

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
TRABAJO ESTRUCTURADO DE MANERA INDEPENDIENTE

TEMA:

“ESTUDIO DE LOS TIEMPOS DE CONTROL EN LOS PROCESOS QUE SE REALIZAN EN EL HORNO DE MUFLA PERTENECIENTE AL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO PARA FACILITAR EL REALIZAR TRATAMIENTOS TÉRMICOS DEL ACERO POR MEDIO DE LA AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL”

Autor: Carlos Rodrigo Calderón Vásconez

TUTOR: Ing. Santiago Villacís

AMBATO – ECUADOR

2011

APROBACIÓN DEL TUTOR DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

CERTIFICACIÓN:

Yo, Santiago Ricardo Villacís Parra; con cedula de ciudadanía N° 1802476158, en mi calidad de TUTOR del Trabajo de Graduación, sobre el tema: “ESTUDIO DE LOS TIEMPOS DE CONTROL EN LOS PROCESOS QUE SE REALIZAN EN EL HORNO DE MUFLA PERTENECIENTE AL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO PARA FACILITAR EL REALIZAR TRATAMIENTOS TÉRMICOS DEL ACERO POR MEDIO DE LA AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL”, desarrollado por el Sr. Carlos Rodrigo Calderón Vásquez, egresado de la carrera de Ingeniería Mecánica, promoción Septiembre-Febrero 2010; considero que el presente Informe Investigativo; reúne todos los requisitos técnicos, científicos y reglamentarios; por lo que AUTORIZO la presentación del mismo ante el Organismo pertinente, para que sea sometido a evaluación por parte de la Comisión Calificadora designada por el H. Consejo Directivo.

En la ciudad de Ambato, Septiembre del 2011

TUTOR DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

.....
Ing. Santiago Ricardo Villacís Parra

CC N° 1802476158

AUTORÍA DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

Los criterios emitidos en el informe de investigación del Trabajo de Graduación bajo el tema: **“ESTUDIO DE LOS TIEMPOS DE CONTROL EN LOS PROCESOS QUE SE REALIZAN EN EL HORNO DE MUFLA PERTENECIENTE AL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO PARA FACILITAR EL REALIZAR TRATAMIENTOS TÉRMICOS DEL ACERO POR MEDIO DE LA AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL”**, como también los contenidos, ideas, análisis, conclusiones, recomendaciones y propuesta; son de exclusiva responsabilidad de mi persona, como autor del presente Trabajo de Graduación.

EL AUTOR

.....

Egr. Carlos Calderón

CC N° 1804156220

DEDICATORIA

A mis padres, Rodrigo y Susana; mi eterna inspiración y orgullo.

A mis hermanos y hermanas por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

A mis compañeros y amigos por brindarme su apoyo.

A mis maestros por guiarme en las respectivas etapas de mis estudios.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CONTENIDO	PÁGINA
A. PÁGINAS PRELIMINARES	
I. Página de título o portada.....	I
II. Página de aprobación por el Tutor.....	II
III. Página de autoría de la Tesis.....	III
IV. Página de aprobación del Tribunal de Grado.....	IV
V. Página de dedicatoria.....	V
VI. Página de agradecimiento.....	VI
VII. Índice general de contenidos.....	VII
VIII. Índice de cuadros y gráficos.....	X
IX. Resumen ejecutivo.....	XVIII
 B. TEXTO	
INTRODUCCIÓN.....	1
 CAPÍTULO 1. EL PROBLEMA	
1.1. Tema.....	2
1.1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.1.2. Contextualización.....	2
1.1.3. Análisis crítico.....	4
1.1.4. Prognosis.....	4
1.1.5. Formulación del problema.....	5
1.1.6. Interrogantes (subproblemas).....	5
1.1.7. Delimitación del objeto de investigación.....	5
1.2. Justificación.....	6
1.3. Objetivos.....	8
1.3.1. General.....	8
1.3.2. Específicos.....	8

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes investigativos.....	9
2.2. Fundamentación filosófica.....	10
2.3. Fundamentación legal.....	10
2.4. Categorías fundamentales.....	12
2.5. Hipótesis.....	69
2.6. Señalamiento de variables.....	69

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1. Modalidad básica de la investigación	70
3.2. Nivel o tipo de investigación	71
3.3. Población y muestra.....	72
3.4. Operacionalización de variables	73
3.5. Plan de recolección de información.....	77
3.6. Plan de procesamiento de la información	78

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis de los resultados.....	79
4.2. Interpretación de datos.....	79
4.3. Verificación de hipótesis.....	93

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.....	112
5.2. Recomendaciones.....	114

CAPÍTULO 6. PROPUESTA

6.1. Datos informativos.....	116
6.2. Antecedentes de la propuesta.....	118
6.3. Justificación.....	118
6.4. Objetivos.....	119
6.5. Análisis de factibilidad.....	120
6.6. Fundamentación.....	123
6.7. Metodología. Modelo operativo.....	152
6.8. Administración.....	197
6.9. Previsión de la evaluación.....	200

C. MATERIALES DE REFERENCIA

1. Bibliografía.....	205
2. Anexos.....	208

ÍNDICE DE GRÁFICOS

CONTENIDO	PÁGINA	
Grafico N° 1	Red de Categorías Fundamentales	12
Grafico N° 2	Junta de termopar	15
Grafico N° 3	Junta de termopar con blindaje	20
Grafico N° 4	Esquema de termómetro digital	25
Grafico N° 5	PLC modular	27
Grafico N° 6	Ni-FieldPoint	28
Grafico N° 7	Diagrama de los bloques funcionales del PIC 16F628A	32
Grafico N° 8	Microcontroladores PIC	35
Grafico N° 9	Control lazo abierto	36
Grafico N° 10	Control lazo cerrado	37
Grafico N° 11	Señal on-off	38
Grafico N° 12	Diagrama PID	39
Grafico N° 13	Diagrama de bloques de un control PID	39
Grafico N° 14	Esquema de comunicación de datos	40
Grafico N° 15	Esquema de comunicación de datos DTE-DCE	41
Grafico N° 16	Esquema de comunicación de datos RS232 conector DB9	43
Grafico N° 17	Aleaciones Férricas	51
Grafico N° 18	Aleaciones No Férricas	51
Grafico N° 19	Diagrama Hierro – Carbono	52
Grafico N° 20	Fases de transformación	54
Grafico N° 21	Diagrama TT vs % C	55

Grafico N° 22	Ferrita alfa	58
Grafico N° 23	Austenita	58
Grafico N° 24	Transformaciones de equilibrio	59
Grafico N° 25	Fases Fe α + F ₃ C	59
Grafico N° 26	Perlita	60
Grafico N° 27	Composición Aceros Hipoeutectoides	60
Grafico N° 28	Microconstituyentes ferrita proeutectoide + perlita	61
Grafico N° 29	Composición Aceros Hipereutectoides	61
Grafico N° 30	Cementita Proeutectoide	62
Grafico N° 31	Influencia de elementos de aleación	62
Grafico N° 32	Influencia de elementos de aleación en temperatura de enfriamiento	63
Grafico N° 33	Transformación isotérmica eutectoide	64
Grafico N° 34	Horno Eléctrico de Resistencias del Lab. Materiales UTA	68
Grafico N° 35	Primera medición con el Sistema de control analógico	94
Grafico N° 36	Segunda medición con el Sistema de control analógico	96
Grafico N° 37	Tercera medición con el Sistema de control analógico	97
Grafico N° 38	Pirómetro digital Philips KS 40	97
Grafico N° 39	Sensor de Temperatura del Pirómetro Philips KS 40	98
Grafico N° 40	Acero AISI 1045 templado (100X) estudio	99
Grafico N° 41	Porcentaje de constituyentes acero AISI 1045(200X) estudio	100
Grafico N° 42	Medición de dureza Rockwell C acero AISI 1045 Templado estudio	101

Grafico N° 43	Acero AISI 1045 Revenido (100X) estudio	102
Grafico N° 44	Porcentaje de constituyentes acero AISI 1045(200X) revenido estudio	103
Grafico N° 45	Acero AISI 1045 templado (100X) estudio	105
Grafico N° 46	Porcentaje de constituyentes acero AISI 1045(200X) estudio temple	106
Grafico N° 47	Acero AISI 1045 Revenido (100X) estudio	108
Grafico N° 48	Porcentaje de constituyentes acero AISI 1045(400X) revenido estudio	109
Grafico N° 49	Curvas de penetración de dureza para varios tamaños templado en agua del acero AISI 1045	111
Grafico N° 50	Designación de Pines 18F2X5X	127
Grafico N° 51	Diagrama de Bloques Funcionales del PIC 18F2550	129
Grafico N° 52	Estructura del C.I. MAX6675	132
Grafico N° 53	Formato de Envío de Datos del C.I. MAX6675	132
Grafico N° 54	Configuración de Pines DEL C.I. MAX6675	133
Grafico N° 55	Formato de Conexión del C.I. MAX6675	133
Grafico N° 56	Formato de Conexión I ² C	135
Grafico N° 57	Display Matricial de Led Monocolor	137
Grafico N° 58	Configuración de Pines y Operación Típica del Circuito	139
Grafico N° 59	Panel Frontal y Diagrama de Bloques de Labview	141
Grafico N° 60	Lazo Básico de Control	143
Grafico N° 61	Diagrama de Bloques del Sistema de Control	153
Grafico N° 62	Diagrama de flujo de la realización del sistema de control	154
Grafico N° 63	Sistema de Control Eléctrico	155
Grafico N° 64	Diagrama de Transformación de Energía	156

Grafico N° 65	Circuito Integrado MAX6675	157
Grafico N° 66	Esquema de Conexión Termocupla- MAX6675- PIC	158
Grafico N° 67	Diagrama de Conexión MAX232	159
Grafico N° 68	Diagrama de Conexión del parlante	159
Grafico N° 69	Ventilador del Sistema	160
Grafico N° 70	Display Matricial	161
Grafico N° 71	Diagrama del Circuito Electrónico de Control	161
Grafico N° 72	Circuito Electrónico de Control	162
Grafico N° 73	Sistema de Control Electrónico manejado por Computadora	162
Grafico N° 74	Diagrama de Flujo del programa en el microcontrolador	163
Grafico N° 75	Diagrama de Flujo del programa en LabView	166
Grafico N° 76	Mensaje de Error de Lectura	167
Grafico N° 77	Panel Frontal Programa de Control de Temperatura	168
Grafico N° 78	Panel Frontal Sección de Tratamientos Térmicos	169
Grafico N° 79	Estructura de Decisión para Lectura y Escritura del Puerto	170
Grafico N° 80	Bloques de Cálculo tiempo de permanencia y comparaciones	170
Grafico N° 81	VI's para el Cálculo PID	171
Grafico N° 82	Envío de bits para el procesamiento en el microcontrolador	171
Grafico N° 83	Generación de reporte en Word	172
Grafico N° 84	Diagrama de Bloques del Programa de Control	173
Grafico N° 85	Sección inferior del Horno de Mufla	174

Grafico N° 86	Medición de temperatura en el Horno de Mufla	175
Grafico N° 87	Termocupla tipo k en el Horno de Mufla	175
Grafico N° 88	Corte de la Plancha Frontal del Horno	176
Grafico N° 89	Colocación del Instrumento de Control	176
Grafico N° 90	Conexión Eléctrica del Instrumento de Control	177
Grafico N° 91	Sistema de Control Digital del Horno de Mufla	177
Grafico N° 92	Datos de la primera medición con el sistema de control digital	179
Grafico N° 93	Datos de la segunda medición con el sistema de control digital	181
Grafico N° 94	Datos de la tercera medición con el sistema de control digital	182
Grafico N° 95	Probeta de Acero AISI 1045 sin Modificación	183
Grafico N° 96	Acero AISI 1045 (100X)	184
Grafico N° 97	Porcentaje de constituyentes acero AISI 1045(200X)	185
Grafico N° 98	Medición de dureza Rockwell C acero AISI 1045	186
Grafico N° 99	Calentamiento del Acero AISI 1045 para el temple	187
Grafico N° 100	Proceso de temple del Acero AISI 1045	187
Grafico N° 101	Acero AISI 1045 templado (100X)	189
Grafico N° 102	Porcentaje de constituyentes acero AISI 1045 Templado (200X)	190
Grafico N° 103	Medición de dureza Rockwell C acero AISI 1045 Templado	191
Grafico N° 104	Ensayo de dureza Rockwell C acero AISI 1045 Templado Bohler	191
Grafico N° 105	Influencia del contenido de Carbono en la dureza del acero Templado	192
Grafico N° 106	Calentamiento del Acero AISI 1045 para revenido	193

Grafico N° 107	Ataque químico del Acero AISI 1045 revenido	193
Grafico N° 108	Acero AISI 1045 BONIFICADO (100X)	194
Grafico N° 109	Porcentaje de constituyentes acero AISI 1045 Bonificado (200X)	195
Grafico N° 110	Medición de dureza Rockwell C acero AISI 1045 Bonificado	196
Grafico N° 111	Influencia del revenido en la tenacidad y dureza del acero	196
Grafico N° 112	Reporte de Tratamientos Térmicos del Acero en el Horno de Mufla FICM	201

ÍNDICE DE CUADROS

CONTENIDO	PÁGINA	
Cuadro N° 1	Composición, rango de temperaturas, diámetro de alambre	19
Cuadro N° 2	Limitaciones ambientales de termocuplas (sin vainas o tubos protectores)	19
Cuadro N° 3	Tolerancias de calibración para termocuplas estándar (referencia junta fría 0° C)	25
Cuadro N° 4	Operacionalización de Variables (Variable Independiente)	73
Cuadro N° 5	Operacionalización de Variables (Variable Dependiente)	75
Cuadro N° 6	Plan de Recolección de Información	77
Cuadro N° 7	Comparación para la Selección del Dispositivo Electrónico de Control	88
Cuadro N° 8	Propiedades de Termocuplas	89
Cuadro N° 9	Ventajas entre Acondicionadores de Termocupla	89
Cuadro N° 10	Ventajas entre visualizadores	90
Cuadro N° 11	Ventajas entre Normas de Comunicación	91
Cuadro N° 12	Ventajas entre lenguajes de programación	91
Cuadro N° 13	Ventaja de la función PID sobre la ON/OFF	92
Cuadro N° 14	Datos de la primera medición de temperatura con el sistema de control analógico actual a un set point de 100 °C.	94
Cuadro N° 15	Datos de la segunda medición de temperatura con el sistema de control analógico actual a un set point de 100 °C.	95

Cuadro N° 16	Datos de la tercera medición de temperatura con el sistema de control analógico actual a un set point de 100 °C.	96
Cuadro N° 17	Ensayo Metalográfico Acero AISI 1045 templado estudio	99
Cuadro N° 18	Evaluación de la Microestructura del estudio	100
Cuadro N° 19	Estimación de la Dureza ROCKWELL C	100
Cuadro N° 20	Ensayo Metalográfico Acero AISI 1045 revenido estudio	102
Cuadro N° 21	Evaluación de la Microestructura revenida	103
Cuadro N° 22	Estimación de la Dureza ROCKWELL C revenido	103
Cuadro N° 23	Ensayo Metalográfico Acero AISI 1045 temple estudio	105
Cuadro N° 24	Evaluación de la Microestructura revenida	106
Cuadro N° 25	Estimación de la Dureza ROCKWELL C temple	106
Cuadro N° 26	Ensayo Metalográfico Acero AISI 1045 revenido estudio	108
Cuadro N° 27	Evaluación de la Microestructura revenida	109
Cuadro N° 28	Estimación de la Dureza ROCKWELL C revenido	109
Cuadro N° 29	Comparación de Resultados de Durezas	110
Cuadro N° 30	Costos Directos	121
Cuadro N° 31	Costos Indirectos	122
Cuadro N° 32	Recursos Humanos	122
Cuadro N° 33	Costo Total del Proyecto	123
Cuadro N° 34	Nomenclatura de los PIC.	124
Cuadro N° 35	Características PIC 18F2550	126
Cuadro N° 36	Modelo Operativo	152

Cuadro N° 37	Primera Medición de la Temperatura con el Sistema de Control por Computadora a un Set Point de 100°C.	178
Cuadro N° 38	Segunda Medición de la Temperatura con el Sistema de Control por Computadora a un Set Point de 100°C.	180
Cuadro N° 39	Tercera Medición de la Temperatura con el Sistema de Control por Computadora a un Set Point de 100°C.	181
Cuadro N° 40	Ensayo Metalográfico Acero AISI 1045	184
Cuadro N° 41	Evaluación de la Microestructura	185
Cuadro N° 42	Estimación de la Dureza ROCKWELL C	186
Cuadro N° 43	Ensayo Metalográfico Acero AISI 1045 templado	189
Cuadro N° 44	Evaluación de la Microestructura acero templado	190
Cuadro N° 45	Estimación de la Dureza ROCKWELL C acero templado	191
Cuadro N° 46	Ensayo Metalográfico Acero AISI 1045 bonificado	194
Cuadro N° 47	Evaluación de la Microestructura acero bonificado	195
Cuadro N° 48	Estimación de la Dureza ROCKWELL C acero bonificado	196
Cuadro N° 49	ADMINISTRACIÓN	197

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación pretende guiar en el procesamiento de datos tomados en el laboratorio de mecánica específicamente lo referente en cuanto a tiempos de control en los tratamientos térmicos del acero se refiere; conscientes de la necesidad de los estudiantes por actualizar sus conocimientos en base a la evolución tecnológica que se vive en el mundo. Es por eso que con esta investigación se busca aportar nuevas alternativas de solución a problemas que se presentan principalmente en la precisión de un laboratorio destinado a las actividades curriculares y para avalar lo anteriormente propuesto se reconocen seis capítulos los cuales se simplifica a continuación:

El Capítulo 1 trata sobre el planteamiento del problema, a la vez se realiza un análisis general del tema a investigar para luego delimitarlo espacial y temporalmente, centrándonos en el trazado del objetivo general y los específicos. Posteriormente en el Capítulo 2 se expresan investigaciones previas y se realiza una exposición fundamentada en las consultas relevantes y documentales vanguardistas referente a la investigación, dando hincapié a la hipótesis y al señalamiento de las variables.

