor

Tabla 13. Material Ivan Bohman Calmax

Laboratorio Materiales-Facultad de Mecánica		
Material	% Carbono	Aumento
Calmax	0,6% Carbono	Aumento 200X
Tratamiento térmico		
Templado en aceite	Templado en agua	Recocido
		
Martensita 100%	Martensita 100%	Martensita 70% Bainita 30%
Tc=90min	Tc=90min	Tc=90min
Tp=60min	Tp=60min	Tp=60min
Te=3min	Te=1min	Te=16,5min

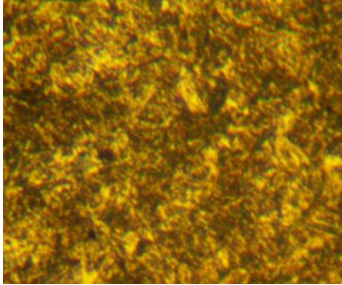
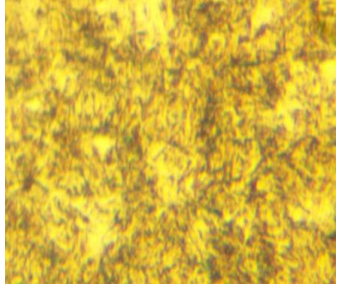
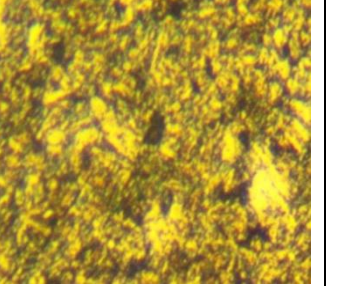
Fuente: Autor

Tabla 14. Material Ivan Bohman 760

Laboratorio Materiales-Facultad de Mecánica		
Material	% Carbono	Aumento
760 - SAE 1045	0,5% Carbono	Aumento 200X
Tratamiento térmico		
Templado en aceite	Templado en agua	Recocido
		
Martensita 90%	Martensita 100%	Ferrita 40% Perlita 60%
Tc=120min	Tc=120min	Tc=120min
Tp=60min	Tp=60min	Tp=60min
Te=3min	Te=1min	Te=16horas

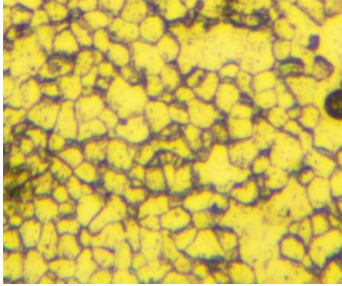
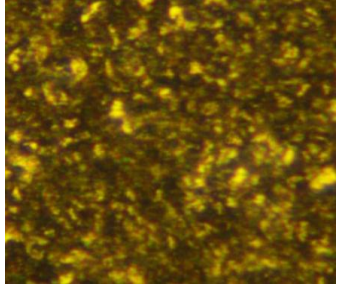
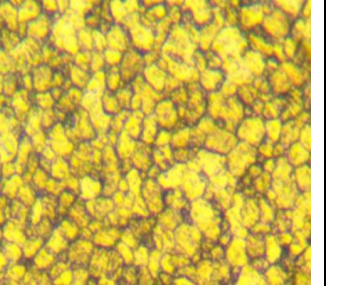
Fuente: Autor

Tabla 15. Material Ivan Bohman Impax 718

Laboratorio Materiales-Facultad de Mecánica		
Material	% Carbono	Aumento
Impax 718 - AISI P20	0,37% Carbono	Aumento 200X
Tratamiento térmico		
Templado en aceite	Templado en agua	Recocido
		
Martensita 100%	Martensita 100%	Martensita 80% Bainita 20%
Tc=90min	Tc=90min	Tc=90min
Tp=60min	Tp=60min	Tp=60min
Te=3min	Te=1min	Te=20horas

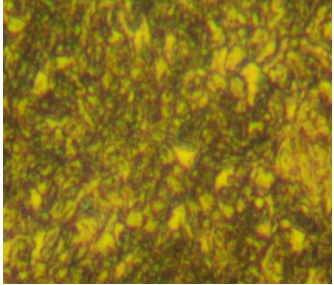
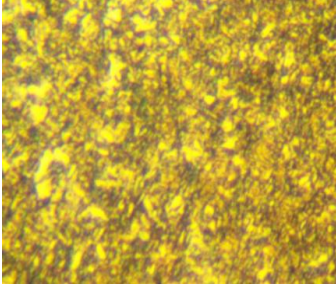
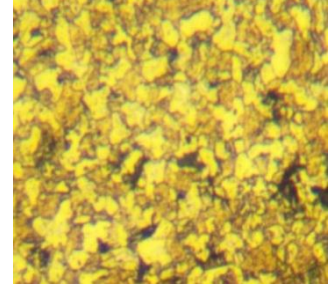
Fuente: Autor

Tabla 16. Material Ivan Bohman 8407

Laboratorio Materiales-Facultad de Mecánica		
Material	% Carbono	Aumento
8407 - AISI - H13	0,39% Carbono	Aumento 200X
Tratamiento térmico		
Templado en aceite	Templado en agua	Recocido
		
Ferrita=78,4% Perlita=28,56%	Martensita=91,45% Austenita=8,55%	Ferrita20% Perlita 30%
Tc=150min	Tc=150min	Tc=150min
Tp=45min	Tp=45min	Tp=45min
Te=5min	Te=2min	Te=24horas

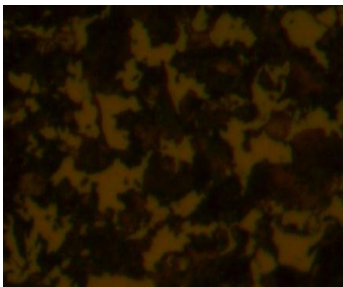
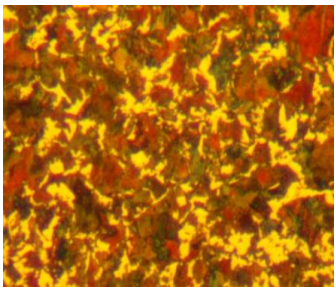
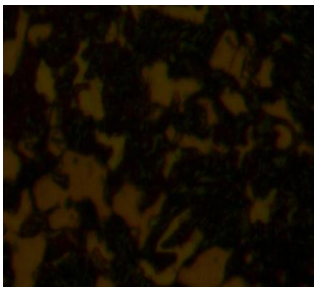
Fuente: Autor

Tabla 17. Material Ivan Bohman 147M

Laboratorio Materiales-Facultad de Mecánica		
Material	% Carbono	Aumento
147M - AISI 1518	0,16% a 0,18% Carbono	Aumento 200X
Tratamiento térmico		
Templado en aceite	Templado en agua	Recocido
		
Martensita 90% Austenita 10%	Martensita 100%	Ferrita 20% Perlita 80%
Tc=150min	Tc=150min	Tc=150min
Tp=45min	Tp=45min	Tp=45min
Te=4min	Te=1min	Te=21horas

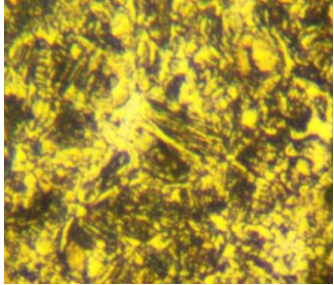
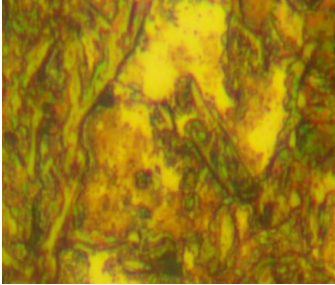
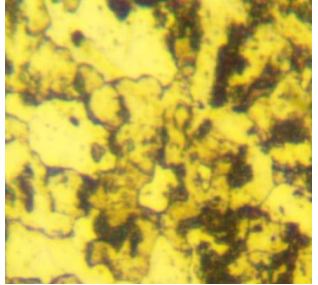
Fuente: Autor

Tabla 18. Material Ivan Bohman SAE 1018

Laboratorio Materiales-Facultad de Mecánica		
Material	% Carbono	Aumento
AISI 1018	0,18% Carbono	Aumento 200X
Tratamiento térmico		
Templado en aceite	Templado en agua	Recocido
		
Ferrita 50% Perlita 50%	Austenita 51,68% Martensita 49.3%	Ferrita 38% Perlita 62%
Tc=120min	Tc=120min	Tc=120min
Tp=60min	Tp=60min	Tp=60min
Te=5min	Te=2min	Te=24min

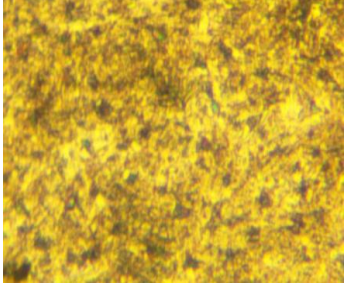
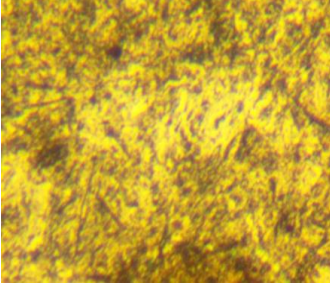
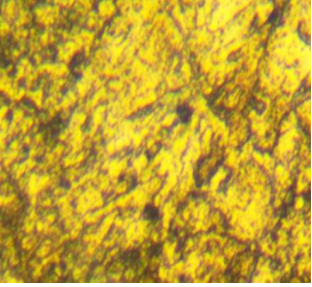
Fuente: Autor

Tabla 19. Materiales Bohler E920

Laboratorio Materiales-Facultad de Mecánica		
Material	% Carbono	Aumento
E920 - AISI 1020	0,17% a 0,20% Carbono	Aumento 200X
Tratamiento térmico		
Templado en aceite	Templado en agua	Recocido
		
Martensita 80%	Martensita 70% Austenita 30%	Ferrita 20% Perlita 80%
Tc=100min	Tc=100min	Tc=100min
Tp=45min	Tp=45min	Tp=45min
Te=4min	Te=1min	Te=27horas

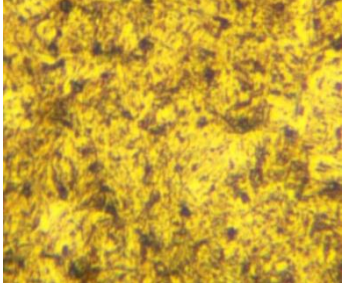
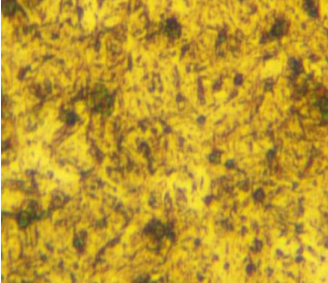
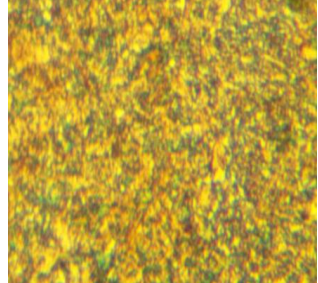
Fuente: Autor

Tabla 20. Materiales Bohler W302

Laboratorio Materiales-Facultad de Mecánica		
Material	% Carbono	Aumento
W302 - AISI H13	0,39% Carbono	Aumento 200X
Tratamiento térmico		
Templado en aceite	Templado en agua	Recocido
		
Martensita 90%	Martensita 100%	Ferrita 81% Perlita 19%
Tc=150min	Tc=150min	Tc=150min
Tp=60min	Tp=60min	Tp=60min
Te=5min	Te=2min	Te=20horas

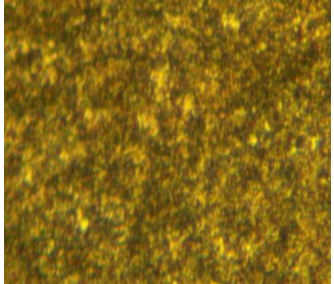
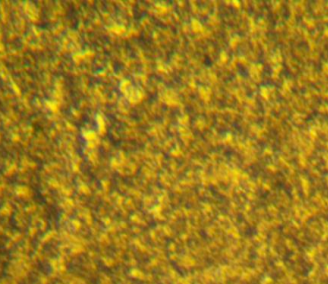
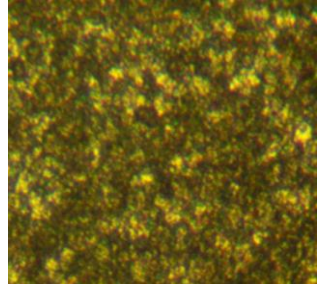
Fuente: Autor