El Capítulo 3 trata la modalidad de investigación que se adopte y es la que engloba al presente capítulo, donde se delimitará la población y muestra y los respectivos planes de recolección y procesamiento de la información.

En el Capítulo 4 se realiza el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en el capítulo tres, posteriormente se realiza la verificación de la hipótesis basándose en la investigación realizada y en los datos tomados.

En el Capítulo 5 se enuncia las conclusiones y recomendaciones en las cuales se ha llegado luego del proceso investigativo en base a la modalidad de investigación

Finalmente el Capítulo 6 comprende la formulación y socialización de la propuesta, donde se desglosa los datos informativos, antecedentes, justificación y objetivos a alcanzar luego de realizada la investigación para tratar de dar una solución al problema presentando además los detalles de la realización del proyecto.

INTRODUCCIÓN:

La presente investigación se orientó en proporcionar al laboratorio de materiales de Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica un sistema de control capaz de proporcionar precisión y comodidad al momento de utilizar el horno de mufla para realizar tratamientos térmicos del acero.

Para realizar esta investigación se partió de un diagnóstico inicial para determinar el sistema que mejor se adapte a las condiciones de funcionamiento en el laboratorio y que a la vez brinde todas las facilidades para su manejo; siendo escogido finalmente un sistema a base de microcontroladores comandado por computadora principalmente por su gran versatilidad y la disponibilidad total de sus componentes en el mercado local.

Después de revisar la verificación de la hipótesis y los resultados obtenidos durante las pruebas de funcionamiento se llega a la conclusión de que éste instrumento es una ayuda muy grande para la realización de tratamientos térmicos que se hacen en el horno de mufla para las personas que lo manejan y que cumple con los objetivos planteados en la investigación.

Finalmente con los análisis realizados en las pruebas de funcionamiento se demuestra que el sistema propuesto es la mejor alternativa para el control del horno ya que cumple con los parámetros requeridos en la investigación con un correcto manejo de temperaturas, además que su software es de fácil manipulación para cualquier usuario con conocimientos básicos de computación.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1. TEMA:

“ESTUDIO DE LOS TIEMPOS DE CONTROL EN LOS PROCESOS QUE SE REALIZAN EN EL HORNO DE MUFLA PERTENECIENTE AL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO PARA FACILITAR EL REALIZAR TRATAMIENTOS TÉRMICOS DEL ACERO POR MEDIO DE LA AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL”

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1. Contextualización Del Problema

Desde hace mucho tiempo atrás la tecnología ha ido evolucionando a medida que las necesidades del hombre han ido creciendo, hoy en día gracias a la globalización casi todos tenemos acceso a ella.

En Latinoamérica se ha implantado la utilización de estos sistemas de automatización en herramientas industriales siderúrgicas para mejorar la producción que cada día aumenta, en parte por el consumo local y también por la internacionalización de sus mercados y como se ha comprobado, las tendencias de globalización en cuanto a productos y necesidades de los mercados internacionales son cada vez más demandantes, y como estrategia para enfrentar este nuevo escenario, la automatización representa una buena alternativa que es necesaria considerar y ponerla en práctica.

Es por estas razones los países desarrollados, poseen mayor experiencia en cuanto a automatización y manejo de sistemas industriales de laboratorio se refiere, pero hay que distinguir que los problemas que ellos enfrentan en la actualidad son de características distintas a las nuestras principalmente por los volúmenes y tipos de productos que se fabrican. Por lo cual es necesario precisar correctamente ambas perspectivas para poder adecuar lo existente al medio que necesitemos.

En el Ecuador se utilizan sistemas automáticos en la mayoría de plantas industriales principalmente en las grandes siderúrgicas que manejan la mayor parte de la demanda local, ya que facilitan en gran medida los procesos que se buscan realizar con rapidez, pero se utiliza muy poco en las universidades que cuentan con un laboratorio de materiales. En los últimos años se ha incrementado notablemente la utilización y desarrollo de tecnologías que hasta hace poco no era posible estudiarlas por su falta de difusión y escases de componentes para ponerlos en práctica. Tal es el caso del desarrollo en los procesos térmicos de laboratorios ecuatorianos que han tenido más demanda en ciudades como Guayaquil, Quito y Cuenca por los mercados que ahí se establecen como por ejemplo Bolher que se dedica a la comercialización de aceros especiales y servicios de tratamientos térmicos.

Hoy en día en la zona centro y principalmente en Tungurahua muchas instituciones e industrias se han visto la necesidad de utilizar materiales con características especiales para solicitudes específicas, las cuales se podrían facilitar con la utilización de los instrumentos de laboratorio que dispone la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato como el horno de mufla para tratamientos térmicos que gracias a sus herramientas se sitúa como una de las universidades que cuenta con un laboratorio de materiales completo y funcional, lo cual se puede potenciar con una continua actualización y mantenimiento de sus equipos para garantizar que los nuevos estudiantes que los ocupen los aprovechen al máximo.

1.2.2. **Análisis Crítico**

Hace poco tiempo atrás en la carrera de Ingeniería Mecánica existía algo de desconfianza en la utilización de sistemas automatizados principalmente en el control de procesos destinados a los tratamientos térmicos, ya que primordialmente eran controlados por procedimientos manuales y su continua vigilancia se procede mediante visualizadores analógicos que dan un moderado margen de error ante el ojo humano.

Esto debe cambiar radicalmente con el desarrollo tecnológico que ha venido surgiendo en los últimos años y prácticamente se ha vuelto indispensable la automatización y control por medio de dispositivos digitales para que ayuden al manejo de herramientas de procesos térmicos reduciendo errores de calibración.

Al realizar un control manual en el horno de mufla para tratamientos térmicos generalmente se presentan pequeñas fallas en los tiempos de permanencia del acero, por tal razón se ha visto necesario automatizar estos procesos para eliminar la inexactitudes que llegaran a influir en la realización de tratamientos térmicos.

En definitiva la automatización del horno en el laboratorio traería mayor precisión en los tiempos de control en procesos térmicos y haría más fácil su utilización, contribuyendo con nueva tecnología al laboratorio.

1.2.3. **Prognosis**

Al no realizar un estudio de los tiempos de control en los procesos que se realizan en el horno de mufla, no se podría determinar el sistema de control para su automatización y así a facilitar el realizar tratamientos térmicos del acero.

Y pensando también que al no impulsar la actualización de conocimientos del sector universitario, la carrera pudiera sufrir el riesgo de quedarse rezagado del desarrollo tecnológico que se necesita para poder competir con los demás establecimientos de educación superior.

1.2.4. **Formulación Del Problema**

¿Existe un sistema adecuado en el control de tiempos en los procesos que se realizan en el horno de mufla perteneciente al laboratorio de materiales de la carrera de Ingeniería Mecánica en la Universidad Técnica de Ambato que facilite mayor precisión al realizar tratamientos térmicos del acero?

1.2.5. **Interrogantes**

- ¿Actualmente se cuenta con un sistema para el control de tiempos que cubra las necesidades que presenta el horno de mufla del laboratorio de materiales de la carrera de Ingeniería Mecánica?
- ¿Cómo se puede conseguir una mejor estabilidad térmica en el horno de mufla para poder obtener mayor precisión al realizar tratamientos térmicos en el acero y generar más confianza en los datos obtenidos?
- ¿Existe alguna alternativa de solución para el control de tiempos en los procesos térmicos del horno de mufla y mejorar la precisión y la estabilidad térmica en éste?

1.2.6. **Delimitación del Objeto de investigación**

1.2.6.1. **De Contenido**

En esta investigación se deberá desplegar los conocimientos adquiridos en las materias de Sistemas de Energía, Sistemas de Medición y Control Industrial I y II, Instalaciones Electromecánicas, Electrónica, Soldadura, Ingeniería de Materiales, Procesos de Manufactura, Proyectos Industriales.

1.2.6.2. **Espacial**

Este proyecto se realizará en Ecuador, provincia del Tungurahua, específicamente en el laboratorio de materiales de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato

1.2.6.3. Temporal

La presente investigación tiene una proyección de análisis y construcción desde marzo de 2010 hasta julio de 2011.

1.3. JUSTIFICACIÓN.

La investigación a realizarse tiene la finalidad de brindar al sector universitario, principalmente a los estudiantes la oportunidad de mejorar sus conocimientos en el área de automatización industrial y procesos térmicos para con ello lograr el desarrollo de este campo tan necesario en la industria moderna.

Con la automatización de los sistemas de control en el horno de mufla se beneficiaría principalmente el sector estudiantil y al sector docente ya que se podrá manejar con mayor facilidad y exactitud el horno, lo que permitiría tener más confianza en el proceso térmico realizado para generar los informes necesarios con estos datos que se han tomado.

Con la implementación de un sistema adecuado en el horno se busca reducir drásticamente los errores que se producen por una equivocada selección de los tiempos en los procesos que se quiera realizar a causa de la imprecisión del sistema de control actualmente instalado.

El contar con un horno de tratamientos térmicos en las instalaciones de la universidad ha ayudado en gran parte al investigador a percatarse de los problemas que se presentan en torno a éste, como por ejemplo, su visualización analógica de la temperatura, y al darse cuenta del impacto académico que éste aporta ha pensado en utilizar un nuevo sistema de control para poder reducir la desactualización tecnológica que han venido sufriendo los laboratorios universitarios al no poder renovar sus equipos acorde a las nuevas tecnologías que cada día van en constante evolución.

Es así que pensando en varios aspectos novedosos y sin dejar de lado la importancia científica el investigador se ha interesado en analizar un sistema de control capaz de mejorar la precisión en los tiempos de control y su visualización en el horno de mufla perteneciente al laboratorio de materiales

Además de la gran fiabilidad que presentan los sistemas de automatización modernos también podemos citar una gran ventaja de factibilidad ya que con la globalización de conocimientos estos sistemas han ido abaratando su costo sustancialmente y ahora es muy fácil adquirirlos en el mercado nacional o internacional o incluso fabricarlos si su diseño no se encuentra comercialmente disponible.

La originalidad de este proyecto permitirá aportar nuevos criterios e interpretaciones en los conocimientos adquiridos en las aulas al momento de ponerlos en práctica y mejorará las técnicas y metodologías de enseñanza a nivel educativo en la carrera, permitiendo a futuro implementar nuevos y mejores proyectos de investigación tecnológica.

1.4. OBJETIVOS.

1.4.1. Objetivo General

Estudiar las ventajas que prestaría el control de tiempos en los procesos que se realizan en el horno de mufla del laboratorio de materiales de la carrera de Ingeniería Mecánica en la Universidad Técnica de Ambato para realizar tratamientos térmicos del acero mediante la automatización del sistema de control.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar un sistema de control de tiempos que cubra las necesidades de manejo que presenta el horno de mufla del laboratorio de materiales de la carrera de Ingeniería Mecánica, para realizar los ensayos de tratamientos térmicos del acero.
- Analizar el sistema de control adecuado que facilite mayor precisión al realizar tratamientos térmicos del acero y manejar mejor los tiempos en los procesos que se realizan en el horno de mufla del laboratorio de materiales de la carrera de Ingeniería Mecánica.
- Proponer una alternativa de solución para el control de tiempos en los procesos térmicos que se realizan en el horno de mufla del laboratorio de materiales de la carrera de Ingeniería Mecánica en la Universidad Técnica de Ambato para tener una mejor estabilidad de la temperatura y en consecuencia mejore su precisión.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Para el presente trabajo investigativo se basará en documentos relacionados con el tema que son de importancia para comprender el funcionamiento de este sistema.

En la biblioteca de la facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato no existen investigaciones previas que involucren el tema que actualmente está en estudio; por lo contrario se encontró algunos proyectos relacionados con la automatización de diferentes herramientas de laboratorio.

En cuanto a las Instituciones Superiores que tienen más años de desarrollo en las carreras de ingeniería, se encontró dos tesis que en algo se relacionan a los tratamientos térmicos o automatización de un horno.

La primera, en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, realizada por Hidalgo Bolívar, bajo el tema “Estudio de Factibilidad para la Rehabilitación de un Horno de Tratamientos Térmicos” en el año 2010, donde manifiesta que se ha realizado un Estudio de Factibilidad para la Rehabilitación de un Horno de Tratamientos Térmicos para la central Hidroagoyán S. A, con la finalidad de rediseñar el sistema de calentamiento de dicho horno para de este modo realizar el tratamiento térmico de revenido a los álabes móviles de las turbinas Francis además de efectuar un precalentamiento de los mismos antes de someterlos a reparación por soldadura.

Por otra parte, en la Escuela Superior Politécnica Nacional, facultad de Ingeniería Electrónica y Control se encontró la tesis titulada: “Implementación de un sistema de control mediante PLC para un horno de una fábrica de acero”, de los autores Proaño Ana y Jirón Miguel, publicada en octubre de 2007; donde argumentan que se realizó el diseño e implementación de un sistema de control mediante PLC, para controlar y regular la combustión en el horno de calentamiento de palanquilla y configurar un Interface Hombre - Máquina (HMI), a fin de poder visualizar en tiempo real el proceso de combustión y las principales variables involucradas en el mismo.

2.2. FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

Para el estudio que se desea realizar se pretende mejorar la estimación en la selección de datos para controlar los procesos metalúrgicos que se realizan en el horno de mufla del laboratorio de materiales de la carrera de Ingeniería Mecánica en la Universidad Técnica de Ambato.

Al mismo tiempo se busca propositivamente facilitar el control en la selección de temperaturas por parte de los estudiantes y maestros al utilizar un sistema electrónico de control para poder monitorearlo y dirigirlo a través de un proceso remoto.

2.3. FUNDAMENTACIÓN LEGAL

Se basa en el fundamento constitucional de la Ley de Educación Superior de la República de Ecuador donde indica la necesidad de investigación científica de los establecimientos de nivel superior.

Sección Novena

De la Ciencia y Tecnología

Art. 80.- El Estado fomentará la ciencia y la tecnología, especialmente en todos los niveles educativos, dirigidos a mejorar la productividad, la competitividad, el manejo sustentable de los recursos naturales y a satisfacer las necesidades básicas de la población.

Garantizará la libertad de las actividades científicas y tecnológicas y la protección legal de sus resultados, así como el conocimiento ancestral colectivo.

La investigación científica y tecnológica se llevará a cabo en las universidades, escuelas politécnicas, institutos superiores técnicos y tecnológicos y centros de investigación científica, en coordinación con los sectores productivos cuando sea pertinente, y con el organismo público que establezca la ley, la que regulará también el estatuto del investigador científico.

Adicionalmente se tomarán en consideración normas y especificaciones internacionales dedicadas a los tratamientos térmicos como es la norma ASTM designación A255-48T específicamente dedicada a ensayos de templabilidad del acero.

Además que necesariamente se utilizaran para la investigación la norma ASTM E-3 Preparing of Metallographic Specimens, la norma ASTM E-407 Method For Microetching Metals and Alloys y la norma ASTM E-112 Test Methods For Determining Average Grain Size. Para la realización de las respectivas pruebas de la microestructura en el laboratorio.

Para la comunicación entre el sistema de control y la computadora se utilizó también la norma Recommended Standard 232, también conocido como Electronic Industries Alliance RS-232C.

También se hace referencia a la norma de enumeración de termocuplas estándar según IEC-584 parte 1.

2.4. CATEGORÍAS FUNDAMENTALES

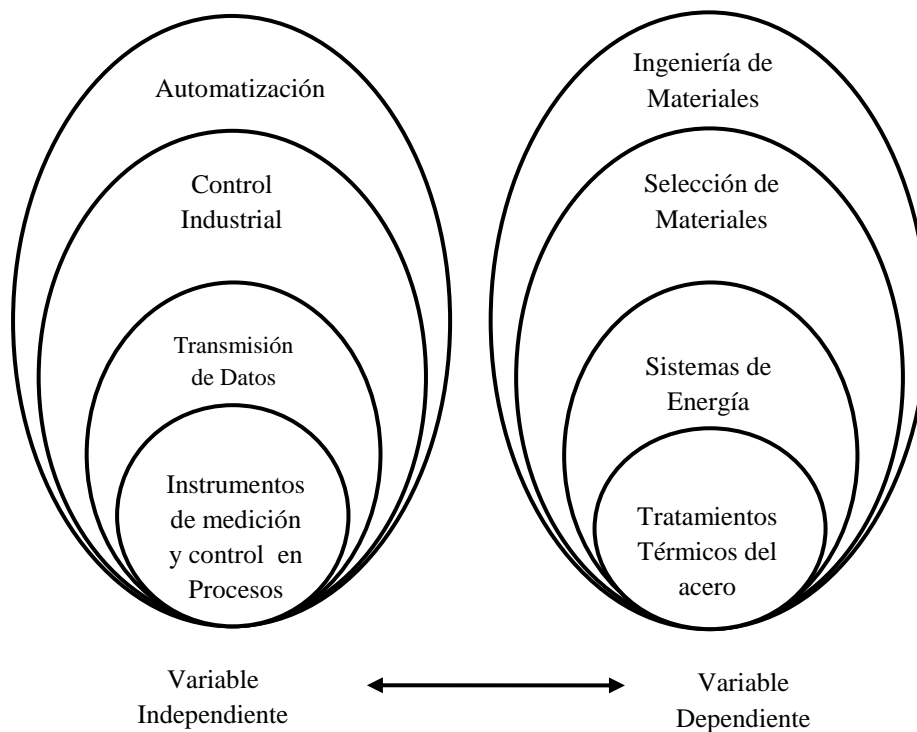


Gráfico N° 1; Red de Categorías Fundamentales

Elaborado por: Carlos Calderón

INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN Y CONTROL EN PROCESOS:

La temperatura es una variable importante en la mayoría de los procesos industriales. Su medición y control son vitales para asegurar uniformidad en la calidad de los productos terminados y para mantener dentro de los límites seguros, operaciones que entrañen riesgos de fuego y/o explosión. Dado que la temperatura es en sí, un índice del estado de energía cinética de un material, no puede medirse directamente como se mediría por ejemplo el nivel de un líquido. La medición debe entonces, basarse en los efectos del calor aplicable a los sólidos, líquidos o gases. El resultado de incremento o disminución de este calor provoca cambios en alguna de estas características:

- Dimensiones
- Cambio de presión a volumen constante
- Cambio de la fuerza electromotriz (F.E.M.) desarrollada.
- Cambio de la resistencia eléctrica.
- Cambio de la radiación superficial.
- Cambio de color.

Termometría

Es la medición de temperatura. Esta se fundamenta en la medida cuantitativa de calor, lo que resulta preferible que fundarlo sobre el cambio de propiedades de las sustancias. Esto es, si se determinan dos temperaturas como puntos fijos, digamos el punto de ebullición y el de congelación del agua pura bajo condiciones normales; la unidad de calor sería la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de una cantidad unitaria de agua desde uno de dichos puntos al otro.

La medida fundamental de temperatura, depende de un acuerdo internacional con respecto a un termómetro de gas con volumen constante y dos temperaturas fijas: los puntos de congelación y ebullición del agua. El manejo de este termómetro resulta impráctico en la mayoría de procesos por lo que se han ideado otros medidores cuyas calibraciones se basan sobre valores fijos de temperatura.

MEDICIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE TEMPERATURA

Termómetro de resistencia: consiste en un alambre de algún metal (como el platino) cuya resistencia eléctrica cambia cuando varía la temperatura.

Termopar: un termopar es un dispositivo utilizado para medir temperaturas basadas en la fuerza electromotriz que se genera al calentar la soldadura de dos metales distintos.

Termistor: Se detecta la temperatura con base a un termistor que varía el valor de su resistencia eléctrica en función de la temperatura. Un ejemplo son los termómetros que hacen uso de integrados como el LM35 (el cual contiene un termistor). Las pequeñas variaciones de tensión entregadas por el integrado son acopladas para su posterior procesamiento por algún conversor analógico-digital para convertir el valor de la tensión a un número binario. Posteriormente se despliega la temperatura en un visualizador. Los termómetros digitales son aquellos que usan alguno de los efectos físicos y luego se utiliza un circuito electrónico para medir la temperatura y luego mostrarla en un visualizador.

Un circuito electrónico toma la temperatura y la información se envía a un microchip que la procesa y la muestra en una pantalla digital numéricamente. Suelen ser muy comunes para aplicaciones muy diversas en el hogar, medicina, industria, al ser económicos, rápidos, precisos y fáciles de usar.

El comparador de tensión no es realmente un componente enteramente digital pero tampoco podemos considerarlo enteramente analógico. Realmente se lo encuentra casi siempre en la interfaz entre un circuito analógico y un digital. Por ejemplo los microprocesadores PIC tienen modelos donde todas las patas de entrada son comparadores programables que pueden leer diferentes ventanas de tensión de entrada.

En cada pata de entrada se incluye un comparador del que podríamos decir que su entrada es analógica y su salida es digital, si le ponemos el circuito correcto en cada una de sus 5 patas. Se puede considerar que un comparador es como una celda de un convertidor analógico digital.

Termocuplas:

Una termocupla es un transductor de temperatura, es decir, un dispositivo que traduce una magnitud física en una señal eléctrica. Está compuesta por dos alambres de metales diferentes, los que unidos convenientemente generan entre sus extremos libres una diferencia de potencial proporcional a la diferencia de temperatura entre ellos. Su funcionamiento, se basa en un descubrimiento hecho por *Seebeck*: “si se sueldan dos metales diferentes, cuyos extremos están a distintas temperaturas, aparece una f.e.m.” (llamada f.e.m Seebeck).

Posteriormente, se mostró que esta f.e.m proviene en realidad de dos efectos diferentes:

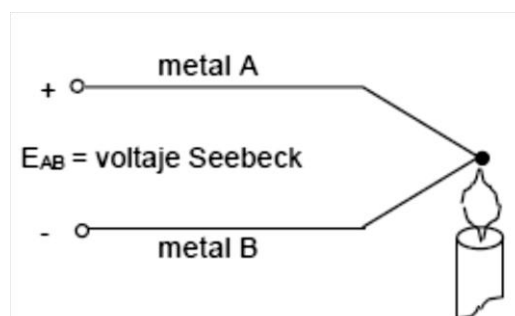
Uno resultante sólo del contacto entre dos metales disímiles y la temperatura de dicha unión. Este es el llamado “Efecto Peltier” y es debido a la difusión de electrones desde el conductor con mayor densidad electrónica al de menor densidad.

Otro, debido a los gradientes de temperatura a lo largo de los conductores en el circuito. Este es el llamado “Efecto Thompson” y es debido al flujo de calor entre los extremos de los conductores, que es transportado por los electrones, induciendo entonces una f.e.m. entre los extremos de los mismos.

En la mayoría de los casos, la f.e.m. Thompson es bastante pequeña en comparación con la f.e.m.

Las termocuplas son el sensor de temperatura más común utilizado industrialmente.

Normalmente las termocuplas industriales se consiguen encapsuladas dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material (vaina), en un extremo está la unión y en el otro el terminal eléctrico de los cables, protegido adentro de una caja redonda de aluminio (cabezal).



Graf. 2. Junta de termopar
Fuente: www.wikipedia.org/termopar/seebeck

Modalidades de termopares.- Los termopares están disponibles en diferentes modalidades, en forma de sondas. A la hora de seleccionar una sonda de este tipo debe tenerse en consideración el tipo de conector. Los dos tipos son el modelo estándar, con pines redondos y el modelo miniatura, con pines chatos, siendo estos últimos (contradictoriamente al nombre de los primeros) los más populares. Otro punto importante en la selección es el tipo de termopar, el aislamiento y la construcción de la sonda. Todos estos factores tienen un efecto en el rango de temperatura a medir, precisión y fiabilidad en las lecturas.

Condiciones de operación de termocuplas

No se puede evitar el deterioro de los termopares a temperaturas altas. Mientras mayores sean éstas y más desfavorables las condiciones de operación será más rápido el daño. Una atmósfera altamente oxidante y reductora, reduce la vida de la termocupla.

Esta condición se encuentra con alguna frecuencia y se puede notar su existencia por el aspecto del alambre de la termocupla. Se forma una gran cantidad de costra (oxidación) que fácilmente se desmorona.

Tipos de Termocuplas:

Hay siete tipos de termocuplas que tienen designaciones con letras elaboradas por el Instrument Society of America (ISA). El U.S. National Bureau of Standardg (NBS), por su parte, ha preparado tablas de correlación temperatura fem para estas termocuplas, las que han sido publicadas por el American National Standards Institute (ANSI) y el American Society for Testing and Materials (ASTM).

Tipo K.- (Cromo (Ni-Cr) Chromel / Aluminio (aleación de Ni -Al) Alumel): con una amplia variedad de aplicaciones, está disponible a un bajo costo y en una variedad de sondas. Tienen un rango de temperatura de -200 °C a +1.372 °C y una sensibilidad 41µV/°C aprox. Posee buena resistencia a la oxidación. La termocupla K se usa típicamente en fundición y hornos a temperaturas menores de 1300 °C, por ejemplo fundición de cobre y hornos de tratamientos térmicos.

La Tipo K es la termocupla que más se utiliza en la industria, debido a su capacidad de resistir mayores temperaturas que la termocupla Tipo J.

Las termocuplas Tipo K pueden utilizarse en forma continua en atmósferas oxidantes e inertes hasta 1.260° C y constituyen el tipo más satisfactorio de termocupla para uso en atmósferas reductoras o sulfurosas o en vacío.

Tipo E.- (Cromo / Constantán (aleación de Cu-Ni)): No son magnéticos y gracias a su sensibilidad, son ideales para el uso en bajas temperaturas, en el ámbito criogénico. Tienen una sensibilidad de 68 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$.

Estas termocuplas se desempeñan satisfactoriamente en atmósferas oxidantes e inertes, y resultan particularmente adecuadas para uso en atmósferas húmedas a temperaturas subcero a raíz de su elevada fem de salida y su buena resistencia a la corrosión. La termocupla Tipo E es mejor que la Tipo T, para este propósito a causa de su mayor salida y puesto que la conductividad térmica del alambre de Chromel es menor que la del alambre de cobre de la termocupla Tipo T.

Tipo J.- (Hierro / Constantán): debido a su limitado rango, el tipo J es menos popular que el K. Son ideales para usar en viejos equipos que no aceptan el uso de termopares más modernos. El tipo J no puede usarse a temperaturas superiores a 760 °C ya que una abrupta transformación magnética causa una descalibración permanente. Tienen un rango de -40°C a +750°C y una sensibilidad de ~52 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$. Es afectado por la corrosión. Las termocuplas tipo J se usan principalmente en la industria del plástico, goma (extrusión e inyección) y fundición de metales a bajas temperaturas (Zamac, Aluminio). Las siguientes limitaciones se aplican al uso de las termocuplas Tipo J:

- No se deben usar en atmósferas sulfurosas por encima de 540° C.
- A causa de la oxidación y fragilidad potencial , no se las recomienda para temperaturas inferiores a 0° C .
- No deben someterse a ciclos por encima de 760° C , aún durante cortos períodos de tiempo, si en algún momento posterior llegaran a necesitarse lecturas exactas por debajo de esa temperatura.

Tipo N.- (Nicrosil (Ni-Cr-Si / Nisil (Ni-Si)): No es una termocupla estándar pero es adecuado para mediciones de alta temperatura gracias a su elevada estabilidad y resistencia a la oxidación de altas temperaturas, y no necesita del platino utilizado en los tipos B, R y S que son más caros.

Por otro lado, los termopares tipo B, R y S son los más estables, pero debido a su baja sensibilidad ($10 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ aprox.) generalmente son usados para medir altas temperaturas (superiores a 300°C). Las termocuplas R, S, B se usan casi exclusivamente en la industria siderúrgica (fundición de acero).

Tipo B.- (Platino (Pt)-Rodio (Rh)): son adecuados para la medición de altas temperaturas superiores a 1.800°C . El tipo B por lo general presentan el mismo resultado a 0°C y 42°C debido a su curva de temperatura/voltaje.

Tipo R.- (Platino (Pt)-Rodio (Rh)): adecuados para la medición de temperaturas de hasta 1.300°C . Su baja sensibilidad ($10 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$) y su elevado precio quitan su atractivo. Nunca se las deben usar en atmósferas reductoras, ni tampoco en aquellas que contienen vapores metálicos o no metálicos u óxidos fácilmente reducidos, a menos que se las protejan adecuadamente con tubos protectores no metálicos y nunca deben ser insertadas directamente dentro de una vaina metálica.

Tipo S (Platino / Rodio): ideales para mediciones de altas temperaturas hasta los 1.300°C , pero su baja sensibilidad ($10 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$) y su elevado precio lo convierten en un instrumento no adecuado para el uso general. Debido a su elevada estabilidad es el estándar internacional (Escala Práctica Internacional de Temperaturas de 1968, IPTS-68) para la determinación de temperaturas entre el punto de solidificación del antimonio $630,74^\circ\text{C}$ ($1.167,33^\circ\text{F}$) y el punto de solidificación del oro $1.064,43^\circ\text{C}$ (1.917°F). Las termocuplas Tipo S, igual que las Tipo R, pueden ser utilizadas en forma continua en atmósferas oxidantes o inertes hasta 1.480°C .

Finalmente las tipos T eran usadas hace algún tiempo en la industria de alimentos, pero han sido desplazadas en esta aplicación por los Pt100. Los termopares con una baja sensibilidad, como en el caso de los tipos B, R y S, tienen además una resolución menor.

En la tabla siguiente se muestra los distintos tipos de termopares con su rango típico, su sensibilidad y la designación estándar.

A continuación se enumeran las siete termocuplas estándar según IEC 584 Parte 1 actualmente en vigencia en el cuadro 1. Se indican también la composición de termocuplas y los diámetros de alambre apropiado.

Cuadro 1. Composición, rango de temperaturas, diámetros de alambre apropiado y fuerzas electromotrices (fem) correspondientes a distintas termocuplas.

Tipo	Denominación	Composición y símbolo	Rango de temperaturas (1) (en °C)	Diámetro del alambre apropiado (2)	F.e.m.en mV (3)
B	Platino-rodio 30% vs. platino-rodio 6%	PtRh 30% - PtRh 6%	0 ... 1.500 (1.800)	0,35 y 0,5 mm	0...10,094 (13,585)
R	Platino-rodio 13% vs. platino	PtRh 13% - Pt	0...1.400 (1.700)	0,35 y 0,5 mm	0.16,035 (20,215)
S	Platino-rodio 10% vs. platino	PtRh 10% - Pt	0...1300(1.600)	0,35 y 0,5 mm	0...13,155 (15,576)
J	Hierro vs. constatán	Fe - CuNi	-200 ... 700 (900)	3 mm 1mm	-7.89 ... 39,130 (51,875)
K	Niquel-cromo vs. níquel (Chromel vs. Alumel)	NiCr - Ni	-200 ... 600 (800)	3 ó 2 mm	-7.89 ... 33,096 (45,498)
			0 ... 900 (1.200)		1,38 mm
T	Cobre vs. constatán	Cu - CuNi	-200 ... 700 (900)	0,5 mm	-5,60 ... 14,86 (20,86)
E	Niquel-cromo vs. constatán (Chromel vs. constatán)	NiCr - CuNi	-200 ... 600 (800)	3 mm	-9,83 ... 53,11 (68,78)
					-8,83 ... 45,08 (61,02)

Fuente: normalización IEC 548

En el cuadro 2 se comparan las capacidades de las termocuplas para enfrentarse a distintas condiciones ambientales.