Tabla 21. Materiales Bohler M238

Laboratorio Materiales-Facultad de Mecánica		
Material	% Carbono	Aumento
M238 - AISI H13	0,38% Carbono	Aumento 200X
Tratamiento térmico		
Templado en aceite	Templado en agua	Recocido
		
Martensita 80% Austenita 20%	Martensita 90 % Austenita 10%	Ferrita50% Perlita 50%
Tc=120min	Tc=120min	Tc=120min
Tp=45min	Tp=45min	Tp=45min
Te=3min	Te=1min	Te=21horas

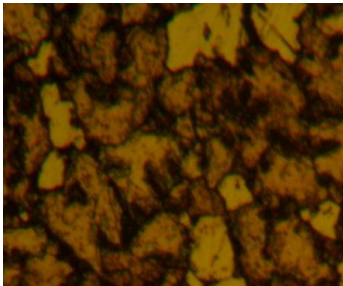
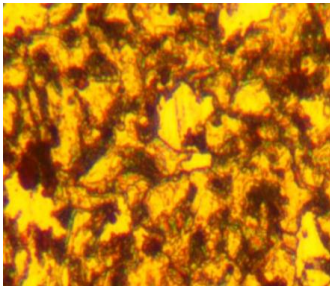
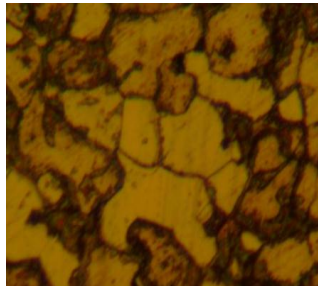
Fuente: Autor

Tabla 22. Materiales Bohler K100

Laboratorio Materiales-Facultad de Mecánica		
Material	% Carbono	Aumento
K100 - AISI D6	2% Carbono	Aumento 200X
Tratamiento térmico		
Templado en aceite	Templado en agua	Recocido
		
Martensita=90,19% Austenita Residual=9,80%	Martensita=85,29% Austenita Residual=14,7%	Perlita=68% Ferrita=32%
Tc=120min	Tc=120min	Tc=120min
Tp=60min	Tp=60min	Tp=60min
Te=5min	Te=1min	Te=22min

Fuente: Autor

Tabla 23. Materiales Bohler 1010

Laboratorio Materiales-Facultad de Mecánica		
Material	% Carbono	Aumento
1010 - SAE 1010	2% Carbono	Aumento 200X
Tratamiento térmico		
Templado en aceite	Templado en agua	Recocido
		
Ferrita 80% Perlita 20%	Ferrita 60% Perlita 40%	Ferrita 40% Perlita 60%
Tc=120min	Tc=120min	Tc=120min
Tp=45min	Tp=45min	Tp=45min
Te=5min	Te=1min	Te=22horas

Fuente: Autor

Los micro-constituyentes resultantes de cada material fueron encontrados con la ayuda de diagramas TTT y también haciendo referencia con los diferentes patrones fotográficos ya existentes de cada material ferroso.

CAPÍTULO IV

4. VARIABLES A SER MEDIDAS E UTILIZADOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN

4.1 Base de datos de los aceros tratados térmicamente

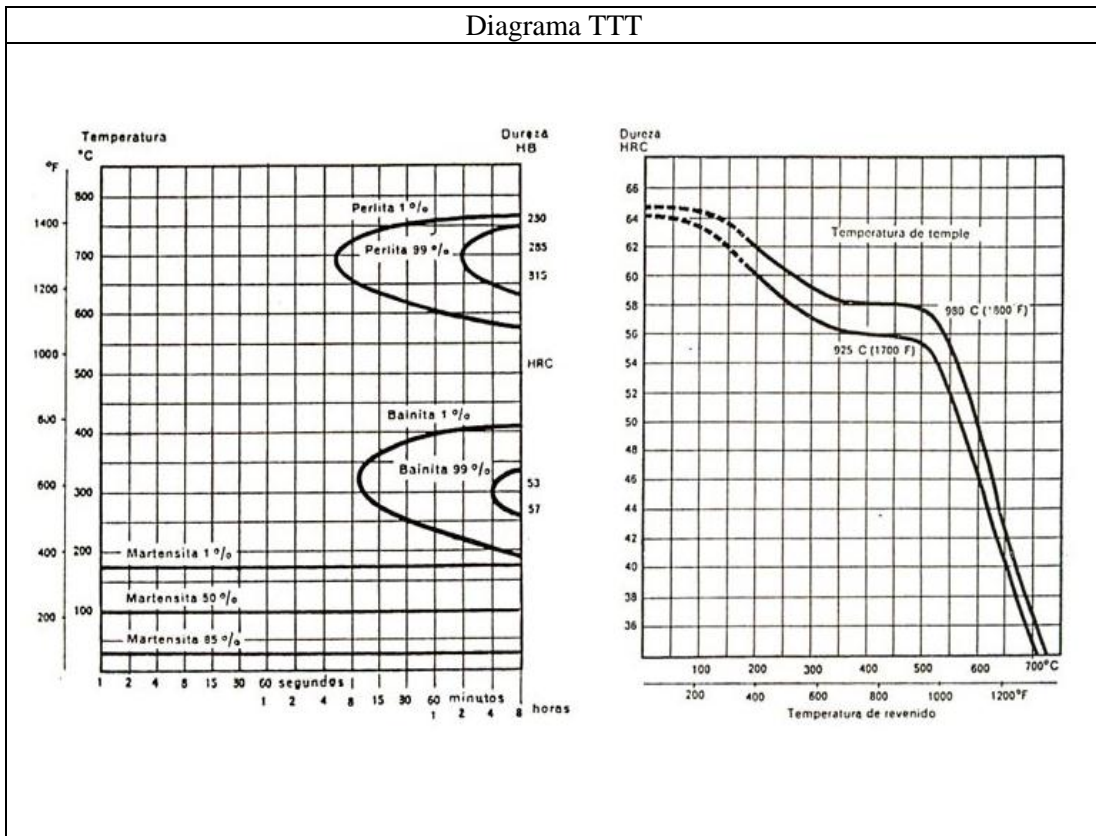
Realizar este proyecto de investigación implicó recolectar datos informativos de los materiales en estudio, por tal razón el punto de partida para un buen funcionamiento del programa es la correcta elaboración de la base de datos.

De los catálogos Ivan Bohman y aceros Bohler se recopiló información referente al Tipo de acero, equivalencia, características, utilización, composición química, diagrama Hierro-carbono, dureza, micro-constituyentes propios de cada material. Además muestran el reactivo utilizado para el ataque químico, entre los principales factores de los aceros tratados térmicamente.

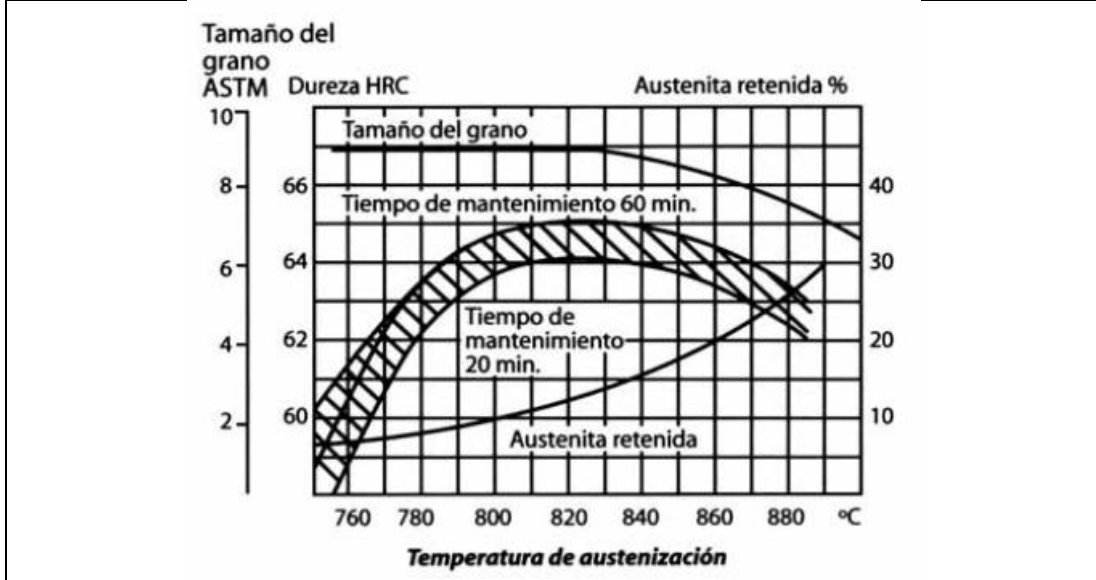
Tabla 24. ARNE – AISI 01 – Templado en agua

Información del Material		FICHA N° 1
Tipo de acero		<div style="text-align: center;"> Diagrama Hierro-Carbono </div>

Tabla 24. (continuación)



Curvas para temple



Características Físicas 62 HRC

Temperatura (°C)	20	200	400
Densidad (Kg/m ³)	7800	7750	7700
M. elasticidad (N/mm ²)	190000	185000	170000
Dilatación térmica (°C)	-	11.7x10 ⁻⁶	11.4x10 ⁻⁶

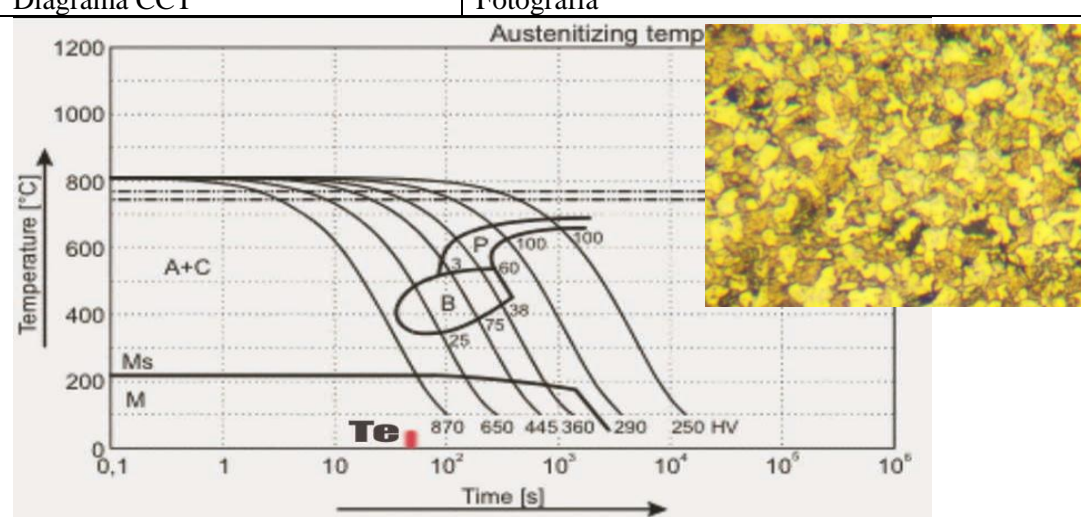
Micro constituyentes

Martensita=84,7% Austenita retenida=15,3%

Tratamiento térmico	Templado
Medio de enfriamiento	Agua

Tabla 24. (continuación)

Temperatura de austenización	790-850° C (precalentado 700° C)
Tiempo de calentamiento	120 minutos
Tiempo de permanencia	60 minutos
Tiempo de enfriamiento	1 minuto
Diagrama CCT	Fotografía



Ataque metalográfico	
Reactivo	Nital 4
Tiempo de exposición	30 Segundos

Fuente: Autor

Estas fichas de información muestran un diagrama hierro-carbono, un diagrama CCT, un diagrama (TTT) y su respectiva curva de temple.

Diagrama hierro carbono. Representa las transformaciones que sufren los aceros al carbono con la temperatura.

Diagrama TTT. Temperature, Time, Transformation, es el diagrama de transformación temperatura en función del tiempo.

Curva CCT. Continuous Cooling Transformation, es el diagrama de transformación de enfriamiento continuo.

Curva de temple. Es una gráfica que muestra la transformación del acero en el proceso de temple indicándonos la dureza HRC en función a la temperatura de austenización luego del tiempo de permanencia en el horno.

Estos diagramas son extraídos de catálogos de los fabricantes.

Tabla 25. ARNE – AISI 01 – Templado en aceite

Información del Material		FICHA N° 2
Tipo de acero		<p align="center">Diagrama Hierro-Carbono</p> <p align="center">DIAGRAMA HIERRO-CARBONO</p>
ARNE - DF2-AISI 01-100MnCrW4-F5220		
Fabricante		
IVAN BOHMAN		
Características		
Buena Maquinabilidad, estabilidad dimensional en el temple y buena combinación de dureza y tenacidad tras temple revenido.		
Utilización		
Herramientas para corte, cizallado, punzo nado, troquelado, desbastado, tronzado, cizallas para trabajar en frío. Herramientas de tronzado y desbarbado para piezas de forja.		
Composición química		
C=0,85-0,95 %; Si=0,20-0,40 %; Mn=1,00-1,30 %; Cr=0,40-0,60 %; W= 0,40-0,60%; V=0,20%		
Dureza antes del tratamiento	190HB	
Dureza luego del tratamiento	62HRC	

Diagrama TTT

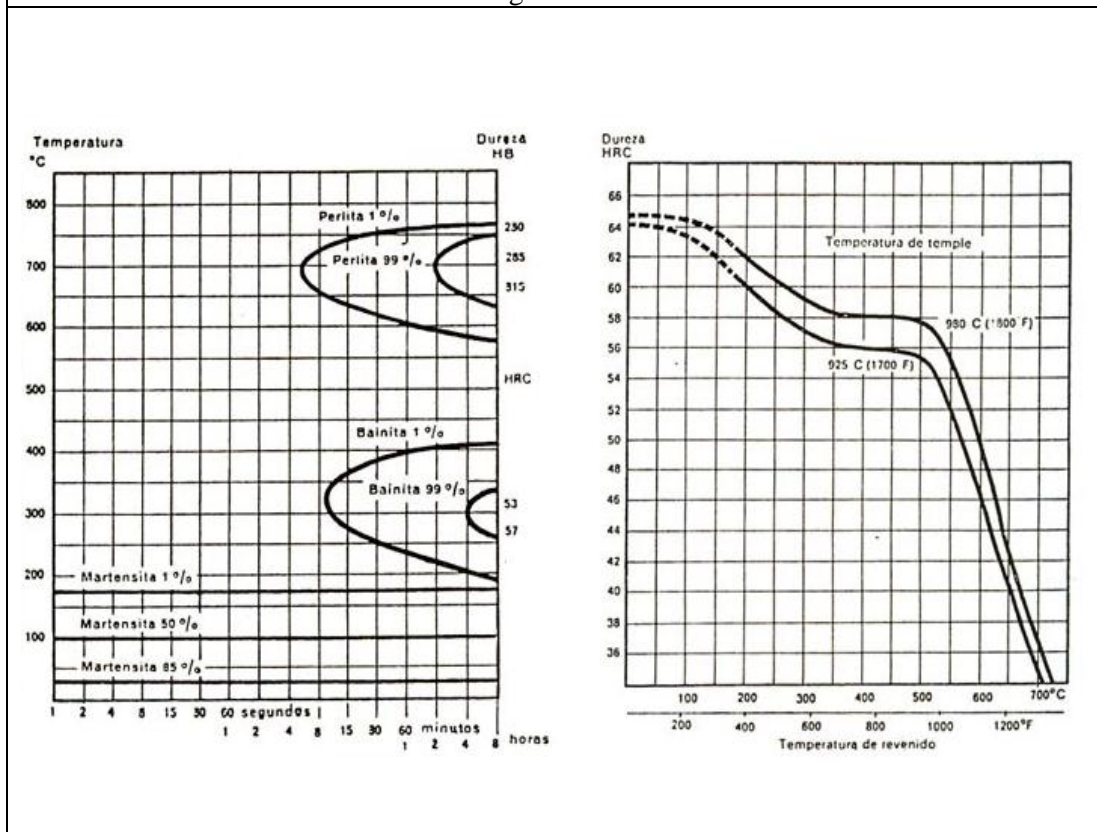
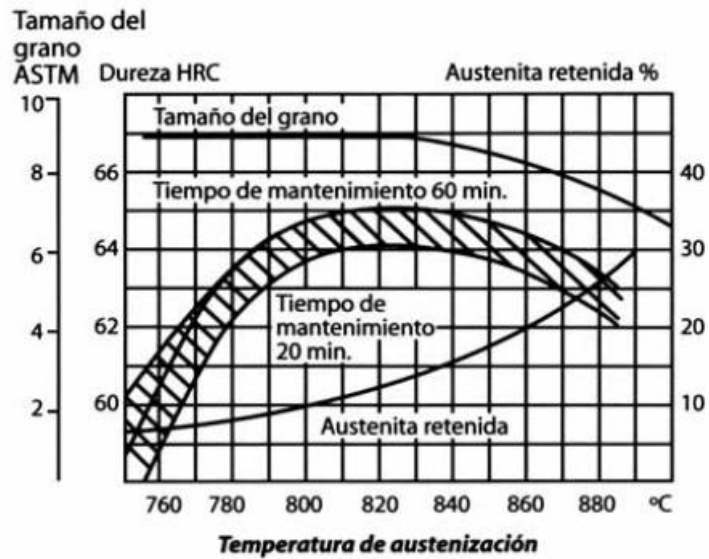


Tabla 25. (continuación)

Curvas para temple



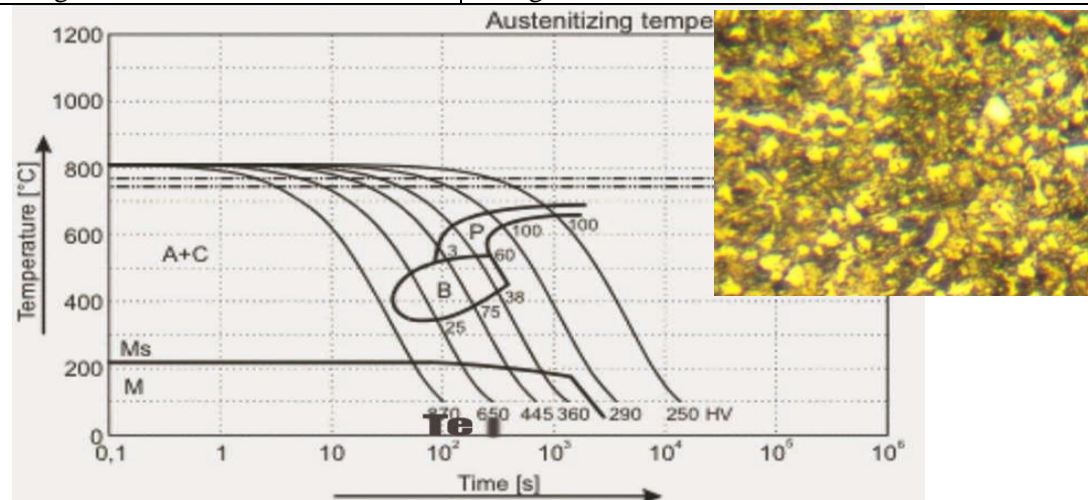
Características Físicas 62 HRC

Temperatura (°C)	20	200	400
Densidad (Kg/m ³)	7800	7750	7700
M. elasticidad (N/mm ²)	190000	185000	170000
Dilatación térmica (°C)	-	11.7x10 ⁻⁶	11.4x10 ⁻⁶

Micro constituyentes

Martensita=78,4% Austenita retenida =21,56%

Tratamiento térmico	Templado
Medio de enfriamiento	Aceite
Temperatura de austenización	790-850° C (precalentado 700° C)
Tiempo de calentamiento	120 minutos
Tiempo de permanencia	60 minutos
Tiempo de enfriamiento	3 minutos (agitación)
Diagrama CCT	Fotografía



Ataque metalográfico

Reactivo	Nital 4
Tiempo de exposición	22 Segundos

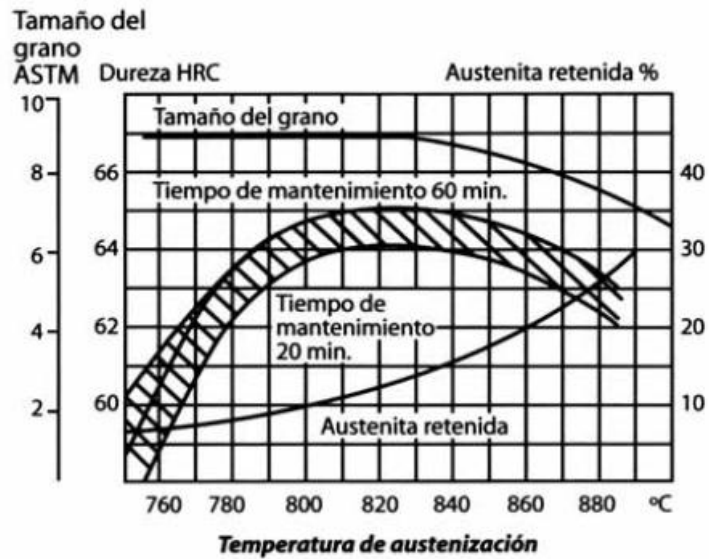
Fuente: Autor

Tabla 26. ARNE – AISI 01 – Recocido

Información del Material		FICHA N° 3
Tipo de acero ARNE - DF2-AISI 01- 100MnCrW4-F5220		Diagrama Hierro-Carbono DIAGRAMA HIERRO-CARBONO
Fabricante IVAN BOHMAN		
Características Buena Maquinabilidad, estabilidad dimensional en el temple y buena combinación de dureza y tenacidad tras temple revenido.		
Utilización Herramientas para corte, cizallado, punzo nado, troquelado, desbastado, tronzado, cizallas para trabajar en frio. Herramientas de tronzado y desbarbado para piezas de forja.		
Composición química C=0,85-0,95 %; Si=0,20-0,40 %; Mn=1,00-1,30 %; Cr=0,40-0,60 %; W= 0,40-0,60%; V=0,20%		
Dureza antes del tratamiento	190HB	
Dureza luego del tratamiento	60HRC	
Diagrama TTT		

Tabla 26. (continuación)

Curvas de temple



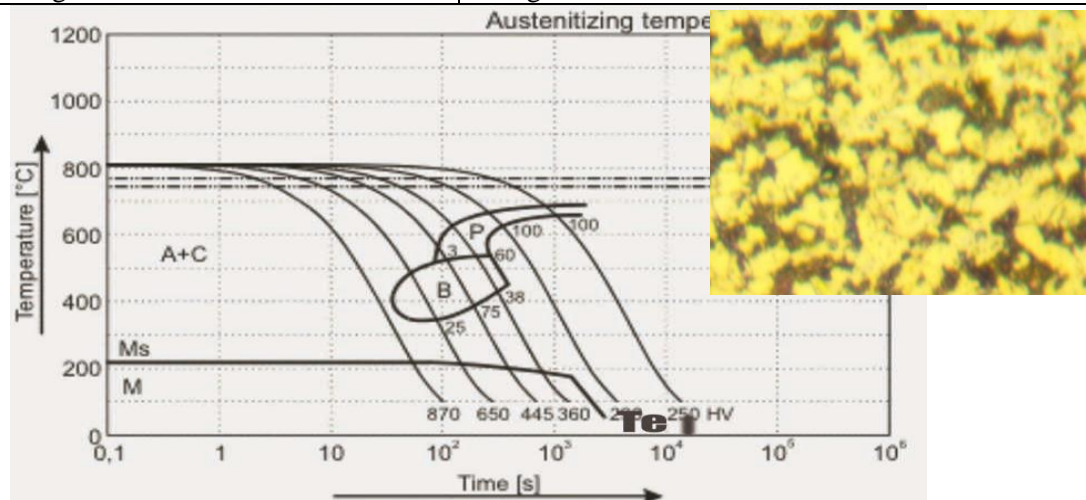
Características Físicas 62 HRC

Temperatura (°C)	20	200	400
Densidad (Kg/m3)	7800	7750	7700
M. elasticidad (N/mm2)	190000	185000	170000
Dilatación térmica (°C)	-	11.7x10 ⁻⁶	11.4x10 ⁻⁶

Micro constituyentes

Perlita=67,84% Bainita=32,15%

Tratamiento térmico	Recocido
Medio de enfriamiento	Horno 15°C/h hasta 650°C
Temperatura de austenización	780°C
Tiempo de calentamiento	120 minutos
Tiempo de permanencia	60 minutos
Tiempo de enfriamiento	19 horas
Diagrama CCT	Fotografía



Ataque metalográfico

Reactivo	Nital 4
Tiempo de exposición	28 Segundos

Fuente: Autor

4.2 Elección y adquisición de la cámara

El seleccionar una cámara con las características necesarias para trabajar con el programa LabVIEW es muy importante. Ya que de ello depende una buena captura de fotografías.