Cuadro 2. Limitaciones ambientales de termocuplas (sin vainas o tubos protectores).

Tipo	Atmósfera oxidante	Atmósfera reductora	Atmósfera inerte	Vacío	Atmósfera sulfurosa	Temperaturas subcero	Vapores metálicos
B	SI	NO	SI	Si durante corto tiempo	NO	NO	NO
R	SI	NO	SI	NO	NO	NO	NO
S	SI	NO	SI	NO	NO	NO	NO
J	SI	SI	SI	SI	NO > 500°C	NO	SI
K	SI (1)	NO	SI	NO	NO	SI	SI
T	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI
E	SI	NO	SI	NO	NO	SI (2)	SI

(1) Mejor que las termocuplas E, J o T por encima de 550°C

(2) La mas satisfactoria para temperaturas subcero.

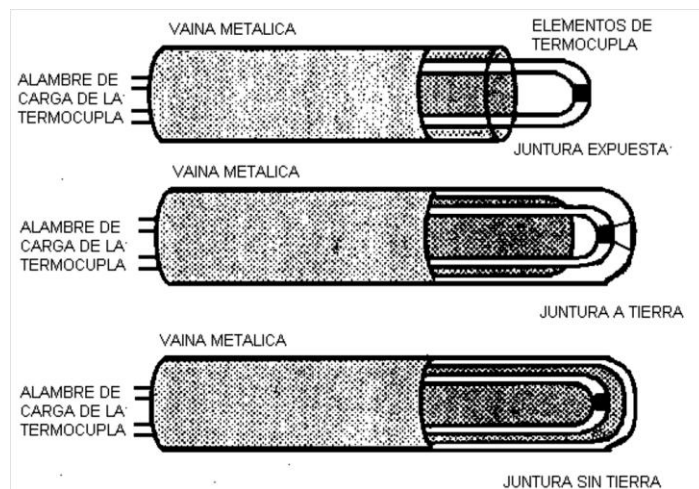
Fuente: normalización IEC 548

Construcción con blindaje metálico

Las termocuplas con blindaje metálico, normalmente llamadas compactadas, suelen compactarse con óxido de magnesio, aun cuando puedan utilizarse otros materiales como ser óxido de aluminio y óxido de berilio. Las termocuplas compactadas se construyen insertando la aislación en forma de polvo, o como cordones especiales sobre los alambres dentro del tubo metálico.

Posteriormente se procede a reducir el diámetro del tubo trefilándolo, aplastando así los aisladores o comprimiendo el polvo hasta formar una masa más densa. La unidad, finalmente, es tratada térmicamente para aliviar las tensiones provocadas por la reducción del diámetro y para eliminar cualquier humedad residual.

Junturas de medición.- los metales que componen las termocuplas se aíslan entre sí y el conjunto puede estar protegido del medio donde debe realizarse la medición, mediante una vaina resistente al ambiente que la rodea. Además la junta puede disponerse de tres maneras: expuesta, protegida a tierra (en contacto con la vaina) o protegida sin tierra, como se muestra en la figura.



Graf. 3. Junta de termopar con blindaje
Fuente: www.instrumentacionbustos.blogspot.com

Soldando los alambres al extremo del blindaje se logra hacer masa con el blindaje, se los protege de daños mecánicos y condiciones ambientales adversas, y se asegura una construcción hermética a la presión. La velocidad de respuesta de este tipo de construcción se encuentra entre la velocidad de la junta expuesta (la más rápida) y la aislada (la más lenta). La junta aislada es similar a la junta puesta a masa, salvo hallarse aislada del blindaje y tener una respuesta más lenta.

Su construcción elimina la tensión entre los alambres y el material del blindaje provocada por las diferencias en los coeficientes de dilatación.

La junta expuesta posee la respuesta más rápida de las tres configuraciones, pero no es hermética a la presión o a la humedad y los alambres se hallan expuestos al ambiente. Esto podría llevar a la corrosión y/o cortocircuito eléctrico debido a la conductividad del medio del proceso.

La termocupla blindada es mecánicamente más fuerte que la termocupla común con alambre aislado, y se la puede doblar o conformar con radios de curvatura muy reducidos inclusive dos veces el diámetro del blindaje. Esta termocupla puede ser cargada a resorte dentro de un tubo o vaina de protección (cuando se requiere protección adicional) para el contacto con el fondo de la vaina o el tubo a fin de obtener una respuesta rápida.

Se dispone de termocuplas blindadas con diámetros externos desde 1 hasta 9.5 mm. Los blindajes pueden hacerse de una gran variedad de materiales, siendo los más comunes los de aleaciones de níquel-cromo y aceros inoxidable.

Alambres de extensión:

Las termocuplas se conectan a los instrumentos de indicación o control localizados lejos del punto de medición por medio de alambres de extensión, preferiblemente del mismo material que el de los alambres de la termocupla.

El extremo soldado representa la junta caliente y la Junta fría los terminales exteriores del termopar.

La temperatura indicada por el instrumento corresponde a la diferencia de temperatura de dichas juntas. Si la temperatura de la junta fría se eleva, el instrumento indicará una disminución de temperatura aún cuando la temperatura en el proceso permanezca constante. Es evidente entonces, que se debe mantener la temperatura de la junta fría constante.

El coeficiente de resistencia eléctrica debe ser pequeño para los metales que se usen como termopares. La sección transversal de los alambres del termopar es importante. Un alambre grueso resiste mejor a la acción química, que uno delgado. Además tiene menos resistencia eléctrica. La ventaja del alambre delgado es que es más sensible a los cambios de temperatura.

La solución de este problema es usar los cables compensados para hacer la extensión del cable. Estos exhiben el mismo coeficiente de Seebeck de la termocupla (pero hechos de otro material de menor precio) y por lo tanto no generan termocuplas parásitas en el empalme. Los cables compensados tienen una polaridad de conexión (+) y (-) que al conectarse con la termocupla se debe respetar.

Un error típico, es conectar al revés el cable en la termocupla y en el instrumento, de esta forma se genera un error en la lectura del orden de la temperatura de ambiente en el empalme.

Es importante que estos dos cables compensados sean para el tipo de termocupla que se está usando y además estén conectados con la polaridad correcta (+) con (+) y (-) con (-). De otra forma será posible obtener una medición con error.

ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL

El primer instrumento en la línea, después del sensor, es a menudo un instrumento que condiciona la señal. Más a menudo es un dispositivo llamado transmisor de temperatura. Los transmisores de temperatura se emplean para convertir la señal producida por el sensor en una señal eléctrica reconocible por el instrumento final. Los transmisores para termocupla y termorresistencias tienen ventajas sobre la transmisión directa de la señal del sensor al instrumento receptor, ya sea con cable de extensión de termocupla, en el caso de las termocuplas o cable común de cobre en el caso de las termorresistencias.

Ante todo se debe recordar que con las termocuplas se está tratando con señales del orden de los milivoltios. Cuando estos milivoltios son transmitidos por medio de alambres de extensión de termocupla por distancias largas, son muy susceptibles a la interferencia por ruido eléctrico generado por la maquinaria cercana. Este ruido puede hacer a la señal de la termocupla inútil. Los circuitos de termocupla son también propensos a problemas con lazos de tierra, los que ocasionan lecturas erróneas.

Los transmisores de termocupla convierten los pocos milivoltios de salida de una termocupla en una señal de corriente (típicamente 4-20mA CC) que es inmune al ruido y a las caídas de tensión sobre distancias muy largas.

Los transmisores de termocupla aislados eliminan el problema de los lazos de tierra aislando la entrada del transmisor de la salida del mismo.

Circuito de acondicionamiento y procesamiento de la señal

Es un circuito, eléctrico o electrónico, que le da formato a la señal entregada por el transductor. Su principal función es linearizar la salida y estandarizarla dentro de los límites de la aplicación.

El circuito acondicionador puede estar colocado dentro de la empaquetadura del transductor, o totalmente separado. Si el transductor consiste en varios módulos, las interconexiones provistas por el usuario son parte del sistema de medida y el correcto cableado, aislado y puesta a tierra, son esenciales para conseguir la condiciones de trabajo especificada

Se hace entonces necesario imponerle a la señal eléctrica, antes de insertarla en el circuito de medida, una serie de condiciones que hagan favorable su manejo dentro de un circuito eléctrico. El circuito acondicionador de la señal puede ser eléctrico o electrónico, y provee una variedad de funciones, como por ejemplo:

- Generación de la excitación o voltaje y frecuencia, de referencia.
- Generación de la señal de salida, típicamente por un circuito puente o un circuito potenciométrico.
- Acondicionamiento de la señal, esto es, amplificación de las salidas de bajo nivel y adaptación de los niveles de salida de tensión a un rango standard.
- Supresión de ruido, filtrado y aislación respecto a tierra.
- Conversión de señales, como AC/DC o A/D (si incluye el conversor A/D).
- Procesamiento de señales, como linealización de salidas intrínsecamente no lineales.

Linealización.- La dependencia entre el voltaje entregado por la termocupla y la temperatura no es lineal, es deber del instrumento electrónico destinado a mostrar la lectura, efectuar la linealización, es decir tomar el voltaje y conociendo el tipo de termocupla, tomar de las tablas guardadas en su interior el dato de a que temperatura corresponde dicho voltaje.

Cada tipo de transductor tiene una relación ideal medida-salida, descrita por una ecuación teórica o por una representación numérica o gráfica.

Esta característica ideal de transferencia puede ser en muchos casos lineal, en cuyo caso la pendiente de la recta es la relación de transferencia o función transferencia de ese transductor. Si bien resulta prácticamente imposible construir transductores cuya relación medida-salida sea perfectamente lineal, en la práctica se manejan transductores cuya alinealidad es menor al 0,25%, pudiéndose considerar en ese caso la respuesta del transductor como lineal.

En el caso de una característica no lineal, la razón de transferencia es usada algunas veces para describir el transductor en un pequeño rango de entradas. Es decir, se limita a usar el transductor solo en aquella zona de su rango de funcionamiento donde la respuesta sea lineal.

Compensación de cero: El principal inconveniente de las termocuplas es su necesidad de compensación de cero. Esto se debe a que algún punto, habrá que empalmar los cables de la termocupla con un conductor normal de cobre. En este punto se producirá dos nuevas termocuplas con el cobre como metal para ambas, generando cada una un voltaje proporcional a la temperatura de ambiente (T_a) en el punto del empalme. Antiguamente se solucionaba este problema colocando los empalmes en un baño de hielo a cero grados para que generen cero voltaje ($T_a = 0$ y luego $V(T_a) = 0$)

Actualmente todos los instrumentos modernos miden la temperatura en este punto (mediante un sensor de temperatura adicional) y la suman para crear la compensación y obtener así la temperatura real. El punto de empalme (unión o junta de referencia) es siempre en el conector a la entrada del instrumento pues ahí está el sensor de temperatura. De modo que es necesario llegar con el cable de la termocupla hasta el mismo instrumento.

Cuadro 3. Tolerancias de calibración para termocuplas estándar (referencia junta fría 0° C) según IEC 584 Parte 1.

Termocupla	Rango	Clase 1 . Desviación máxima (±) (1)
Cobre vs. Cobre-níquel, Tipo T	-40 a + 350°C	0,5 °C ó 0,004 (t)
Hierro vs. cobre- níquel, Tipo J	-40a+ 750 °C	1,5 °C ó 0,004 (t)
Níquel-cromo vs. níquel, Tipo K	- 40 a 1.000 °C	1,5 °C ó 0,004 (t)
Platino-rodio 13% vs. platino, Tipo R .	0 a + 1.600°C	1 °C ó 1 + 0,003 (t - 1. 100)°C
Platino-rodio 10% vs. platino, Tipo S	0 a + 1. 600°C	1 °C ó 1 + 0,003 (t - 1.100)°C
Platino-rodio 30% vs. platino-rodio 6%, Tipo B	--	--
Termocupla	Rango	Clase 2 . Desviación máxima (±) (1)
Cobre vs. cobre-níquel, Tipo T	-40a+ 350°C	1°C ó 0,0075(t)
Hierro vs. cobre-níquel, Tipo J	-40a+ 750 °C	2,5 °C ó 0,0075 (t)
Níquel-cromo vs. níquel, Tipo K	- 40 a + 1.200°C	2,5 °C ó 0,0075 (t)
Platino-rodio 13% vs. platino, Tipo R	0 a + 1.600 °C	1,5 °C ó 0,0025 (t)
Platino- rodio 10% vs. platino, Tipo S	0 a + 1.600 °C	1,5 °C ó 0,0025 (t)
Platino- rodio 30% vs. platino-rodio 6%, Tipo B	+ 600 a + 1700 °C	1,5 °C ó 0,0025 (t)
Termocupla	Rango	Clase 3(2) . Desviación máxima (±) (1)
Cobre vs. Cobre-níquel, Tipo T	-200 a + 40 °C	1 °C ó 0,015 (t)
Hierro vs. cobre- níquel, Tipo J	-200 a + 40 °C	2,5 °C ó 0,015 (t)
Níquel-cromo vs. níquel, Tipo K	-200 a + 40 °C	2,5 °C ó 0,015 (t)
Platino-rodio 13% vs. platino, Tipo R	--	--
Platino-rodio 10% vs. platino, Tipo S	--	--
Platino-rodio 30% vs. platino-rodio 6%, Tipo B	+600 a + 1.700 °C	4 °C ó 0,005 (t)

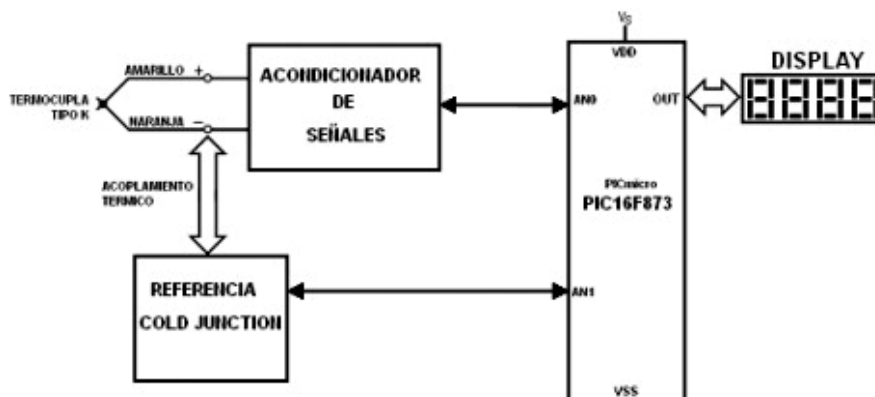
Fuente: normalización IEC 548

EJEMPLO DE DISPOSITIVO PARA MEDICIÓN DE TEMPERATURA

Se desarrolla un sistema de medición de temperatura basado en un sensor tipo termopar, el cual consta de las siguientes etapas:

- Acondicionador de la señal
- Referencia o compensación (Cold Junction)
- Microprocesador
- Etapa de visualización (Display)

En la figura siguiente se muestra un diagrama de bloques que representa todas las etapas de un sistema base fácil de ser desarrollado.



Graf. 4. Esquema de termómetro digital
Fuente: www.wikipedia.org/termometro/digital

LÓGICA PROGRAMABLE

Por Lógica programable se entiende a los mecanismos con capacidad de realizar las principales funciones lógicas necesarias para la conducción de una máquina o un proceso, de acuerdo a un determinado programa memorizado y con un grado de flexibilidad extremadamente elevado.

Controladores de lógica programable (PLC)

Existen PLC's que ofrecen las más variadas prestaciones, en principio solo podían manejar módulos de entrada/salida digital, y reemplazaban los mandos a contactores, a medida que fueron popularizándose, comenzaron a manejar otro tipo de información, por medio de módulos de entrada/salida analógicos, contadores, controladores de periféricos, redes, módulos de visión, controladores de servomecanismos, etc.

Estructura de un PLC

El PLC es en toda su acepción del término, un computador especialmente diseñado para el entorno industrial, para ocupar el lugar de la unidad de mando del proceso productivo. Consta sustancialmente de dos partes fundamentales, el hardware y el software.