En el mercado hay muchos fabricantes de cámaras fotográficas, entre ellas las compactas, bridge réflex, de medio formato, instantáneas, técnicas y acuáticas, pero son muy pocos los fabricantes que nos ofrecen cámaras compatibles con el software LabVIEW, por tal razón se hizo una minuciosa investigación de los principales proveedores de cámaras para microscopio con extensión USB 2,0 que sean compatibles con el software que estamos trabajando es decir una microscope camera USB 2.0.

A continuación se detallan los parámetros que analizaremos para adquirir la cámara adecuada.

Tabla 27. Parámetros analizados para la adquisición de la cámara

PARÁMETROS	PESO
Adecuada para la tarea	0,06
Tamaño	0,06
Conexión USB 2.0 al computador	0,08
Captura la imagen directamente	0,08
Es compatible con la aplicación LabVIEW	0,08
Compatibilidad con Windows XP/VISTA	0,08
Tiene estabilidad al colocarse en el microscopio	0,06
Alta Resolución	0,10
Distinto Formatos de archivo	0,05
Es regulable la calidad de imagen	0,03
Posee el instalador	0,05
Emite ruido	0,05
Disponibilidad en el mercado	0,12
Precio	0,10
TOTAL	1

Fuente: Autor

Tabla 28. Comparaciones con varios tipos de cámaras

PARÁMETROS	PESO	NTSC		RENUSCO DTM-300		SPI		OMAX A3530U	
		CALIFICACIÓN	VALOR PONDERADO	CALIFICACIÓN	VALOR PONDERADO	CALIFICACIÓN	VALOR PONDERADO	CALIFICACIÓN	VALOR PONDERADO
Adecuada para la tarea	0,06	8	0,48	9	0,54	7	0,42	10	0,6
Tamaño	0,06	8	0,48	8	0,48	8	0,48	9	0,54
Conexión USB 2.0 al computador	0,08	10	0,8	10	0,8	9	0,72	10	0,8
Captura la imagen directamente	0,08	7	0,56	8	0,64	10	0,8	10	0,8
Es compatible con la aplicación LabVIEW	0,08	10	0,8	0	0	7	0,56	8	0,64
Compatibilidad con Windows XP/VISTA	0,08	10	0,8	10	0,8	9	0,72	10	0,8
Estabilidad	0,06	8	0,48	9	0,54	6	0,36	10	0,6
Alta Resolución	0,10	6	0,6	6	0,6	8	0,8	9	0,9
Distinto Formatos de archivo	0,05	8	0,4	7	0,35	8	0,4	8	0,4
Es regulable la calidad de imagen	0,03	7	0,21	7	0,21	6	0,18	7	0,21
Posee el instalador	0,05	10	0,5	10	0,5	5	0,025	10	0,5
Emite ruido	0,05	10	0,5	10	0,5	10	0,5	10	0,5
Disponibilidad en el mercado	0,12	4	0,48	5	0,6	6	0,72	7	0,84
Precio	0,10	8	0,48	8	0,8	7	0,7	10	1
TOTAL	1		7,57		7,36		7,38		9,13

Fuente: Autor

Las cámaras USB para microscopio son de gran uso en la Industria gracias a su facilidad en instalación, además son más rápidas porque transmiten los datos directamente al computador.

El software que utiliza LabVIEW posee una librería completa para leer cámaras USB, por ello se escogió este tipo de conexión para nuestra cámara digital.

Se comparó cuatro distintos tipos de cámara calificando parámetros muy importantes de cada uno de ellos

4.2.1 *Parámetros que consideramos importantes para la selección de la cámara:*

- *La accesibilidad.* Ya que es una cámara que no existe en el país buscamos en el exterior algún proveedor que nos ofrezca el envío del equipo en un tiempo estimado.
- *El precio.* Los precios de las cámaras para microscopio son muy elevados de ahí que en cuanto a precio debemos ajustarnos a nuestro presupuesto sin dejar a un lado el producto de calidad que debemos elegir
- *Resolución máxima.* Tiene una resolución de 3 MP que es más que suficiente para trabajar este tipo de fotografías.
- Puerto USB, captura de la imagen directamente al ordenador, compatibilidad con la aplicación LabVIEW, compatibilidad con WINDOWS XP.
- Adecuado para la actividad a desarrollar, tamaño, estabilidad al colocarse en el microscopio. Ajuste de colores.
- *Formatos de archivo.* La cámara OMAX permite grabar las imágenes en varios formatos de imagen (BMP, TIFF, JPG, PICT, SFTL), por lo que es una cámara versátil y útil en nuestra investigación.
- Imagen regulable, Podemos regular la calidad y pixelaje

Puesto que su accesibilidad, precio y adquisición son factibles, es compatible con LabVIEW y posee una resolución de 3 mega pixeles además se puede configurar los colores reales. Optamos por la cámara OMAX A3530U

4.2.2. Información de la cámara OMAX A3530U. Es una cámara digital con conexión USB 2.0 de fácil instalación está diseñada específicamente para trabajar en la observación microscópica ya que cuenta con un adaptador y fácilmente se la utiliza en cualquier campo como puede ser la medicina, industria, análisis de alimentos, control de calidad, entre los principales. Las imágenes capturadas son directamente llevadas al ordenador puesto que cuenta con un software que permite la interacción hombre-máquina de este modo facilita su posterior estudio.

Tabla 29. Especificaciones de la cámara OMAX A3530U

OMAX A3530U	
Sensor de imagen	1/2" Color 3M CMOS
Tamaño del pixel	3µm x 3µm
Sensibilidad (v / lux-sec @ 550 nm)	1.6
Resolución máxima (Hardware)	2020 x 1530, 3M píxeles
Velocidad (Dependerá de la PC)	12 frames/sec @ 2020 X 1530
Respuesta espectral	380nm~1000nm
Rango Dinámico	70 dB
Longitud de onda (nm)	400-600nm (IR-Cut en el original)
Exposición	ERS (Snap balanceo electrónico)
Balance de blancos	Automático / Manual
Auto-exposición	Automático / Manual
Imagen de salida	USB 2.0, 480 Mb / s
Fuente de alimentación	USB 2.0
Temperatura de trabajo	-20 ° C ~ 50 ° C
Vista de campo	Rectángulo inscrito de Φ20 mm
Uso	De tubo-ocular o foto-tubo en el microscopio
Formato de archivo	BMP, TIFF, JPG, PICT, SFTL etc.
Interfaz	USB
Sistema operativo	Windows 2000/XP (SP2) // Vista32BIT
Software	Driver TopView
Peso	2 lb sin adaptador ocular
Cuerpo de la cámara	Muy robusto difícil de romper

Fuente: Fuente: OMAX. Catalogo Camera Microscope usb 2013. p. 47

4.2.3. Características. Es de instalación directa al microscopio y toma fotografía donde pueden regularse las características de la imagen.

Figura 49. Cámara Omax A3530U



Fuente: <http://goo.gl/pvOXOO>

Todas las cámaras son muy importantes y necesarias en alguna tarea específica pero de acuerdo a los parámetros de elección optamos por la cámara OMAX ya que cumple con todos los requisitos estudiados anteriormente.

CAPITULO V

5. PROGRAMACIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

5.1 Elección de programa

LabVIEW es un software de programación G (graficas), de entre sus características tenemos las librerías Vision & Imaq que permite procesar y comparar patrones fotográficos mediante la creación de una base de datos en forma de Instrumentos virtuales. Por esta razón elegimos la versión 2012 de este programa para realizar nuestro proyecto.

Figura 50. Pantalla de inicio de LabVIEW 2012



Fuente: Software LabVIEW 2012

5.1.1. VI 1. Ingreso a página de programación. (login). Como en todos los programas al momento de arrancar el VI, necesitamos digitar una clave y contraseña, por seguridad vamos a darle nombre de usuario y clave para poder ejecutar el programa.

En este paso crearemos una pantalla donde se escribirá el nombre de usuario (docente, estudiante, programador) y la contraseña (docente,123456, 0000) respectivamente, para poder acceder al programa el nombre de usuario y contraseña son los correctos el programa

empieza a correr, caso contrario muestra un mensaje que dice el nombre de usuario o contraseña es correcto.

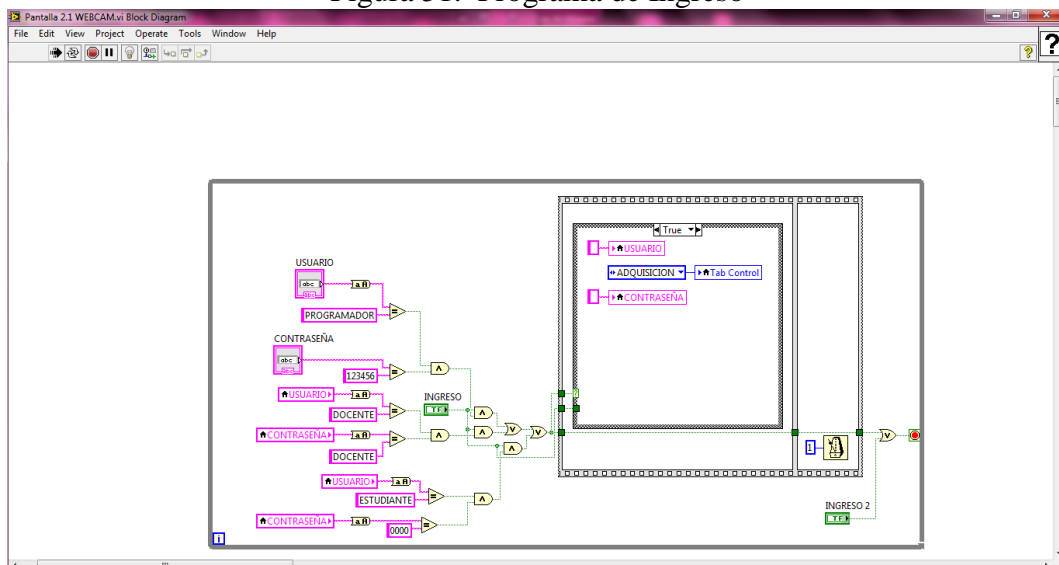
Tabla 30. Nombre de usuario y contraseña

Nº	Usuario	Contraseña
1	programador	123456
2	docente	Docente
3	estudiante	0000

Fuente: Autor

5.1.1.1. Diagrama de la bloques de la programación de inicio.

Figura 51. Programa de Ingreso



Fuente: Software LabVIEW 2012

Dentro del While Loop, tenemos el Case Structure con un condicional en este caso verdadero (True) el cual nos permite que el programa arranque siempre y cuando el nombre de usuario y la clave sean correctos caso contrario el Case Structure con un condicional en este caso falso (False) nos mostrara un mensaje en la pantalla que dice la clave o contraseña no son correctas. Para lo cual procedemos a cerrar el mensaje e introducir la clave y contraseña correctas nuevamente.

Una vez que ingresamos correctamente los datos el programa inmediatamente nos envía a la ventana principal del programa.

5.1.1.2 *Panel frontal de la programación de inicio.* En el panel frontal nos muestra una pantalla de ingreso en donde digitamos el nombre de usuario y la contraseña. Seguido de eso presionamos ingresar y el programa nos llevara a la siguiente pestaña.

Si el nombre de usuario o contraseña no son correctos, el programa muestra un mensaje en la pantalla indicándonos que la clave o contraseña son erróneas y bloqueando las demás pestañas.

Figura 52. Pantalla de inicio del programa



Fuente: Software LabVIEW 2012

Luego de digitar la clave y nombre de usuario ingresamos a una pantalla donde se despliegan seis nuevas pestañas de trabajo entre ellas: adquisición que sirve para tomar una nueva fotografía, búsqueda la utilizamos para comparar con el patrón fotográfico de la base de datos, información que nos muestra la información del material comparado, diagramas que muestra el diagrama CCT y TTT del respectivo material, ayuda que cuenta con documentos en formato PDF de varios manuales de uso y hojas de información, y por último la pestaña de stop que sirve para parar el programa en caso de emergencia.

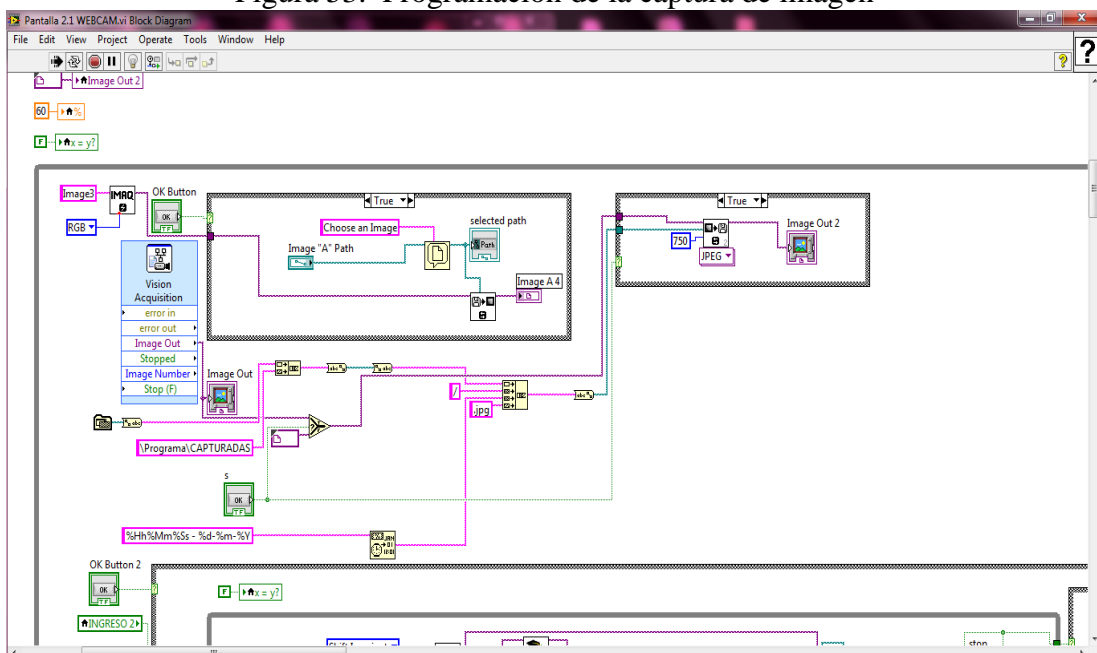
Posteriormente iremos detallando las funciones y utilidad de cada una de las pestañas, en caso de que el estudiante necesite información adicional puede encontrarla en los anexos e incluso en la ventana de ayuda del programa.

5.1.2 VI 2. Capturar imagen (Adquisición). El segundo paso es capturar la imagen de una nueva probeta previo trabajo metalográfico que sirve para compararla con la base de datos creada en el programa. Las fotografías tomadas se guardan en una carpeta específica PARA COMPARAR.

5.1.2.1. Diagrama de bloques de la captura de imagen. Al ingresar al diagrama de bloques de la pestaña “adquisición” el icono image es del visualizador número 1 que está enfocando en tiempo real la imagen que emite el microscopio. Cuando pulsamos capturar inmediatamente nuestra cámara tomara una fotografía que se visualizara en la pantalla 2 vista en el diagrama de bloques como Image 2.

El formato de archivo es JPEG que lo guardaremos en el escritorio con el nombre de PROGRAMACION:

Figura 53. Programación de la captura de imagen



Fuente: Software LabVIEW 2012

La librería Vision and Motion, nos permite utilizar una cámara OMAX que muestra en tiempo real la imagen de salida.

Al presionar el botón CAPTURAR inmediatamente se guarda la imagen de salida 2 en la carpeta PARA COMPARAR con la fecha y hora de la fotografía.

5.1.2.2 *Panel frontal de la ventana (Adquisición).* El proceso de capturar de imagen es muy sencillo, ya que contamos con dos ventanas la numero 1 donde visualizaremos en tiempo real lo que el microscopio capte y en la numero 2 podemos tomar una fotografía instantánea de nuestra probeta presionando el botón capturar.

Figura 54. Pantalla de captura de imagen



Fuente: Software LabVIEW 2012

Como podemos observar en el diagrama de bloques las fotos se guardaran en la carpeta llamada PARA COMPARAR de la misma carpeta PROGRAMACIÓN.

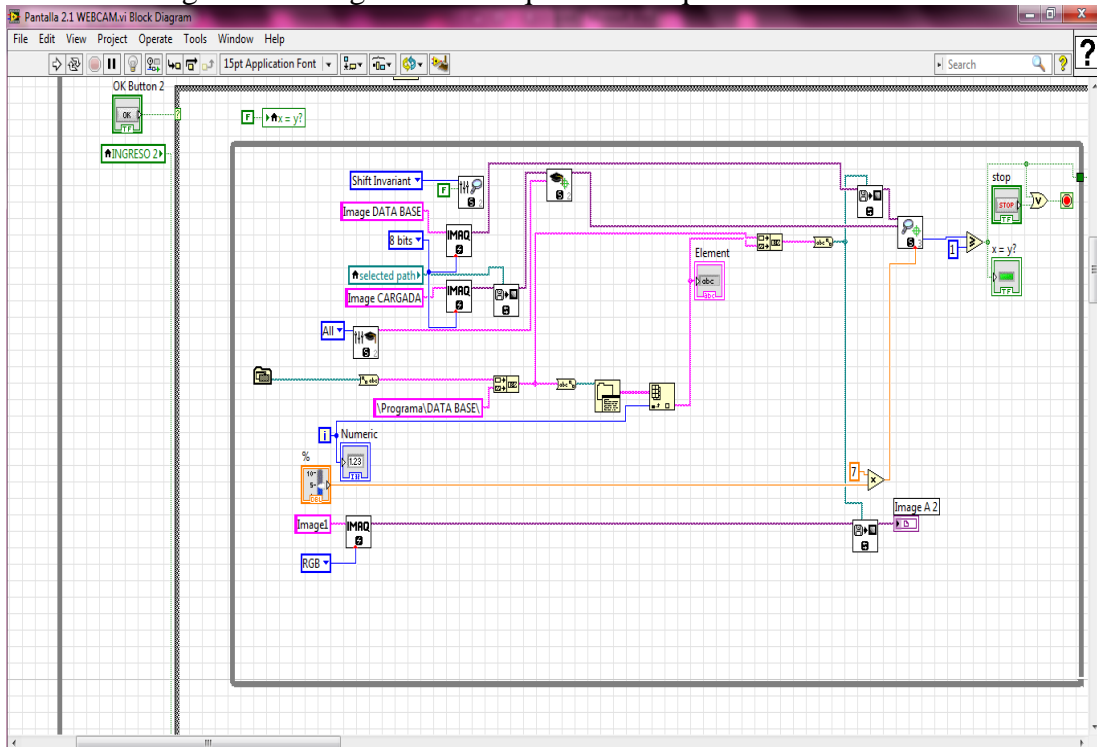
5.1.3. *VI 3. Comparación de patrones (Búsqueda).* En la ventana búsqueda presionamos el botón abrir para cargar la fotografía de la carpeta PARA COMPARAR o de cualquier otra fotografía que vayamos a compararla con nuestra base de datos, luego presionamos el botón iniciar y la búsqueda del patrón fotográfico más similar inicia.

5.1.3.1 *Diagrama de la bloques para la comparación de imágenes.* El programa crea una plantilla de cada fotografía de la base de datos para luego irla comparando con las fotografías cargadas de la carpeta PARA COMPARAR cabe indicar que para esto contaremos con una semejanza que podemos regularla con un valor que va desde 0% hasta 100%.

Pero es recomendable trabajar con un porcentaje de semejanza superior al 70% ya que a

menor porcentaje de similitud mayor será el porcentaje de error en la comparación y a mayor porcentaje de similitud menor será el porcentaje de error en la comparación.

Figura 55. Diagrama de bloques de búsqueda de información



Fuente: Software LabVIEW 2012

En esta parte cuenta con las herramientas Learn Pattern 2VI y Match Pattern 3VI que son las encargadas en realizar la comparación de imagen, la primera toma una fotografía de la base de datos y realiza una plantilla mientras que la segunda toma una fotografía de la carpeta PARA COMPARAR y realiza la comparación con todas las plantillas de la base de datos.

Además cuenta con una regleta que nos indica el porcentaje de similitud para la comparación la cual podemos regularla según el valor de precisión que el operario necesite.

Pero habíamos dicho anteriormente que el porcentaje de similitud debe ser superior a 80% para evitar errores de comparación. Ese error es admisible y necesario ya que estamos trabajando con un grupo muy grande de fotografías, es lógico pensar que en una gran cantidad de fotografías todas sean iguales y al otro extremo si la similitud baja pues puede reconocer varias fotografías y nos muestra un resultado erróneo.

5.1.3.2. Panel frontal de la comparación de imagen

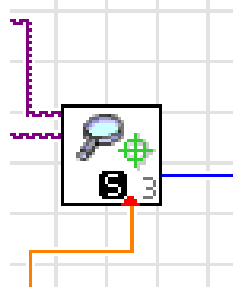
Figura 56. Pantalla de comparación de imagen



Fuente: Software LabVIEW 2012

La pestaña *Búsqueda* muestra un visualizador de imagen en el cual abrimos la fotografía capturada, luego al presionar el botón iniciar empieza la comparación de imágenes donde busca semejanzas entre fotografías, cuando la búsqueda finalice el borde de la pantalla se pone en color verde y TIPO DE ACERO en el casillero aparecerá el nombre del material obtenido.

Figura 57. Herramienta para la comparación de imagen



Fuente: Software LabVIEW 2012

Esta porción de programa es la clave para la comparación de imágenes. Trabaja con un porcentaje de semejanza de un 80%, además esta herramienta funciona con fotografías de 8bits para ello se convierte la imagen de colores RGB a escalas de gris mediante el mismo programa; sin embargo la fotografía se mantiene con sus colores originales en el momento de tomarla.

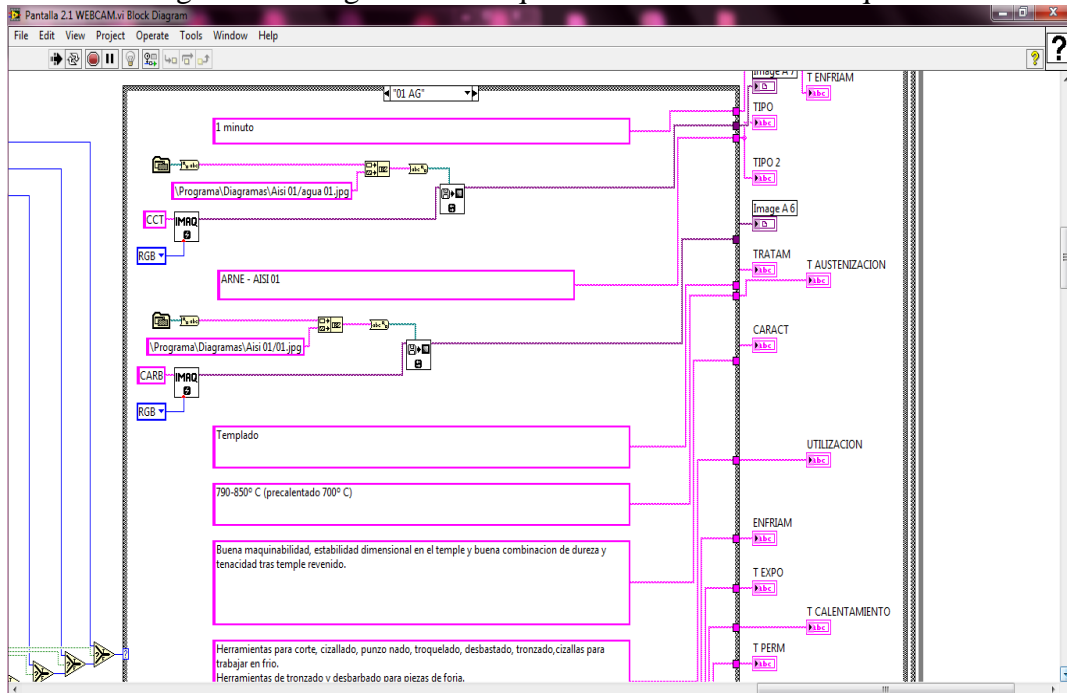
5.1.4 *VI 4. Resultados (Información).* Esta parte del programa muestra toda la información de las probetas comparadas.

5.1.4.1 *Diagrama de la bloques información.* Esta base de datos tiene información de cada uno de los aceros, esta información fue tomada de los catálogos de los fabricantes.