Ventajas del PLC

- El mecanismo es de carácter standard, porque la variedad de los componentes que lo conforman es mínima, posibilita la ampliación y/o modificación del sistema mediante la sustitución o agregado de módulos.
- En el caso de eliminación de una máquina/proceso, el sistema de control es reutilizable en otras aplicaciones.
- Puede ser incorporado en máquinas y procesos ya funcionantes.
- Es posible realizar modificaciones de programa con el sistema funcionando, lo que permite una óptima adaptación al proceso.
- Posee interfaces de comunicaciones, impresoras y otros periféricos.

Desventajas del PLC

- Alto costo del dispositivo y los módulos
- Programación con herramientas propietarias
- Considerable tamaño del controlador
- Sobredimensionado para operaciones simples.



Graf. 5. PLC modular

Fuente: www.festo-usa.com/pneu/plcs.html

Compact FieldPoint

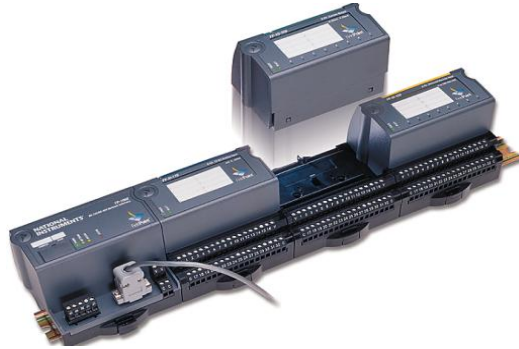
La interface Field Point (Punto de campo) de National Instruments es un sistema modular que permite la comunicación entre la computadora y los procesos, es un sistema de entrada y salida de datos (I/O), la principal característica de este sistema es trabajar en el campo cerca de los procesos dejando el monitoreo y control en posiciones remotas.

Esta interfase convierte a la computadora en importante instrumento de análisis de datos, control y monitoreo, en tiempo real. Otra de las características de la interface Field Point radica en su conectividad con otros módulos Field Point pudiendo construirse redes de trabajo industrial.

También se puede conectar virtualmente cualquier tipo de sensor en los módulos de E/S. Los tipos de sensores más comunes incluyen termopares, RTDs, galgas extensiométricas, sensores de 4-20 mA y una variedad de señales digitales desde 5-30 VDC y 0-250 VAC.

Cualquier sistema Compact FieldPoint consiste en los siguientes componentes: Interfaz de Controlador, Módulos de E/S, Plano Trasero y Bloques Conectores.

Los PACs y los PLCs poseen varias cosas en común: internamente ambos incluyen una fuente de energía, una CPU, una base para E/S, módulos y poseen registros de memoria que reflejan los canales individuales de E/S sobre los módulos.



Graf.6. Ni-FieldPoint
Fuente: www.ni.com

Microcontrolador.

Un microcontrolador consiste en un sencillo pero completo computador contenido en el corazón (chip) de un circuito integrado.

Un microcontrolador es un circuito integrado de alta escala de integración que incorpora la mayor parte de los elementos que configuran un controlador.

Un microcontrolador dispone normalmente de los siguientes componentes:

Procesador o UCP (Unidad Central de Proceso).

Memoria RAM para Contener los datos.

Memoria para el programa tipo ROM/PROM/EPROM.

Líneas de E/S para comunicarse con el exterior.

Diversos módulos para el control de periféricos (temporizadores, Puertas Serie y Paralelo, CAD: Conversores Analógico/Digital, CDA: Conversores Digital/Analógico, etc.).

Generador de impulsos de reloj que sincronizan el funcionamiento de todo el sistema.

Los productos que para su regulación incorporan un microcontrolador disponen de las siguientes ventajas:

Aumento de prestaciones: un mayor control sobre un determinado elemento representa una mejora considerable en el mismo.

Aumento de la fiabilidad: al reemplazar un elevado número de elementos por el microcontrolador disminuye el riesgo de averías y se precisan menos ajustes.

Reducción del tamaño en el producto acabado: La integración del microcontrolador en un chip disminuye el volumen, la mano de obra y los stocks.

Mayor flexibilidad: las características de control están programadas por lo que su modificación sólo necesita cambios en el programa de instrucciones.

El microcontrolador es en definitiva un circuito integrado que incluye todos los componentes de un computador. Debido a su reducido tamaño es posible montar el controlador en el propio dispositivo al que gobierna. En este caso el controlador recibe el nombre de controlador empotrado (embedded controller).

Microcontroladores PIC

Los PIC son una familia de microcontroladores tipo RISC (compilador de secuencia de instrucciones reducido) fabricados por Microchip Technology Inc. y derivados del PIC1650, originalmente desarrollado por la división de microelectrónica de General Instrument.

El nombre actual no es un acrónimo. En realidad, el nombre completo es PICmicro, aunque generalmente se utiliza como *Peripheral Interface Controller* (controlador de interfaz periférico).

El PIC, se mejoró con EPROM para conseguir un controlador de canal programable. Hoy en día multitud de PICs vienen con varios periféricos incluidos (módulos de comunicación serie, UARTs, núcleos de control de motores, etc.) y con memoria de programa desde 512 a 32.000 palabras (una *palabra* corresponde a una instrucción en ensamblador, y puede ser 12, 14 o 16 bits, dependiendo de la familia específica de PICmicro).

Juego de instrucciones y entorno de programación

El PIC usa un juego de instrucciones tipo RISC, cuyo número puede variar desde 35 para PICs de gama baja a 70 para los de gama alta. Las instrucciones se clasifican entre las que realizan operaciones entre el acumulador y una constante, entre el acumulador y una posición de memoria, instrucciones de condicionamiento y de salto/retorno, implementación de interrupciones y una para pasar a modo de bajo consumo llamada *sleep*.

Microchip proporciona un entorno de desarrollo freeware llamado MPLAB que incluye un simulador software y un ensamblador. Otras empresas desarrollan compiladores C y BASIC. Microchip también vende compiladores para los PICs de gama alta ("C18" para la serie F18 y "C30" para los dsPICs) y se puede descargar una edición para estudiantes del C18 que inhabilita algunas opciones después de un tiempo de evaluación.

Para el lenguaje de programación Pascal existe un compilador de código abierto, JAL, lo mismo que PicForth para el lenguaje Forth. GPUTILS es una colección de herramientas distribuidas bajo licencia GPL que incluye ensamblador y enlazador, y funciona en Linux, MacOS y Microsoft Windows. GPSIM es otra herramienta libre que permite simular diversos dispositivos hardware conectados al PIC.

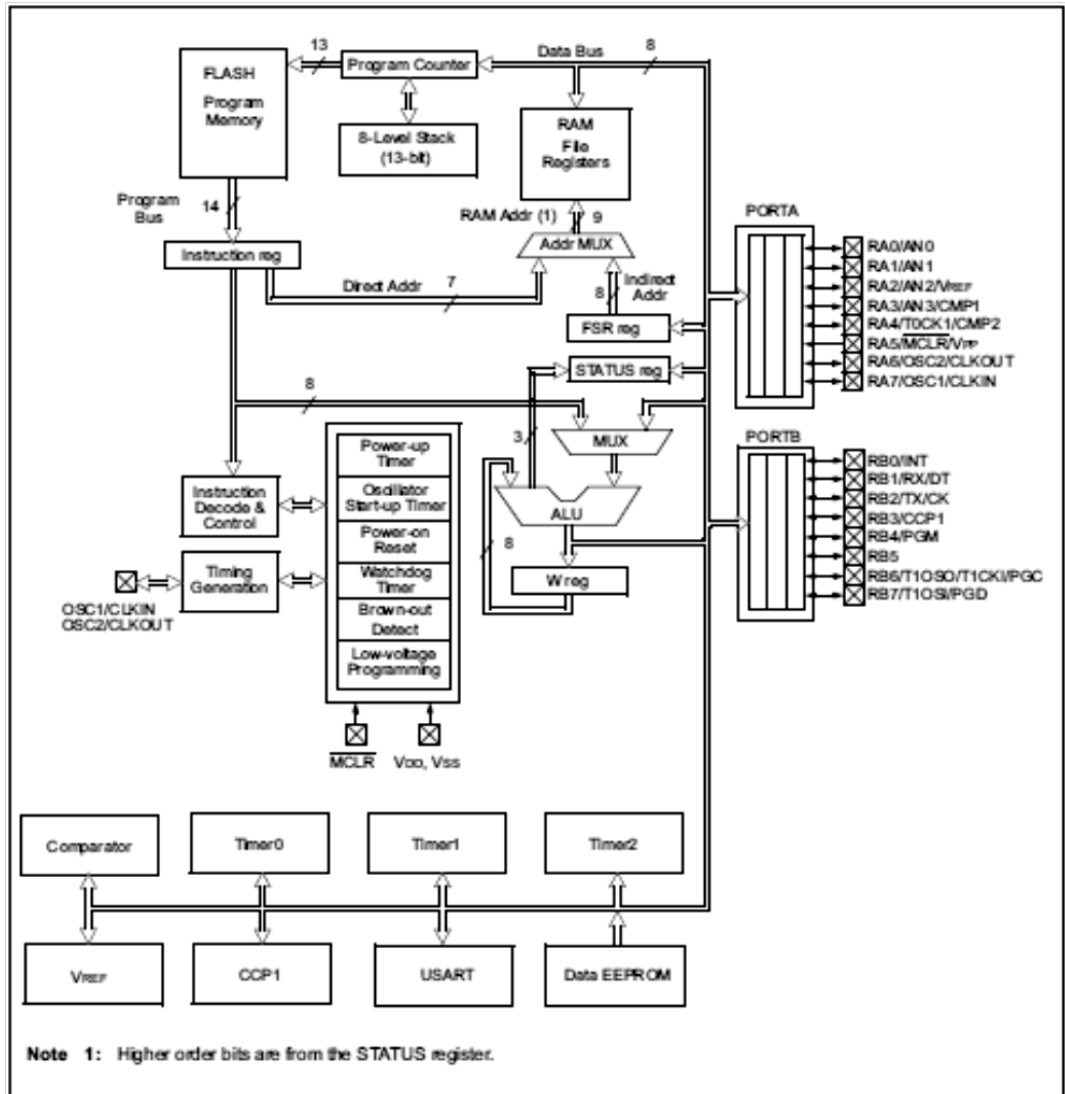
Arquitectura central

La arquitectura del PIC es sumamente minimalista. Esta caracterizada por las siguientes prestaciones:

- Área de código y de datos separadas (Arquitectura Harvard).
- Un reducido número de instrucciones de largo fijo.
- La mayoría de las instrucciones se ejecutan en un solo ciclo de ejecución (4 ciclos de clock), con ciclos de único retraso en las bifurcaciones y saltos.
- Un solo acumulador (W), cuyo uso (como operador de origen) es implícito (no está especificado en la instrucción).

- Todas las posiciones de la RAM funcionan como registros de origen y/o de destino de operaciones matemáticas y otras funciones.
- Una pila de hardware para almacenar instrucciones de regreso de funciones.
- Una relativamente pequeña cantidad de espacio de datos direccionable (típicamente, 256 bytes), extensible a través de manipulación de bancos de memoria.
- El espacio de datos está relacionado con el CPU, puertos, y los registros de los periféricos.
- El contador de programa está también relacionado dentro del espacio de datos, y es posible escribir en él (permitiendo saltos indirectos).

A diferencian de la mayoría de otros CPU, no hay distinción entre los espacios de memoria y los espacios de registros, ya que la RAM cumple ambas funciones, y esta es normalmente referida como "archivo de registros" o simplemente, registros.



Graf. 7. Diagrama de los bloques funcionales del PIC 16F628A
Fuente: www.microchip.com

Memoria de datos

Los microcontroladores PIC tienen una serie de registros que funcionan como una RAM de propósito general. Los registros de propósito específico para los recursos de hardware disponibles dentro del propio chip también están direccionados en la RAM. La direccionabilidad de la memoria varía dependiendo la línea de dispositivos, y todos los dispositivos PIC tienen algún tipo de mecanismo de manipulación de bancos de memoria que pueden ser usados para acceder memoria adicional. Las series más recientes de dispositivos disponen de funciones que pueden cubrir todo el espacio direccionable, independientemente del banco de memoria seleccionado.

Para implementar direccionamiento indirecto, un registro de "selección de registro de archivo" (FSR) y de "registro indirecto" (INDF) son usados: Un número de registro es escrito en el FSR (registros especiales), haciendo que las lecturas o escrituras al INDF serán realmente hacia o de el registro apuntado por el FSR.

Los dispositivos más recientes extienden este concepto con post- y pre-incrementos/decrementos para mayor eficiencia en acceder secuencialmente a la información almacenada. Esto permite que se pueda tratar al FSR como un puntero de pila.

La memoria de datos externa no es directamente direccionable excepto en algunos microcontroladores PIC 18 de gran cantidad de pines.

Tamaño de palabra

El tamaño de palabra de los microcontroladores PIC es fuente de muchas confusiones. Todos los PICs (excepto los dsPIC) manejan datos en tramas de 8 bits, con lo que se deberían llamar microcontroladores de 8 bits. Pero a diferencia de la mayoría de CPUs, el PIC usa arquitectura Harvard, por lo que el tamaño de las instrucciones puede ser distinto del de la palabra de datos. De hecho, las diferentes familias de PICs usan tamaños de instrucción distintos, lo que hace difícil comparar el tamaño del código del PIC con el de otros microcontroladores. Por ejemplo, un microcontrolador tiene 6144 bytes de memoria de programa: para un PIC de 12 bits esto significa 4096 palabras y para uno de 16 bits, 3072 palabras.

Programación del PIC

Para transferir el código de un ordenador al PIC normalmente se usa un dispositivo llamado programador. La mayoría de PICs que Microchip distribuye hoy en día incorporan ICSP (*In Circuit Serial Programming*, programación serie incorporada) o LVP (*Low Voltage Programming*, programación a bajo voltaje), lo que permite programar el PIC directamente en el circuito destino.

Para la ICSP se usan los pines RB6 y RB7 (En algunos modelos pueden usarse otros pines como el GP0 y GP1 o el RA0 y RA1) como reloj y datos y el MCLR para activar el modo programación aplicando un voltaje de 13 voltios. Existen muchos programadores de PICs, desde los más simples que dejan al software los detalles de comunicaciones, a los más complejos, que pueden verificar el dispositivo a diversas tensiones de alimentación e implementan en hardware casi todas las funcionalidades.

Muchos de estos programadores complejos incluyen ellos mismos PICs pre programados como interfaz para enviar las órdenes al PIC que se desea programar. Uno de los programadores más simples es el TE20, que utiliza la línea TX del puerto RS232 como alimentación y las líneas DTR y CTS para mandar o recibir datos cuando el microcontrolador está en modo programación.

El software de programación puede ser el ICprog, muy común entre la gente que utiliza este tipo de microcontroladores.

Características

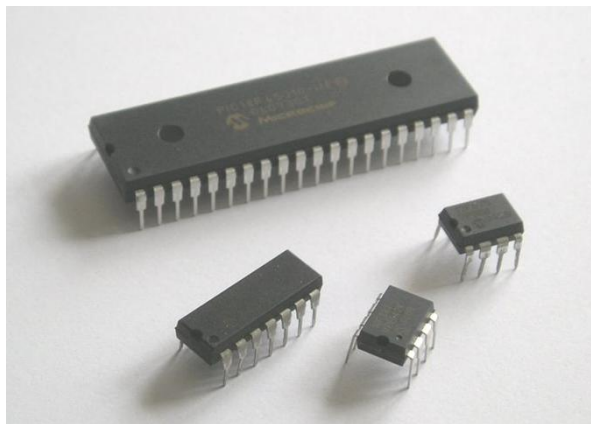
Los PICs actuales vienen con una amplia gama de mejoras hardware incorporados:

- Núcleos de CPU de 8/16 bits con Arquitectura Harvard modificada
- Memoria Flash y ROM disponible desde 256 bytes a 256 kilobytes
- Puertos de E/S (típicamente 0 a 5,5 voltios)
- Temporizadores de 8/16 bits
- Tecnología Nanowatt para modos de control de energía
- Periféricos serie síncronos y asíncronos: USART, AUSART, EUSART
- Conversores analógico/digital de 8-10-12 bits
- Comparadores de tensión
- Módulos de captura y comparación PWM
- Controladores LCD
- Periférico MSSP para comunicaciones I²C, SPI, y I²S

- Memoria EEPROM interna con duración de hasta un millón de ciclos de lectura/escritura
- Periféricos de control de motores
- Soporte de interfaz USB
- Soporte de controlador Ethernet
- Soporte de controlador CAN
- Soporte de controlador LIN
- Soporte de controlador Irda

Gamas del PIC

Se pueden considerar tres grandes gamas de MCUs PIC en la actualidad: Los básicos (Linebase), los de medio rango (Mid Range) y los de alto desempeño (high performance). Los PIC18 son considerados de alto desempeño y tienen entre sus miembros a PICs con módulos de comunicación y protocolos avanzados (USB, Ethernet, Zigbee por ejemplo).