Al tratar térmicamente los aceros se hizo una investigación de campo y se recolecto información de los distintos parámetros que implica realizar un tratamiento, los cuales detallamos a continuación:

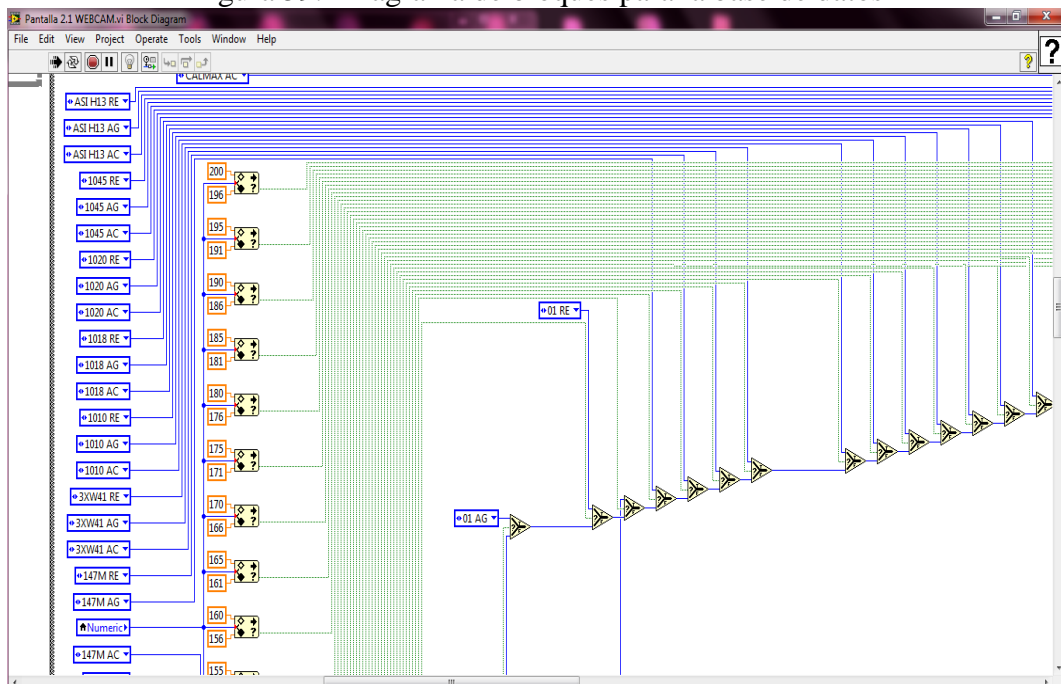
- Tipo de acero
- Nombre del fabricante
- Equivalencias
- Características
- Utilización
- Composición química
- Micro-constituyentes
- Tratamiento térmico
- Agente de enfriamiento
- Temperatura de austenización
- Tiempo de calentamiento
- Tiempo de permanencia en el horno
- Tiempo de enfriamiento
- Diagrama hierro carbono
- Diagrama CCT
- Diagrama TTT
- Dureza antes del tratamiento
- Dureza después del tratamiento
- Temperatura de precalentado
- Características físicas
- Curvas de temple
- Fotografía de la microestructura
- Reactivo utilizado

Figura 58. Diagrama de bloques de resultado de la búsqueda



Fuente: Software LabVIEW 2012

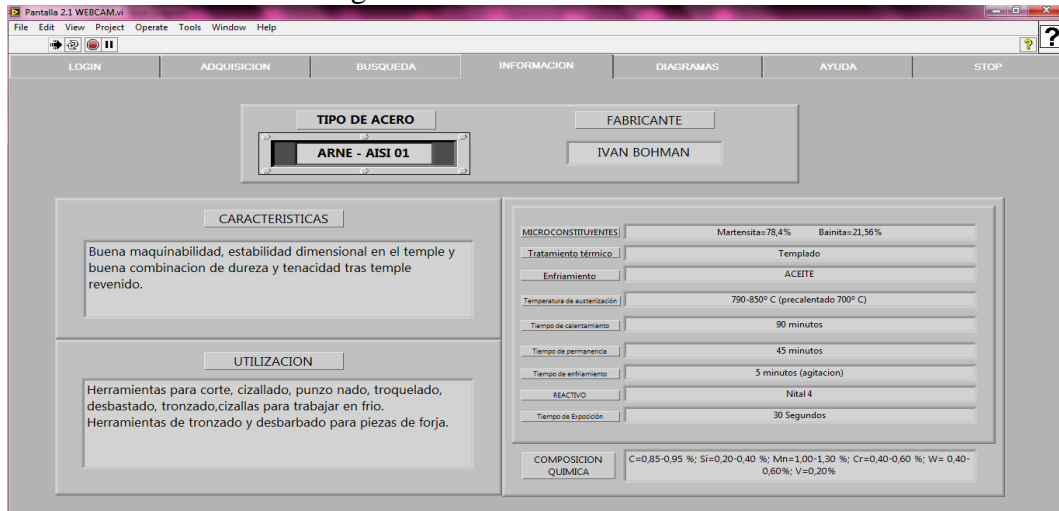
Figura 59. Diagrama de bloques para la base de datos



Fuente: Software LabVIEW 2012

5.1.4.2 *Panel frontal de la ventana información.* En esta ventana se detalla toda la información de las probetas trabajadas metalográficamente, para el efecto se incluyeron datos experimentales dentro de una base de datos.

Figura 60. Pantalla de resultados



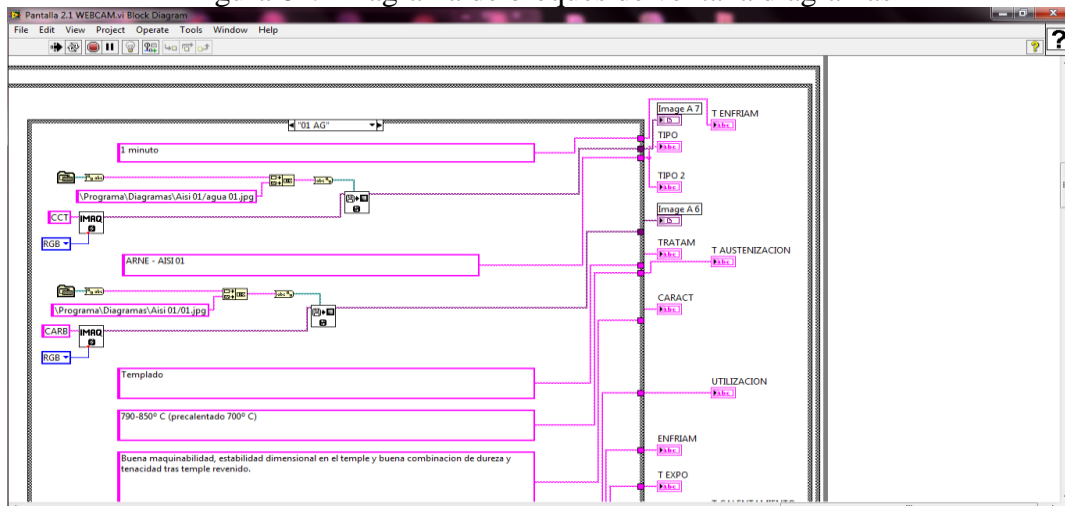
Fuente: Software LabVIEW 2012

Al abrir la ventana información tenemos al a mano toda la información referente al material comparado y extraído de la base de datos

5.1.5 VI 5. Diagramas. Esta ventana muestra el diagrama hierro carbono y la respectiva curva CCT de cada tipo de acero.

5.1.5.1 Diagrama de la bloques de la programación.

Figura 61. Diagrama de bloques de ventana diagramas



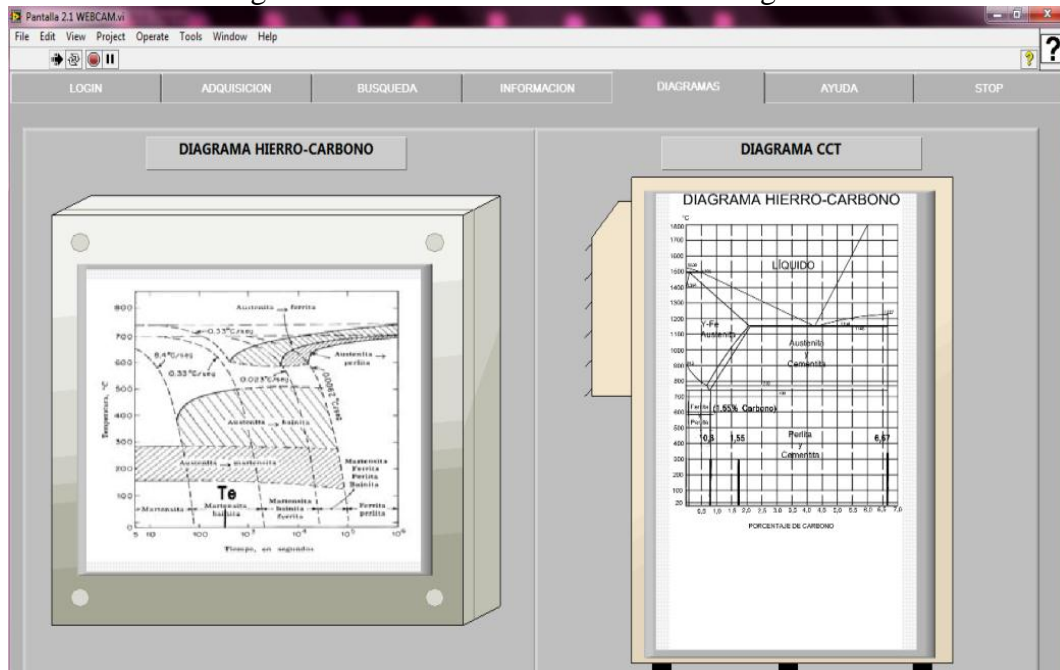
Fuente: LabVIEW 2012

La programación está diseñada tal forma que; cuando el material es identificado, inmediatamente busca en la base de datos la respectiva imagen del material que se está observando.

5.1.5.2 *Panel frontal de ventana diagramas.* Al ingresar a la ventana Diagramas se despliega una pestaña donde podemos observar el diagrama Hierro-carbono así como también el diagrama TTT del material que se está observando.

Para la programación los diagramas se guardaron las ilustraciones de cada uno de los aceros en formato JPEG.

Figura 62. Panel frontal de la ventana diagramas



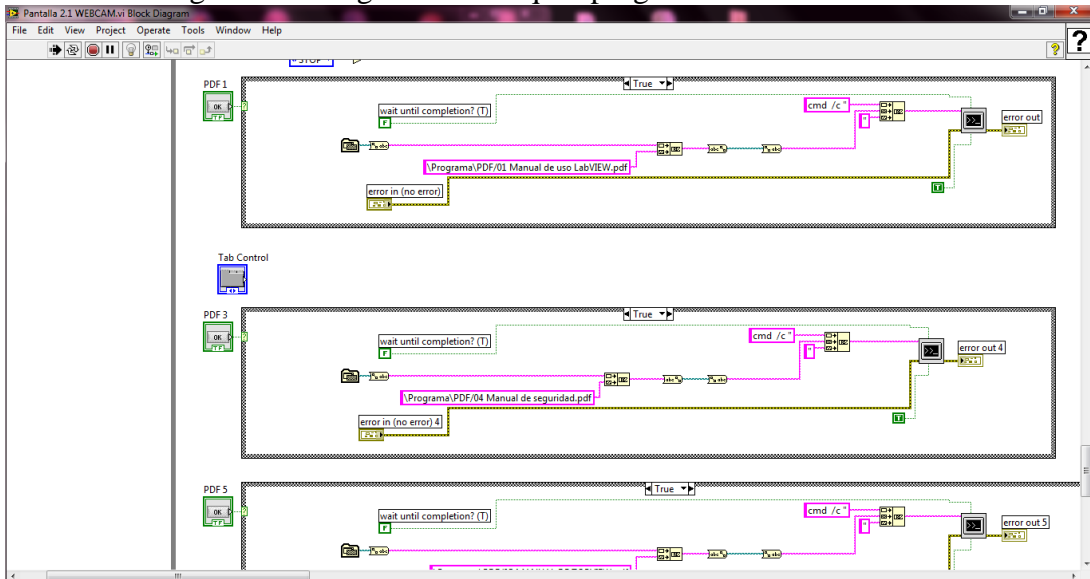
Fuente: Software LabVIEW 2012

5.1.6 *VI 6. Ayuda (manuales).* La ventana ayuda cuenta con 5 manuales disponibles para el usuario, su programación se la hizo en instrumentos virtuales independientes cada uno cuenta con un directorio de aplicación (Application Directory) el cual permitirá que los archivos de ayuda guardados dentro del programa.

5.1.6.1 *Diagrama de bloques manuales.* Para la programación de esta ventana se lo realizo con un instrumento virtual que contiene cinco sub-instrumentos virtuales con los respectivos diagramas. El programa abre los archivos correctos en muy poco tiempo ya que cuenta con la aplicación directorio la que es encargada de abrir documentos.

Cuando el usuario presiona el nombre del manual que necesita, se abre un documento en formato PDF con los archivos correspondientes.

Figura 63. Diagrama de bloques programación de manuales



Fuente: Software LabVIEW 2012

5.1.6.2 *Panel frontal de la pestaña ayuda.* La documentación de ayuda se muestra en esta pestaña y bastara con dar un click sobre el botón Abrir, para recibir la información requerida. Para programar la documentación de ayuda se guardaron los distintos manuales en formato PDF y con la ayuda de un directorio de aplicación (Application Directory).

Figura 64. Panel frontal de la ventana ayuda



Fuente: Software LabVIEW 2012

Al presionar la palabra Abrir de cualquiera de los documentos de ayuda se abrirá en formato PDF el respectivo manual de ayuda para el usuario.

A continuación se muestra un diagrama de procesos de la ventana ayuda donde indica paso a paso el proceso a seguir para preparar las probetas, tratarlas térmicamente, realizar su respectivo proceso de metalografía, hasta finalmente llegar al proceso de automatización del análisis micro-estructural de los aceros tratados térmicamente.

Cuenta también de forma adicional con los manuales de uso LabVIEW, manual de mantenimiento, manual de seguridad, manual de uso TopVIEW.

Figura 65. Diagrama de procesos ventana ayuda

ANEXO B				
DIAGRAMA DE PROCESOS PARA EL ANÁLISIS MICROESTRUCTURAL DE LOS ACEROS TRATADOS TÉRMICAMENTE				
DIAGRAMA DE PROCESOS				
FACULTAD DE MECANICA			ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL	
AUTOMATIZACION DEL ANALISIS MICROESTRUCTURAL DE LOS ACEROS TRATADOS TÉRMICAMENTE				
Nº	Ilustración	Operación	Descripción	Tiempo
1		Selección de aceros	Los aceros seleccionados son de los máximos proveedores del mercado nacional Iván Bohman y Bohler, utilizados con más frecuencia en el campo industrial y lo más importante que se los pueda tratar térmicamente.	5 min
2		Corte de muestras DISCOTON	Cortamos con una maquina llamada discoton y la ayuda de un disco abrasivo Nº1 para materiales duros. El corte se debe hacer con el mayor cuidado posible, buscando no producir cambios en el material como transformaciones de fase.	15 min

Fuente: Software LabVIEW 2012

5.2 Prueba y análisis de resultados de la programación

Un análisis de resultados debe ser lo más confiable posible, esto lo realizaremos con la ayuda de la siguiente formula estadística.

$$n = \frac{N \times Z^2 \times p \times q}{[d^2 \times (N - 1)] + (Z^2 \times p \times q)} \quad (5)$$

Dónde:

N = Total de la población

Z= 1.96 al cuadrado (si la seguridad es del 95%)

p = proporción esperada (en este caso 5% = 0.05)

q = 1 – p (en este caso 1-0.05 = 0.95)

d = precisión (en su investigación use un 5%).

Sabiendo que el número total de probetas a estudiar son 39. Al remplazar en la ecuación 1 tenemos;

$$n = \frac{39 \times 1,96^2 \times 0,05 \times 0,95}{[0,05^2 \times (39 - 1)] + (1,96^2 \times 0,05 \times 0,95)}$$

$$n = 23,67$$

$$\mathbf{n = 24}$$

Estudio metalográfico. El estudio metalográfico se lo realizo correctamente en todas las probetas teniendo dificultad en el reactivo a utilizar pero este problema se solucionándolo en el transcurso del proyecto razón por la cual podemos decir que un 100% de probetas fueron estudiadas metalográfica mente.

Identificación de micro-constituyentes. Para identificar los microconstituyentes nos basamos en las curvas de enfriamiento TTT o curvas “S” además de guiarnos en lo observado en el microscopio y la experiencia q debemos tener al momento de observar microestructuras de los aceros por tal virtud fusionamos las tres técnicas y obtuvimos los micro-constituyentes de todas las probetas y decimos que el 100% de micro-constituyentes fueron identificados

Investigar las aplicaciones de LabVIEW. El campo de aplicación de este software es muy extenso incluyendo también las aplicaciones fotográficas. Para el desarrollo d este proyecto se investigó un 80% del tema.

Crear una base de datos. Con la ayuda de un case structure se creó una base de datos de 39 probetas incluyendo toda su información, esto servirá como una base de datos que nos permite encontrar el respectivo patrón fotográfico similar. De ahí que un 90% de los datos fueron ingresados ya que el resto es información no muy importante.

Automatización del análisis micro-estructural. Entonces debemos elegir aleatoriamente 24 probetas para realizar la comprobación del análisis micro-estructural de los aceros tratados térmicamente.

5.3 Primer análisis de resultados obtenidos

Para iniciar la comprobación de la automatización del “Análisis microestructural de los aceros tratados térmicamente mediante la utilización de LabVIEW, implementado en el laboratorio de tratamientos térmicos de la Facultad de Mecánica; tenemos una base de datos con 5 fotografías de cada tipo de material.

Esto implica una base de datos de 195 fotografías con un peso de 12,6 MB. El tiempo de ejecución para la comparación tiene un rango de 3 segundos la identificación más rápida hasta 120 segundos la identificación más lenta sin problemas de colapso en el sistema programado.

Una vez terminada la comparación de las 39 probetas, se obtuvieron errores en la comparación de 15 tipos de acero.

Eficiencia del programa. Luego de realizar las pruebas de control en 39 probetas se obtuvieron 15 resultados fallidos y 24 correctos, para obtener un porcentaje de eficiencia realizamos una regla de tres.

Las 39 probetas corresponden al 100 de eficiencia.

39 probetas 100%

$$15 \text{ probetas } x\% = \frac{15 \text{ probetas} \times 100\%}{39 \text{ probetas}} = 38,5\% \quad (6)$$

Como todo programa no es eficiente a un 100% y tomando en cuenta la comparación fallida de las 15 probetas, nuestro programa tubo un error del 38,5% eso quiere decir que nuestro programa trabaja con un 61,5% de eficiencia.

El programa tiende a confundirse ya que la base de datos construida es muy pequeña.

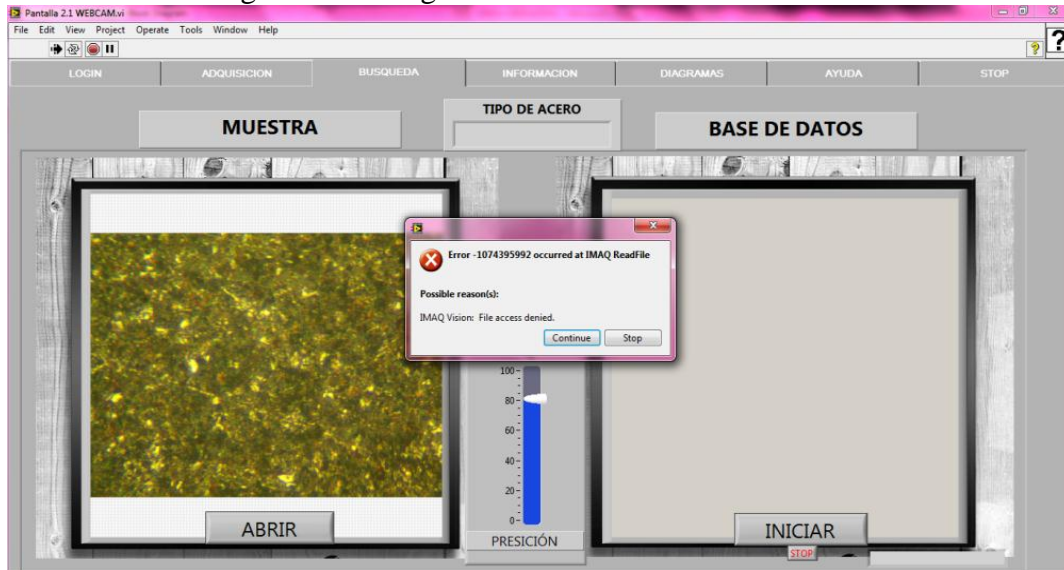
El siguiente cuadro muestra en resumen el resultado de las comparaciones realizadas con el programa de automatización del análisis micro-estructural de los aceros tratados térmicamente. Cuenta con dos casilleros y están marcados con una equis los aceros que se compararon y los que no se compararon.

Tabla 31. Evaluación prueba 1

Material	Tratamiento Térmico	Compara	No compara	Equivalencia
ARNE	Templado en agua	x		
ARNE	Templado en aceite	x		
ARNE	Recosido	x		
XW 41	Templado en agua	x		
XW 41	Templado en aceite		x	
XW 41	Recosido		x	
Calmax	Templado en agua		x	
Calmax	Templado en aceite		x	
Calmax	Recosido		x	
Impax718	Templado en agua		x	
Impax718	Templado en aceite	x		
Impax718	Recosido		x	
8407	Templado en agua	x		
8407	Templado en aceite	x		
8407	Recosido		x	
760	Templado en agua	x		
760	Templado en aceite	x		
760	Recosido	x		
145M	Templado en agua		x	
145M	Templado en aceite	x		
145M	Recosido	x		
Sae 1018	Templado en agua		x	
Sae 1018	Templado en aceite		x	
Sae 1018	Recosido	x		
E 920	Templado en agua	x		
E 920	Templado en aceite		x	
E 920	Recosido	x		
W302	Templado en agua	x		
W302	Templado en aceite	x		
W302	Recosido	x		
M238	Templado en agua			
M238	Templado en aceite	x	x	
M238	Recosido	x		
K100	Templado en agua	x		
K100	Templado en aceite		x	
K100	Recosido	x		
1010	Templado en agua		x	
1010	Templado en aceite	x		
1010	Recosido	x		

Fuente: Autor

Figura 66. Fotografías de identificaciones fallidas.

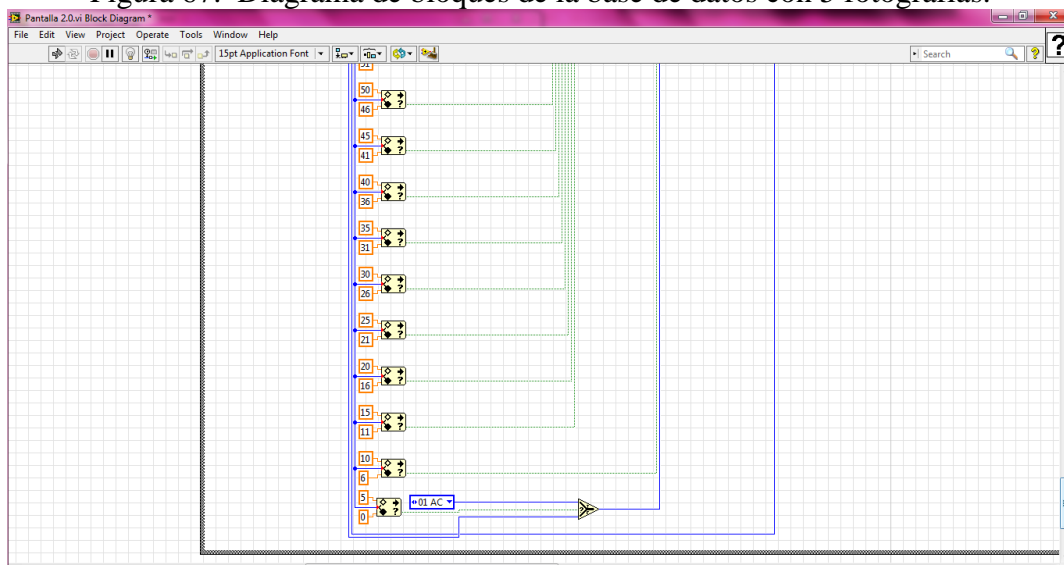


Fuente: LabVIEW 2012

En la ventana **MUESTRA** la fotografía se cargó correctamente, mientras que en la ventana **BASE DE DATOS** no se abre ninguna fotografía. Aquí podemos ver el mensaje de **ERROR** que muestra el programa al no completar la comparación.

Una vez que hallamos las causas por las que el programa no funcione en forma adecuada vamos corrigiendo y verificando que cada una de las causas hayan sido mejoradas para posteriormente volver a cargar el programa realizar todos los pasos anteriores a la comparación y verificar que el programa funcione correctamente.

Figura 67. Diagrama de bloques de la base de datos con 5 fotografías.



Fuente: LabVIEW 2012

5.4 Segundo análisis de resultados obtenidos

Para este análisis se corrigió el programa insertando mayor cantidad de fotografías.