Graf. 8. Microcontroladores PIC
Fuente: <http://es.wikiversity.org/wiki/Archivo:4pics.jpg>

CONTROL INDUSTRIAL

El control automático es el mantenimiento de un valor deseado dentro de una cantidad o condición, midiendo el valor existente, comparándolo con el valor deseado, y utilizando la diferencia para proceder a reducirla.

En consecuencia, el control automático exige un lazo cerrado de acción y reacción que funcione sin intervención humana.

El elemento más importante de cualquier sistema de control automático es lazo de control realimentado básico. El control de un proceso continuo involucra el mantenimiento de las condiciones del proceso deseadas. Calentar o enfriar objetos a cierta temperatura, mantener una presión constante en un caño de vapor, o fijar un valor de flujo de material a un recipiente para mantener un nivel constante de líquido, son ejemplos de control de procesos continuos. La condición que queremos controlar se denomina “variable de proceso”. Temperatura, presión, flujo y nivel del líquido son las variables de proceso de estos ejemplos. Los dispositivos de salida industrial son los elementos de control.

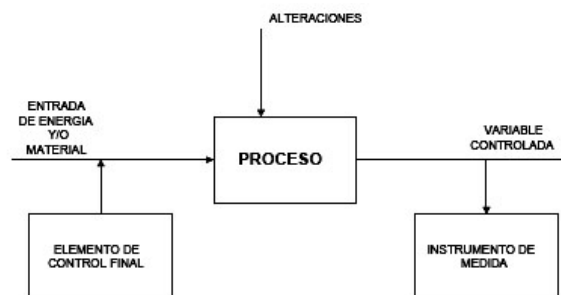
CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL.

Los sistemas de control se clasifican en sistemas de lazo abierto y a lazo cerrado. La distinción la determina la acción de control, que es la que activa al sistema para producir la salida.

Control de lazo abierto.- es aquel en el cual la acción de control es independiente de la salida.

Los sistemas de control a lazo abierto tienen dos rasgos sobresalientes:
a) La habilidad que éstos tienen para ejecutar una acción con exactitud está determinada por su calibración. Calibrar significa establecer o restablecer una relación entre la entrada y la salida con el fin de obtener del sistema la exactitud deseada.

b) Estos sistemas no tienen el problema de la inestabilidad, que presentan los de lazo cerrado.

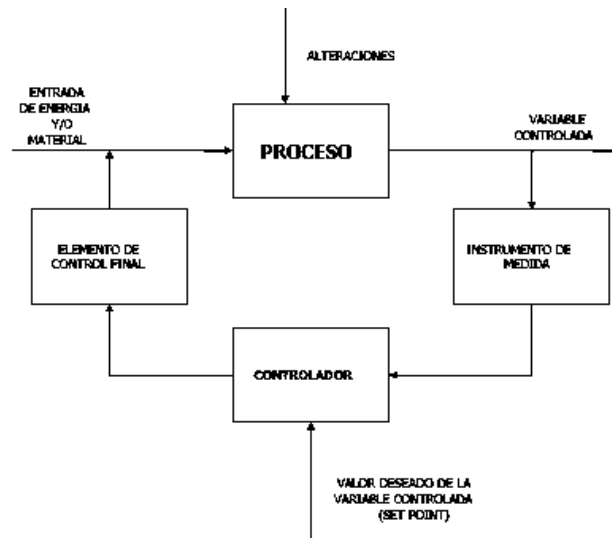


Graf. 9. Control lazo abierto

Fuente: http://www.sapiensman.com/control_automatiko.html

Control de lazo cerrado.- es aquel en el que la acción de control es en cierto modo dependiente de la salida. El control de lazo cerrado determina la configuración de los dispositivos de salida, midiendo y evaluando durante el transcurso del proceso.

Los sistemas de control de lazo cerrado se llaman comúnmente sistemas de control por realimentación (o retroacción).



Graf. 10. Control lazo cerrado

Fuente: http://www.sapiensman.com/control_automatico.html

CONTROL ON/OFF

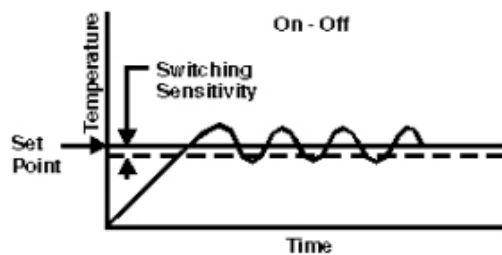
La salida de un controlador puede ser configurada de tal manera que pueda ofrecer el mejor servicio de la variable obtenida de un proceso a controlar, es así como se puede elegir desde un tipo “On-Off” hasta un control más exacto.

Un controlador es un instrumento que toma la señal desde un sensor, la compara con un “setpoint” y ajusta la salida de control.

El control On-Off es la forma más simple de controlar. Es comúnmente utilizado en la industria y muestra muchos de los compromisos fundamentales inherentes a todas las soluciones de control.

La selección del controlador para una aplicación específica depende del grado de control requerido por dicha aplicación. Las aplicaciones simples requieren solo de un control denominado “On-Off”, este tipo de control es aplicable, por ejemplo, en los termostatos de artefactos domésticos, en otras palabras la salida del control estará 100% On (activada) o 100% Off (desactivada).

La sensibilidad de este tipo de control (“hysteresis” o “deadband”) está diseñada para operar, dependiendo del elemento a controlar, dentro de un rango cercano a los puntos de activación y así llevar la operación de “Off” a “On”. El diseño en “Hysteresis” previene que la salida no conmute rápidamente de “Off” a “On”, si la hysteresis está seteada en un rango muy estrecho la salida comenzaría a cambiar de estado tan rápido que producirá en una disminución del tiempo de vida útil de algún relé o contacto y la elevación de temperatura en los componentes; por lo tanto esta hysteresis debería estar seteada con un suficiente tiempo de retardo para evitar esta condición.

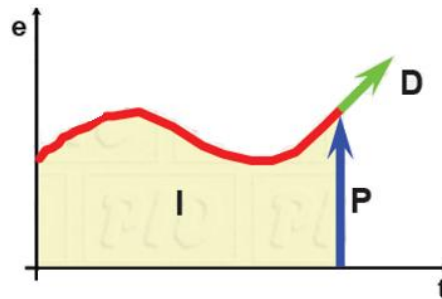


Graf. 11. Señal on-off
Fuente: Aldo Amadori, CONTROL ELÉCTRICO

CONTROL PID

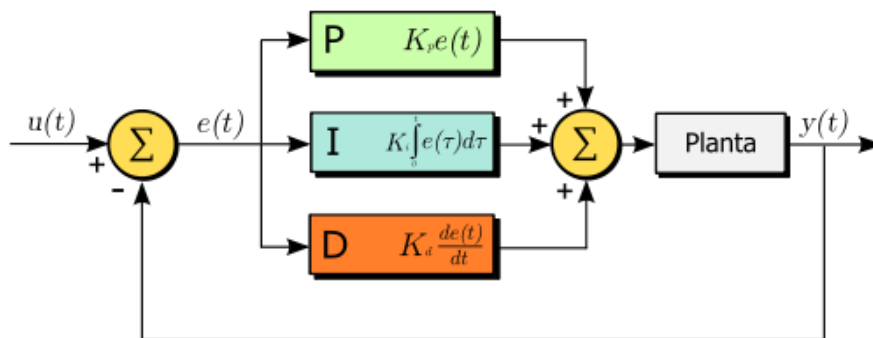
Un PID (Proporcional Integral Derivativo) es un mecanismo de control por realimentación que se utiliza en sistemas de control industriales. Un controlador PID corrige el error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener calculándolo y luego sacando una acción correctora que puede ajustar al proceso acorde. El algoritmo de cálculo del control PID se da en tres parámetros distintos: El valor Proporcional determina la reacción del error actual. El Integral genera una corrección proporcional a la integral del error, esto nos asegura que aplicando un esfuerzo de control suficiente, el error de seguimiento se reduce a cero. El Derivativo determina la reacción del tiempo en el que el error se produce.

La suma de estas tres acciones es usada para ajustar al proceso vía un elemento de control. Ajustando estas tres constantes en el algoritmo de control del PID, el controlador puede proveer un control diseñado para lo que requiera el proceso a realizar. La respuesta del controlador puede ser descrita en términos de respuesta del control ante un error, el grado el cual el controlador llega al "set point", y el grado de oscilación del sistema. Nótese que el uso del PID para control no garantiza control óptimo del sistema o la estabilidad del mismo. Algunas aplicaciones pueden solo requerir de uno o dos modos de los que provee este sistema de control.



Graf. 12. Diagrama PID
Fuente: wikipedia.org/Archivo:PID

Un controlador PID puede ser llamado también PI, PD, P o I en la ausencia de las acciones de control respectivas. Los controladores PI son particularmente comunes, ya que la acción derivativa es muy sensible al ruido, y la ausencia del proceso integral puede evitar que se alcance al valor deseado debido a la acción de control.



Graf. 13. Diagrama de bloques de un control PID
Fuente: wikipedia.org/Archivo:PID

TRANSMISIÓN DE DATOS

Sistemas de comunicaciones de datos:

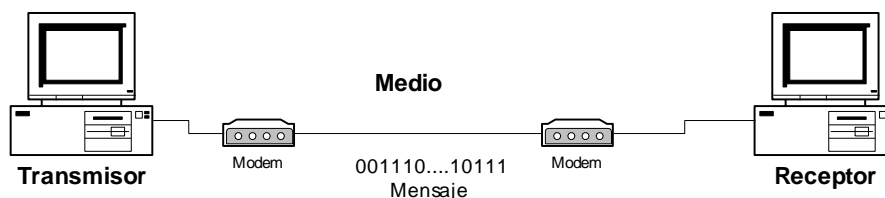
Comunicación de Datos. Es el proceso de comunicar información en forma binaria entre dos o más puntos. Requiere cuatro elementos básicos que son:

Emisor: Dispositivo que transmite los datos

Mensaje: lo conforman los datos a ser transmitidos

Medio: consiste en el recorrido de los datos desde el origen hasta su destino

Receptor: dispositivo de destino de los datos



Graf. 14. Esquema de comunicación de datos
Fuente: <http://charlitospage.com>

En la comunicación de datos debemos saber que un BIT es la unidad más pequeña de información y la unidad base en comunicaciones. Por consiguiente un BYTE es el conjunto de bits continuos mínimos que hacen posible, un direccionamiento de información en un sistema computarizado; está formado por 8 bits. También la Trama que es una tira de bits con un formato predefinido usado en protocolos orientados a bit.

Paquete: fracciones de un mensaje de tamaño predefinido, donde cada fracción o paquete contiene información de procedencia y de destino, así como información requerida para el reensamblado del mensaje.

Interfaces: conexión que permite la comunicación entre dos o más dispositivos.

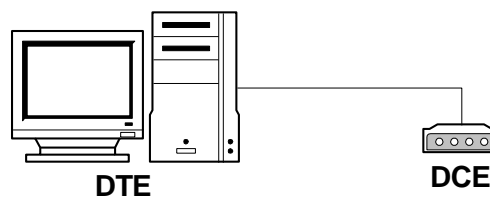
Códigos: acuerdo previo sobre un conjunto de significados que definen una serie de símbolos y caracteres. Toda combinación de bits representa un carácter dentro de la tabla de códigos. Las tablas de códigos más reconocidas son las del código ASCII y la del código EBCDIC.

Paridad: técnica que consiste en la adición de un bit a un carácter o a un bloque de caracteres para forzar al conjunto de unos (1) a ser par o impar. Se utiliza para el chequeo de errores en la validación de los datos. El bit de paridad será cero (0=SPACE) o uno (1=MARK).

Modulación: proceso de manipular de manera controlada las propiedades de una señal portadora para que contenga la información que se va a transmitir

DTE (Data Terminal Equipment): equipos que son la fuente y destino de los datos. Comprenden equipos de computación (Host, Microcomputadores y Terminales).

DCE (Data Communications Equipment): equipos de conversión entre el DTE y el canal de transmisión, es decir, los equipos a través de los cuales conectamos los DTE a las líneas de comunicación.



Graf. 15. Esquema de comunicación de datos DTE-DCE
Fuente: http://charlitospage.com/DTE_DCE/

MEDIOS, FORMAS Y TIPOS DE TRANSMISIÓN

Medios

No Guiados: basados en señales radio-eléctricas (utilizan la atmósfera como medio de transmisión), en señales de rayos láser o rayos infrarrojos.

Guiados: principalmente el cobre en par trenzado o cable coaxial y la fibra óptica.

Formas

Transmisión en Serie: los bits se transmiten de uno a uno sobre una línea única. Se utiliza para transmitir a larga distancia.

Transmisión en Paralelo: los bits se transmiten en grupo sobre varias líneas al mismo tiempo. Es utilizada dentro del computador. La transmisión en paralela es más rápida que la transmisión en serie pero en la medida que la distancia entre equipos se incrementa (no debe sobrepasarse la distancia de 100 pies), no solo se encarecen los cables sino que además aumenta la complejidad de los transmisores y los receptores de la línea a causa de la dificultad de transmitir y recibir señales de pulsos a través de cables largos.

Tipos

Transmisión Simplex: la transmisión de datos se produce en un solo sentido; siempre existen un nodo emisor y un nodo receptor que no cambian sus funciones.

Transmisión Half-Duplex: la transmisión de los datos se produce en ambos sentidos pero alternativamente, en un solo sentido a la vez. Si se está recibiendo datos no se puede transmitir.

Transmisión Full-Duplex: la transmisión de los datos se produce en ambos sentidos al mismo tiempo. Un extremo que está recibiendo datos puede, al mismo tiempo, estar transmitiendo otros datos.

Transmisión Asincrona: cada byte de datos incluye señales de arranque y parada al principio y al final.

Si el receptor es un tanto más rápido o lento que el emisor, es posible que incluso con cadenas cortas (o tramas, que son las cadenas más los bits adicionales de paridad y de comienzo y parada) se produzcan errores como el error de delimitación de trama (se leen datos fuera de la trama al ser el receptor más lento que el emisor) o el error que se produce al introducirse ruido en la transmisión de forma que en estado de reposo, el receptor crea que se ha emitido un dato (el ruido). La misión de estas señales consiste en:

- Avisar al receptor de que está llegando un dato.
- Darle suficiente tiempo al receptor de realizar funciones de sincronismo antes de que llegue el siguiente byte.

Transmisión Síncrona: se utilizan canales separados de reloj que administran la recepción y transmisión de los datos. Al inicio de cada transmisión se emplean unas señales preliminares llamadas:

- Bytes de sincronización en los protocolos orientados a byte.
- Flags en los protocolos orientados a bit.

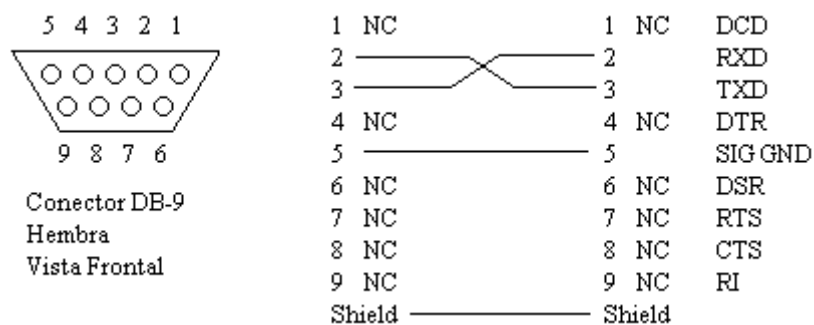
Su misión principal es alertar al receptor de la llegada de los datos.

Nota: Las señales de reloj determinan la velocidad a la cual se transmite o recibe. Para bloques grandes de datos, la transmisión síncrona es más eficiente que la asíncrona.

Interfaz Serial

RS-232 en 25 Y 9 Pines: define una interfaz no balanceada empleando un intercambio en serie de datos binarios a velocidades de transmisión superiores a los 20,000 bps, opera con datos síncronos pero está limitada por una longitud de cable de aprox. 50 pies.

V.35: especifica una interfaz síncrono para operar a velocidades superiores a 1 Mbps. Este interfaz utiliza la mezcla de dos señales no balanceadas para control y de señales balanceadas para la sincronización y envío/recepción de los datos lo que facilita trabajar a altas velocidades.



Graf. 16. Esquema de comunicación de datos RS232 conector DB9
Fuente: <http://redesvelez.tripod.com/>

PERTURBACIONES EN LA TRANSMISIÓN DE DATOS

Atenuación

La energía de una señal decae con la distancia, por lo que hay que asegurarse que llegue con la suficiente energía como para ser captada por la circuitería del receptor y además, el ruido debe ser sensiblemente menor que la señal original (para mantener la energía de la señal se utilizan amplificadores o repetidores).

Debido a que la atenuación varía en función de la frecuencia, las señales analógicas llegan distorsionadas, por lo que hay que utilizar sistemas que le devuelvan a la señal sus características iniciales.

Distorsión de retardo

Debido a que en medios guiados, la velocidad de propagación de una señal varía con la frecuencia, hay frecuencias que llegan antes que otras dentro de la misma señal y por tanto las diferentes componentes en frecuencia de la señal llegan en instantes diferentes al receptor. Para atenuar este problema se usan técnicas de ecualización.

Ruido

El ruido es toda aquella señal que se inserta entre el emisor y el receptor de una señal dada. Hay diferentes tipos de ruido: *ruido térmico* debido a la agitación térmica de electrones dentro del conductor, *ruido de intermodulación* cuando distintas frecuencias comparten el mismo medio de transmisión, *diafonía* se produce cuando hay un acoplamiento entre las líneas que transportan las señales y el *ruido impulsivo* se trata de pulsos discontinuos de poca duración y de gran amplitud que afectan a la señal.

Capacidad del canal

Se llama capacidad del canal a la velocidad a la que se pueden transmitir los datos en un canal de comunicación de datos. La velocidad de los datos es la velocidad expresada en bits por segundo a la que se pueden transmitir los datos.

El ancho de banda es aquel ancho de banda de la señal transmitida y que está limitado por el transmisor y por la naturaleza del medio de transmisión (en hertzios).

Para un ancho de banda determinado es aconsejable la mayor velocidad de transmisión posible pero de forma que no se supere la tasa de errores aconsejable. Para conseguir esto, el mayor inconveniente es el ruido.

LA AUTOMATIZACIÓN:

La automatización como una disciplina de la ingeniería es más amplia que un mero sistema de control, abarca la instrumentación industrial, que incluye los sensores y transmisores de campo, los sistemas de control y supervisión, los sistemas de transmisión y recolección de datos y las aplicaciones de software en tiempo real para supervisar y controlar las operaciones de plantas o procesos industriales.

Aunque es evidente que la automatización sustituye a un alto porcentaje de la fuerza laboral no calificada, reduciendo la participación de los salarios en total de costos de producción, las principales razones para automatizar no incluye necesariamente la reducción del costo del trabajo, más bien obedece a la necesidad de precisión en los trabajos que se buscan realizar.

La automatización es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos.

Un sistema automatizado consta de dos partes principales:

Parte de Mando

Parte Operativa

La *Parte Operativa* es la parte que actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada. Los elementos que forman la parte operativa son los accionadores de las máquinas como motores, cilindros, compresores y los captadores como fotodiodos, finales de carrera

La *Parte de Mando* suele ser un autómata programable (tecnología programada), aunque hasta hace bien poco se utilizaban relés electromagnéticos, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos (tecnología cableada) . En un sistema de fabricación automatizado el autómata programable esta en el centro del sistema. Este debe ser capaz de comunicarse con todos los constituyentes de sistema automatizado.

Tipos de Automatización.

Existen cinco formas de automatizar en la industria moderna, de modo que se deberá analizar cada situación a fin de decidir correctamente el esquema más adecuado.

Los tipos de automatización son:

- Control Automático de Procesos
- El Procesamiento Electrónico de Datos
- La Automatización Fija
- El Control Numérico Computarizado
- La Automatización Flexible.

El Control Automático de Procesos, se refiere usualmente al manejo de procesos caracterizados de diversos tipos de cambios (generalmente químicos y físicos); un ejemplo de esto podría ser el proceso de refinación de petróleo.

El Proceso Electrónico de Datos frecuentemente es relacionado con los sistemas de información, centros de cómputo, etc. Sin embargo en la actualidad también se considera dentro de esto la obtención, análisis y registros de datos a través de interfaces y computadores.

La Automatización Fija, es aquella asociada al empleo de sistemas lógicos tales como: los sistemas de relevadores y compuertas lógicas; sin embargo estos sistemas se han ido flexibilizando al introducir algunos elementos de programación como en el caso de los (PLC'S) O Controladores Lógicos Programables.

Un mayor nivel de flexibilidad lo poseen las máquinas de control numérico computarizado. Este tipo de control se ha aplicado con éxito a Máquinas de Herramientas de Control Numérico (MHCN). Entre las MHCN podemos mencionar:

- Fresadoras CNC.
- Tornos CNC.
- Máquinas de Electroerosionado
- Máquinas de Corte por Hilo, etc.

El mayor grado de flexibilidad en cuanto a automatización se refiere es el de los Robots industriales que en forma más genérica se les denomina como "Celdas de Manufactura Flexible".

Interfaz humano-máquina

Una interfaz Hombre - Máquina o HMI ("Human Machine Interface") es el aparato que presenta los datos a un operador (humano) y a través del cual éste controla el proceso.

Los sistemas HMI se los puede ver como una "ventana de un proceso". Esta ventana puede estar en dispositivos especiales como paneles de operador o en un ordenador. Los sistemas HMI en ordenadores se los conoce también como software HMI o de monitorización y control de supervisión.

Las señales del proceso son conducidas al HMI por medio de dispositivos como tarjetas de entrada/salida en el ordenador, PLC's (Controladores lógicos programables), PACs (Controlador de automatización programable), RTU

(Unidades remotas de I/O) o DRIVER's (Variadores de velocidad de motores). Todos estos dispositivos deben tener una comunicación que entienda el HMI.

La obtención de los datos por el sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) parte desde el PLC o desde otros controladores y se realiza por medio de algún tipo de red, posteriormente esta información es combinada y formateada. Un HMI puede tener también vínculos con una base de datos para proporcionar las tendencias, los datos de diagnóstico y manejo de la información así como un cronograma de procedimientos de mantenimiento, información logística, esquemas detallados para un sensor o máquina en particular, incluso sistemas expertos con guía de resolución de problemas. Numerosos paquetes de HMI/SCADA de terceros ofrecen compatibilidad incorporada con la mayoría de PLCs, incluyendo la entrada al mercado de ingenieros mecánicos, eléctricos y técnicos para configurar estas interfaces por sí mismos, sin la necesidad de un programa hecho a medida escrito por un desarrollador de software.

El sistema SCADA es popular debido a esta compatibilidad y seguridad. Ésta se usa desde aplicaciones pequeñas, como controladores de temperatura en un espacio, hasta aplicaciones muy grandes como el control de plantas nucleares.

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO

COMPOSICIÓN DEL ACERO

El acero es una aleación de hierro y carbono que contiene otros elementos de aleación, los cuales le confieren propiedades mecánicas específicas para su utilización en la industria metalmeccánica.

Los otros principales elementos de composición son el Cromo, Tungsteno, Manganeso, Níquel, Vanadio, Cobalto, Molibdeno, Cobre, Azufre y Fósforo. Estos elementos, según su porcentaje, ofrecen características específicas para determinadas aplicaciones, como herramientas, cuchillas, soportes, etc.

Tratamiento superficial.- es un tratamiento que se le da a las piezas de acero terminadas en su superficie, se endurecen al calentarlas con compuestos de carbono y nitrógeno, estos reaccionan con el acero y forman nitruros en su capa superficial

Recubrimiento.- consiste en la aplicación de un producto químico líquido o compuesto, sobre un substrato, en forma directa o por transferencia a la superficie de una pieza para obtener un material con propiedades específicas y funcionales.

Resistencia.- propiedad de un material de soportar una determinada carga sin fallar.

Elasticidad.- propiedad de un material a deformarse bajo la acción de una carga y de regresar a su estado original al desaparecer la misma.

Dureza.- propiedad de un material de oponerse a las rayaduras y a ser taladrado por otro.

Cedencia.- es la propiedad que tiene un material para soportar una determinada fuerza antes de que empiece su deformación.

Ductilidad.- propiedad de un material para deformarse bajo la acción de una fuerza, sin que este se rompa.

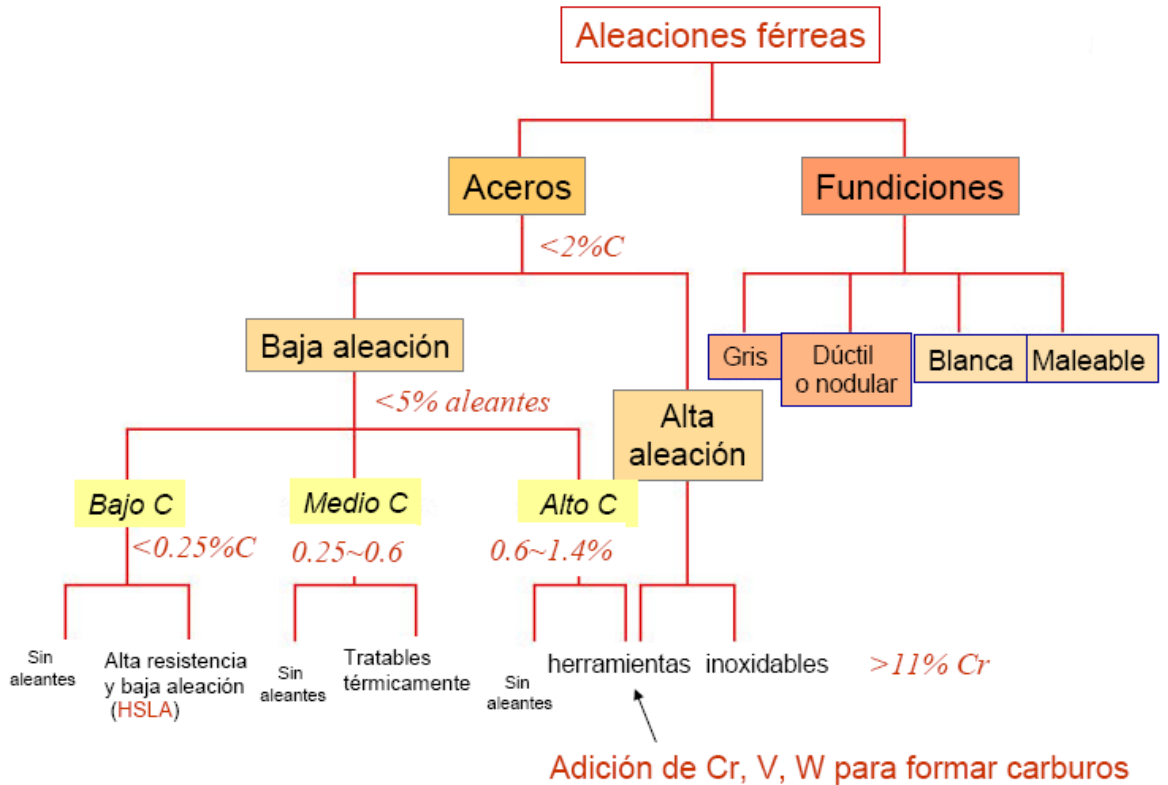
Fatiga.- propiedad de un material que tiene para dilatarse bajo la acción de cargas sucesivas, produciendo esfuerzos repetitivos en el material, llegando hasta su rotura.

Tenacidad.- capacidad de un material para absorber energía de deformación hasta su rotura.

Fluencia: inicio de la deformación plástica.

ALEACIONES

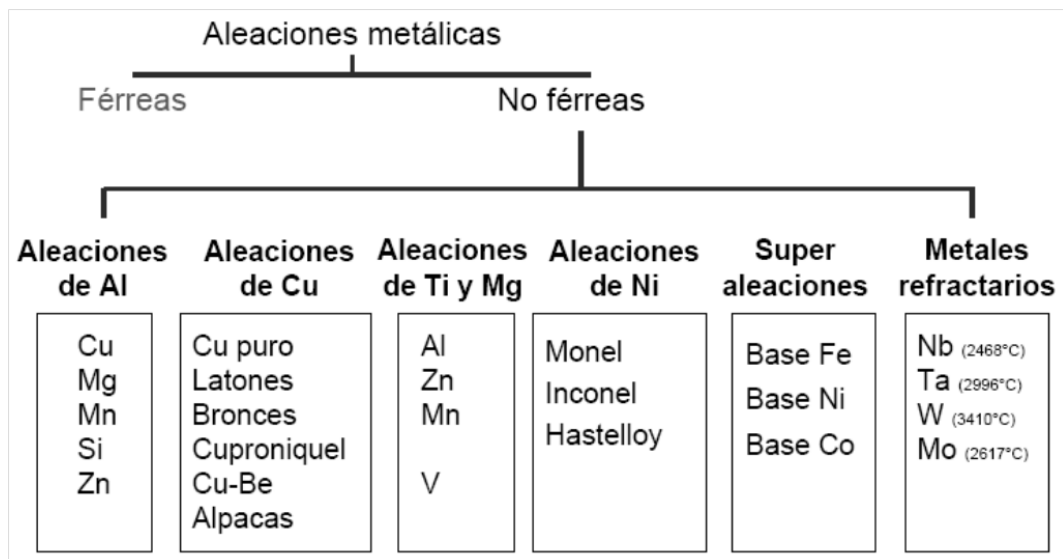
Clasificación de las aleaciones férreas



Graf. 17. ALEACIONES FÉRREAS

Fuente: Elena Gordo, MATERIALES PARA LA INGENIERÍA Y SU SELECCIÓN

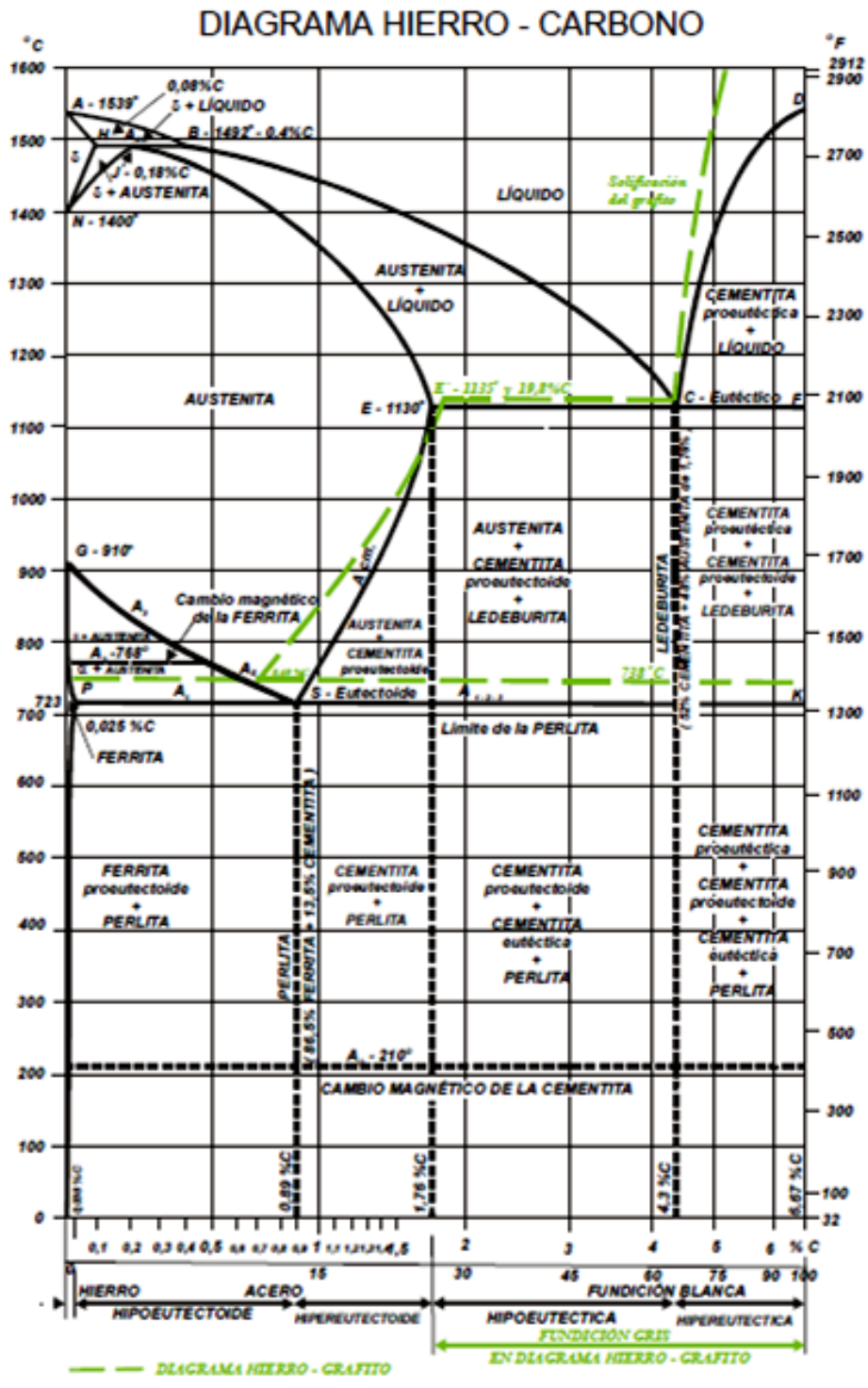
Clasificación de las aleaciones no férreas



Graf. 18. ALEACIONES NO FÉRREAS

Fuente: Elena Gordo, MATERIALES PARA LA INGENIERÍA Y SU SELECCIÓN

El sistema Fe-C



Graf. 19. Diagrama Hierro – Carbono
 Fuente: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/files/2010/10/diagrama-Fe-C1.png>

FASES:

α : (Ferrita): Es una solución sólida de carbono con una solubilidad a temperatura ambiente muy pequeña. Es la fase más blanda y dúctil de los aceros. Cristaliza en una estructura BCC. Presenta propiedades magnéticas. En los aceros aleados, suele contener Ni, Mn, Cu, Si, Al en disolución sólida sustitucional. Al microscopio aparece como granos monofásicos, con límites de grano más irregulares que la austenita.