Tabla 32. Evaluación prueba 2

Material	Tratamiento Térmico	Compara	No compara	Equivalencia
ARNE	Templado en agua	x		
ARNE	Templado en aceite	x		
ARNE	Recosido	x		
XW 41	Templado en agua	x		
XW 41	Templado en aceite	x		
XW 41	Recosido	x		
Calmax	Templado en agua	x		
Calmax	Templado en aceite	x		
Calmax	Recosido	x		
Impax718	Templado en agua	x		
Impax718	Templado en aceite	x		
Impax718	Recosido	x		
8407	Templado en agua	x		
8407	Templado en aceite	x		
8407	Recosido	x		
760	Templado en agua	x		
760	Templado en aceite	x		
760	Recosido	x		
145M	Templado en agua	x		
145M	Templado en aceite	x		
145M	Recosido		x	
Sae 1018	Templado en agua	x		
Sae 1018	Templado en aceite	x		
Sae 1018	Recosido	x		
E 920	Templado en agua	x		
E 920	Templado en aceite	x		
E 920	Recosido	x		
W302	Templado en agua	x		
W302	Templado en aceite	x		
W302	Recosido	x		
M238	Templado en agua	x		
M238	Templado en aceite	x		
M238	Recosido	x		
K100	Templado en agua	x		
K100	Templado en aceite	x		
K100	Recosido	x		
1010	Templado en agua	x		
1010	Templado en aceite	x		
1010	Recosido	x		

Fuente: Autor

Para que haya más exactitud al momento de la comparación de los patrones fotográficos la base de datos se incrementó de 5 a 20 fotografías para cada tipo de acero.

Eficiencia del programa. Luego de realizar las pruebas de control en 39 probetas se obtuvieron 1 resultados fallidos y 38 correctos, para obtener un porcentaje de eficiencia realizamos una regla de tres.

Las 39 probetas corresponden al 100 de eficiencia.

39 probetas 100%

$$38 \text{ probetas } x\% = \frac{38 \text{ probetas} \times 100\%}{39 \text{ probetas}} = 96,96\% \quad (7)$$

Como todo programa no es eficiente a un 100% nuestro programa tubo un error del 3,3% eso quiere decir que nuestro programa trabaja con un 96,96% de eficiencia.

Figura 68. Fotografías de identificaciones acertadas.

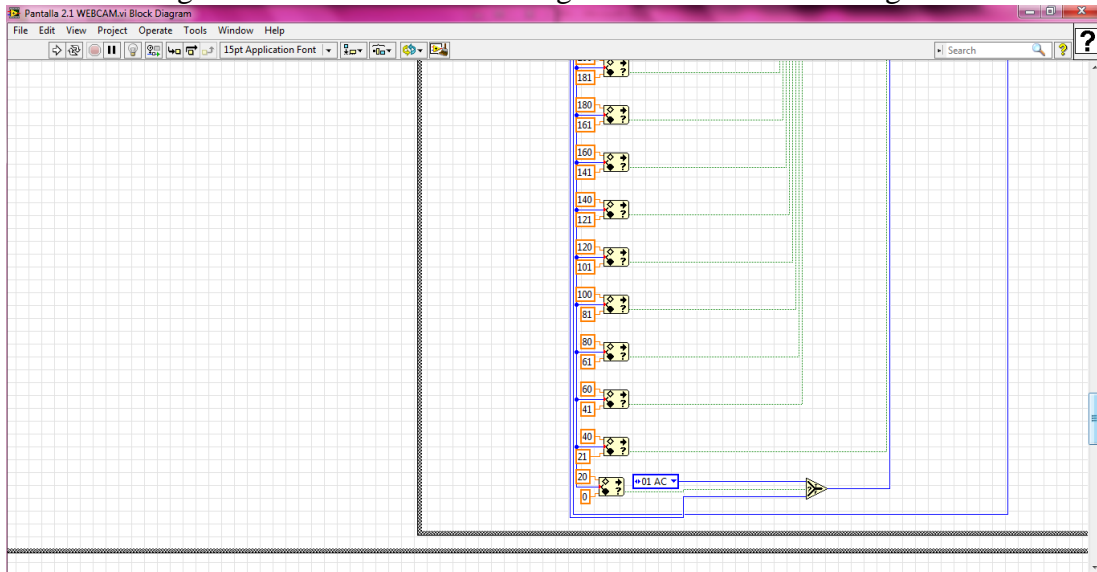


Fuente: LabVIEW 2012

También se conectó un indicador de precisión que tiene el rango de 0% a 100% para poder regular el grado de similitud de las comparaciones de preferencia y por defecto la precisión con la que trabajamos es de 80%.

Luego de estos cambios claramente evidenciamos un mejor rendimiento del programa lo cual nos muestra mejores resultados.

Figura 69. Base de datos del segundo control con 20 imágenes



Fuente: LabVIEW 2012

5.5 Resumen del análisis de resultados

En el cuadro de resumen anterior se evidencia un perfecto funcionamiento del software esto se debe al incremento de fotografías en la base de datos, sumada a la correcta programación realizada, así como también a la perfecta preparación de las probetas es decir que para utilizar el programa necesariamente las probetas metalográficas deben estar trabajadas de una forma correcta lo cual incluye:

- Desbastar correctamente las probetas
- No exceder el tiempo de trabajo de las lijas ni tampoco del paño de pulido.
- Controlar el tiempo de ataque metalográfico, utilizar el reactivo químico adecuado.
- Evitar que el reactivo químico pierda sus propiedades.
- Si la probeta se oxidada debe volverse a pulir y atacarla químicamente.
- Como las fotografías de la base de datos están tomadas a 200X, necesariamente las fotos a compararse deben ser tomadas a 200X.
- La cámara OMAX debe configurarse siempre con los valores de exposición intermedios. Ya que un cambio en el ambiente puede causar un error en la comparación.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Al someter las probetas tratadas térmicamente al software de Automatización, se obtuvieron los resultados en menor tiempo, con mayor exactitud y de una forma muy sencilla. Por lo que podemos decir que el software cumplió con las metas establecidas en un inicio.

La hoja de resumen muestra con exactitud las características y el respectivo tratamiento térmico al que se sometió cada material. Esto gracias a la extensa base de datos lo cual permite un funcionamiento del software cercano al 100 % de precisión.

Luego de automatizar el proceso comprobamos que el tiempo de trabajo se redujo considerablemente, ya que evitamos buscar manualmente información de cada tipo de acero como son: características, utilización, composición química, diagramas TTT, reactivos utilizados, tiempo de exposición al reactivo, parámetros para el tratamiento térmico entre los principales.

Para cada tarea de programación existe una herramienta específica. NI-MAQ de LabVIEW se utilizó para la recolección de patrones fotográficos ya que con ella podemos interactuar el usuario, el software y los instrumentos de campo en nuestro caso la cámara OMAX.

Los aceros se trabajaron metalográficamente en base a Normas. Evitando también que las fotografías de la base de datos tengan fallas. Lo cual implica que los resultados obtenidos en la automatización serán confiables.

6.2 Recomendaciones

Capacitar al estudiante en el manejo de LabVIEW y sus distintas herramientas.

Re-programar el software solamente bajo la supervisión de una persona capacitada en el

tema. Ya que el programa desarrollado en LabVIEW cuenta con una base de datos que se puede incrementar. Por lo que se recomienda no alterar el diagrama de bloques del software.

Acudir a los manuales de uso que se detallan en los ANEXOS del presente documento en caso de tener alguna duda en cuanto al funcionamiento del programa.

Realizar un mantenimiento preventivo de los equipos para evitar el deterioro de los mismos, por lo cual se cuenta con un manual de mantenimiento en la parte de los ANEXOS.

Seguir los pasos detallados en su respectivo manual. (Revisar anexo C) para una correcta instalación de la cámara OMAX-A3530U.

Estar capacitados en el uso de los equipos e instrumentos así como también en el tema de tratamientos térmicos, ya que al no ser así podemos causar daños a la infraestructura y a nuestra integridad física. Por este motivo desarrollamos también un manual de seguridad industrial.

Las probetas deben estar pulidas perfectamente, sin rayaduras y con el ataque metalográfico adecuado. Ya que de ellas depende en su mayoría el buen funcionamiento del software.

Preparar los reactivos químicos mezclando la cantidad exacta descrita (Pág. 69) ya que al no hacerlo así podemos ocasionar un accidente. Cabe indicar también que los reactivos deben almacenarse correctamente para así evitar la volatilidad del compuesto.

El programa solamente trabaja con un aumento de 200X no trabaja con otro tipo de aumento del microscopio.

Los niveles de exposición de la cámara están regulados, evitar alteraciones en el nivel de brillo, contraste, nitidez y exposición de la cámara OMAX.

BIBLIOGRAFÍA

- ADACHI, T. 2001.** *Journal of Materials Science*. Heidelberg : Springer, 2001.
- BARINOV, N. 1998.** Metalurgia y Metalografía. [aut. libro] N. Barinov. *Metalurgia y Metalografía*. 1998, pág. 389.
- BARREIRO, Jose Apraiz. 2009.** *Tratamientos termicos de los aceros (10ªed.)*. s.l. : Escuela Especial de ingenieros Industriales, 2009.
- BISHOP, Robert H. 2009.** *Labview 2009 Student Edition*. s.l. : Prentice hall, 2009.
- COLLIEU, A. M. y Powney, D. J.** *Propiedades mecánicas y térmicas de materiales*. Barcelona : personal.
- DEFINICION.de. 2008.** Definicion.de. *Definicion.de*. [En línea] 20 de Marzo de 2008. [Citado el: 13 de Marzo de 2015.] <http://definicion.de/reactivo/>.
- DUBOX, Eduardo J. 1974.** *Practicas de metalografía*. s.l. : Marymar, 1974.
- ESTURLA, Antonio. 2007.** *Tratamientos termicos y termoquimicos de los aceros y fundiciones*. 2007.
- GINBERG. 1998.** Tratamiento termico de aceros y sus practicas de laboratorio D:M:K. [aut. libro] Ginberg. *Tratamiento termico de aceros y sus practicas de laboratorio D:M:K*. España : Universidad Politecnica de Valencia, 1998, pág. 191.
- GÓMEZ, Carlos. 2004.** *Introduccion a la automatización TESIS*. Quito : Ingenieria Industrial, 2004.
- HOLGUIN, Germán. 2002.** *Curso Básico de LabVIEW*. Pereira : Universidad de Pereira, 2002.
- GARAVITO, J. 1900.** *curso de materiales*. Bogota : Unidos , 1900.
- MARCILLO, Diana. 2014.** Libros en linea. *Bookline*. [En línea] 14 de 07 de 2014. [Citado el: 12 de 07 de 2014.] http://books.google.es/books?id=uOzvdGe1ZTwC&dq=tatuajes&hl=es&source=gbs_book_similarbooks.
- ALMENDARIZ, M. 2010.** *Procesos indusriales*. Riobamba : ESPOCH, 2010.
- ORTIZ, M. 2003.** *Terciopelo violento*. España : Juvenal Acosta Hernández, 2003.
- MOLERA, P. Morral, Gimeno.** *Metalurgia general Tomo 1*.
- PÁEZ, Jose Luis. 2012.** *Tratamientos termicos aleaciones ferrosas*. s.l. : Nueva Librería, 2012.
- PELIGRI, José y Lajara, José Rafael. 2007.** *Entorno grafico de programacion*. s.l. : Marcombo, S.A. , 2007.

PELIGRI, Sebastian. 2010. *Entorno gráfico de programación.* s.l. : Marcombo, S.A., 2010.

Gold, R. 2004. *Prontuario del acero, tratamientos tèrmicos fundiciones.* Buenos Aires : s.n., 2004.

SABOGAL, Jerly. 2012. Importancia de la Automatización. [En línea] Importancia de la Automatización, 15 de Octubre de 2012. [Citado el: 13 de 02 de 2015.] <http://www.redjbm.com/catedra/index.php/tecnologia/68-la-importancia-de-la-automatizacion>.

STURLA. 2012. *Tratamiento termico de los aceros. 2012.—. tratamientos termicos de los acero.* s.l. : nueva libreria 2000.

TOMPKING, J. 2006. *Planeacion de instalaciones.* s.l. : THOMSON, 2006.

WIKIPEDIA. 2015. wikipedia. *wikipedia.* [En línea] 12 de marzo de 2015. [Citado el: 13 de marzo de 2015.] <http://es.wikipedia.org/wiki/Material>.

WIKIPEDIA. 2013. Wikipedia. [En línea] Fragilidad, 2013. [Citado el: 04 de Julio de 2013.] <http://es.wikipedia.org/wiki/Fragilidad>.