γ : (Austenita). Es la fase más densa de los aceros. Está formado por la solución sólida por inserción de carbono. La proporción de carbono disuelto varía desde el 0% al 1.76%, correspondiendo este último al porcentaje de máxima solubilidad a la temperatura de 1130 °C. La austenita comienza a formarse a la temperatura de 723°C. Posee una estructura cristalina FCC. No presenta propiedades magnéticas.

δ : Hierro delta

Cementita: (Cementita- Carburo de Hierro) Es carburo de hierro y por tanto su composición es de 6.67% de C. Es la fase más dura y frágil de los aceros. Cristaliza formando un paralelepípedo ortorrómbico de gran tamaño. Es magnética hasta los 210°C, temperatura a partir de la cual pierde sus propiedades magnéticas.

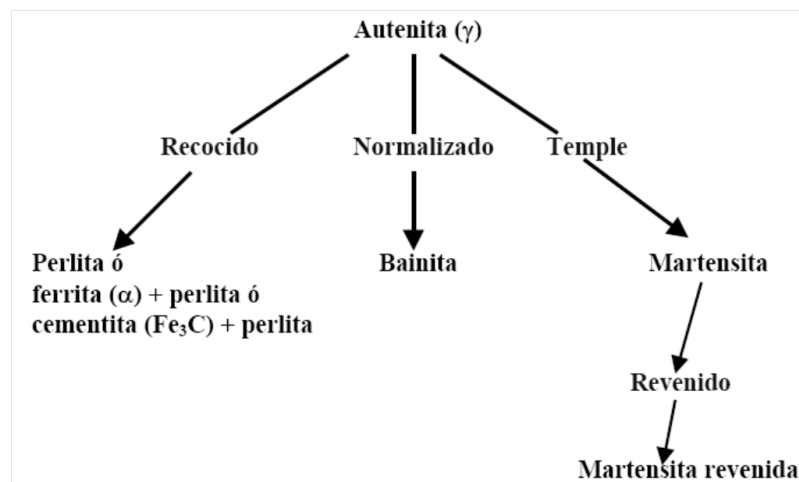
Perlita Es la fase formada por el enfriamiento lento de la austenita. Cada grano de perlita está formado por láminas de cementita y ferrita.

Led: (Ledeburita)

TRATAMIENTOS TÉRMICOS DEL ACERO

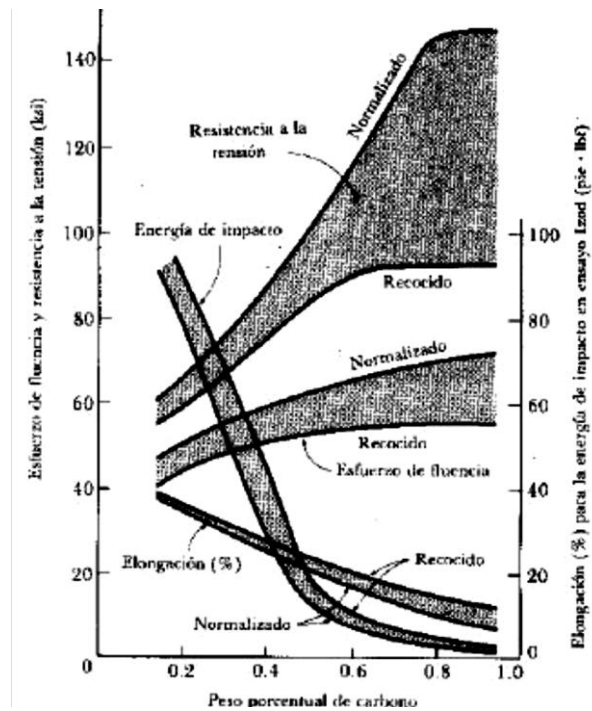
El tratamiento térmico en el material es uno de los pasos fundamentales para que pueda alcanzar las propiedades mecánicas para las cuales esta creado. La clave de los tratamientos térmicos consiste en las reacciones que se producen en el material, tanto en los aceros como en las aleaciones no férricas, y ocurren durante el proceso de calentamiento y enfriamiento de las piezas, con unas pautas o tiempos establecidos.

Tratamientos térmicos de los Aceros



Graf. 20. Facas de transformación
Elaborado por: Carlos Calderón

Influencia del tratamiento térmico y % de carbón en las propiedades mecánicas



Graf. 21. Diagrama TT vs %C

Fuente: Elena Gordo, MATERIALES PARA LA INGENIERÍA Y SU SELECCIÓN

Temple.

El temple tiene por objeto endurecer y aumentar la resistencia de los aceros. Para ello, se calienta el acero a una temperatura ligeramente más elevada que la crítica superior A_c (entre 850-950°C) y se enfría luego más o menos rápidamente (según características de la pieza) en un medio como agua, aceite, etc.

Las estructuras llamadas de temple, que se obtienen de esa manera, están formadas por martensita, que es el componente fundamental de los aceros templados, pudiendo contener algo de austenita residual. También puede aparecer ferrita o cementita (si el calentamiento para el temple no alcanzó la zona austenítica), o estructuras intermedias (si el enfriamiento no fue suficientemente rápido).

No debe excederse mucho la temperatura mínima, es decir A_3 para los aceros hipoeutectoides y A_1 para los hipereutectoides. Se evitan de ese modo innecesarios crecimientos del tamaño del grano austenítico. El valor recomendado

es unos 40 a 50°C por encima del valor mínimo, para asegurar una relación relativamente rápida de la austenita sin crecimiento importante del grano de ésta.

Los aceros que permiten tener estructuras martensíticas con bajas velocidades de enfriamiento, se dice que tienen alta templabilidad. Ellos pueden ser enfriados en aire o en aceite, estos medios son menos violentos que el agua, que es el medio utilizado para templar aceros de baja templabilidad, como son los aceros comunes.

Como la martensita obtenida en los tratamientos de temple tiene un alto grado de fragilidad, es posible mejorar las características de las piezas templadas sometiénolas a un tratamiento complementario del temple, llamado revenido.

El Revenido.

El revenido es un tratamiento habitual a las piezas que han sido previamente templadas. El revenido consigue disminuir la dureza y resistencia de los aceros templados, se eliminan las tensiones creadas en el temple y se mejora la tenacidad, dejando al acero con la dureza o resistencia deseada. Se distingue básicamente del temple en cuanto a temperatura máxima y velocidad de enfriamiento. Su temperatura está entre 150 – 500°C, su enfriamiento puede ser al aire, aceite o en gasolina.

La temperatura del revenido influye en el sentido de que la dureza y la fragilidad son tanto menores, cuando mayor es la temperatura de calentamiento.

El ablandamiento de la martensita se produce como consecuencia de un fenómeno de precipitación de cementita a partir de la martensita. La estructura así obtenida, que puede presentar diversos aspectos al microscopio, según el grado de precipitación alcanzado, se denomina martensita revenida.

En el límite, con revenidos a temperaturas próximas a A_1 , la martensita se transforma en ferrita y cementita, alcanzándose una estructura de tipo globular equivalente a las obtenidas por reconocidos de globalización.

La martensita tiene estructura tetragonal centrada, y puede considerarse como una ferrita sobresaturada de carbono (la sobresaturación es la responsable de deformar la estructura cúbica en tetragonal). El revenido, al permitir la reducción del carbono disuelto en la martensita, hace que ésta tienda hasta la ferrita.

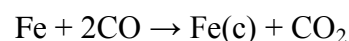
Recocido. Consiste básicamente en un calentamiento hasta temperatura de austenización (800-925°C) seguido de un enfriamiento lento. Con este tratamiento se logra aumentar la elasticidad, mientras que disminuye la dureza. También facilita el mecanizado de las piezas al homogeneizar la estructura, afinar el grano y ablandar el material, eliminando la acritud que produce el trabajo en frío y las tensiones internas.

TRATAMIENTOS TERMO QUÍMICOS DEL ACERO

En el caso de los tratamientos térmicos, no solo se producen cambios en la Estructura del Acero, sino también en su composición química, añadiendo diferentes productos químicos durante el proceso del tratamiento. Estos tratamientos tienen efecto solo superficial en las piezas tratadas.

Cementación. Mediante este tratamiento se producen cambios, en la composición química del acero. Lo que se busca es aumentar el contenido de carbono de la zona periférica, obteniéndose después, por medio de temple y revenidos, una gran dureza superficial, resistencia al desgaste y buena tenacidad en el núcleo.

Consiste en colocar las piezas normalmente de aceros bajos en carbono con contenidos iguales o inferiores a 0.20%, en presencia de una atmósfera que contiene una gran cantidad de óxido de carbono. La temperatura normal de cementación es de 925° C. A esta temperatura se verifica la siguiente reacción:



Fe(c) indica el carbono disuelto en la austenita.

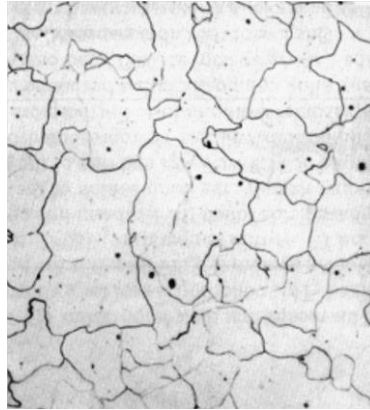
Nitruración. Este tratamiento Termoquímico busca endurecer superficialmente un acero con nitrógeno, calentándolo a temperaturas comprendidas entre 400-525°C, dentro de una corriente de gas amoníaco, más nitrógeno.

INGENIERÍA DE MATERIALES

FASES PRESENTES EN EL SISTEMA Fe-C metaestable

- **FERRITA α** : solución sólida de inserción de C en Fe α (BCC)

Fase blanda, con pequeño %C (<0,028)



Graf. 22. Ferrita alfa

Fuente: Elena Gordo, MATERIALES PARA LA INGENIERÍA Y SU SELECCIÓN

- **AUSTENITA**: solución sólida de inserción de C en Fe γ (FCC)

Relativamente blanda y dúctil, con %C hasta 2%



Graf. 23. Austenita

Fuente: Elena Gordo, MATERIALES PARA LA INGENIERÍA Y SU SELECCIÓN

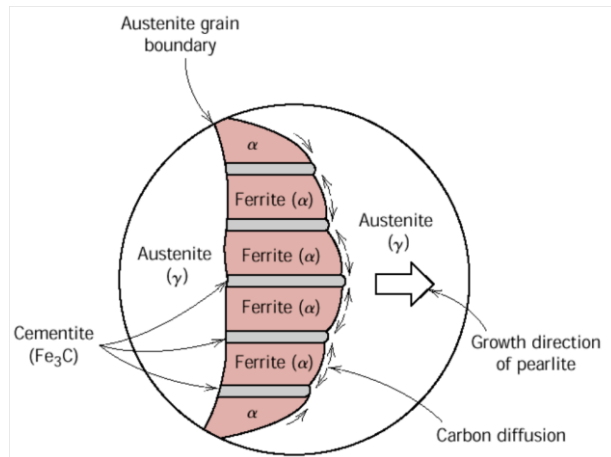
- **FERRITA δ** : solución sólida de inserción de C en Fe δ (BCC)
- **CEMENTITA**: compuesto estequiométrico, 6,67 % C

Fase dura y frágil, aumenta la resistencia del acero y disminuye la ductilidad

DESARROLLO DE LA MICROESTRUCTURA:

Transformaciones de equilibrio en el sistema Fe-C metaestable

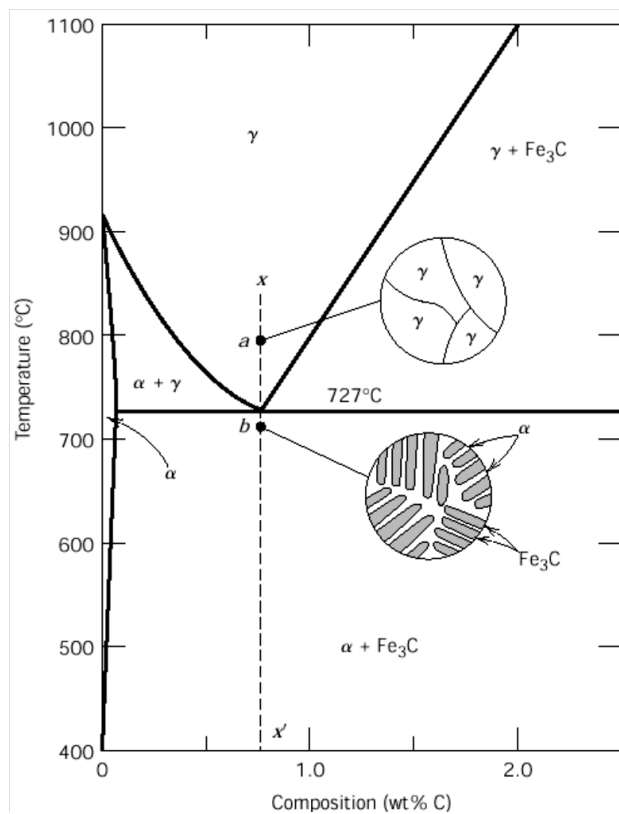
La transformación perlítica se produce en aceros EUTECTOIDES



Graf. 24. Transformaciones de equilibrio

Fuente: Elena Gordo, MATERIALES PARA LA INGENIERÍA Y SU SELECCIÓN

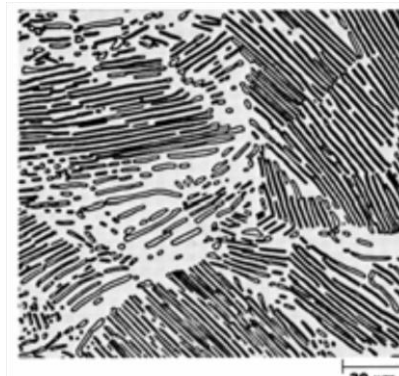
Un solo microconstituyente: perlita, formado por láminas de dos fases: Fe α + Fe₃C



Graf. 25. Fases Fe_α + Fe₃C

Fuente: Elena Gordo, MATERIALES PARA LA INGENIERÍA Y SU SELECCIÓN

La dureza y resistencia de la perlita aumenta al disminuir el tamaño (espesor) de las láminas.

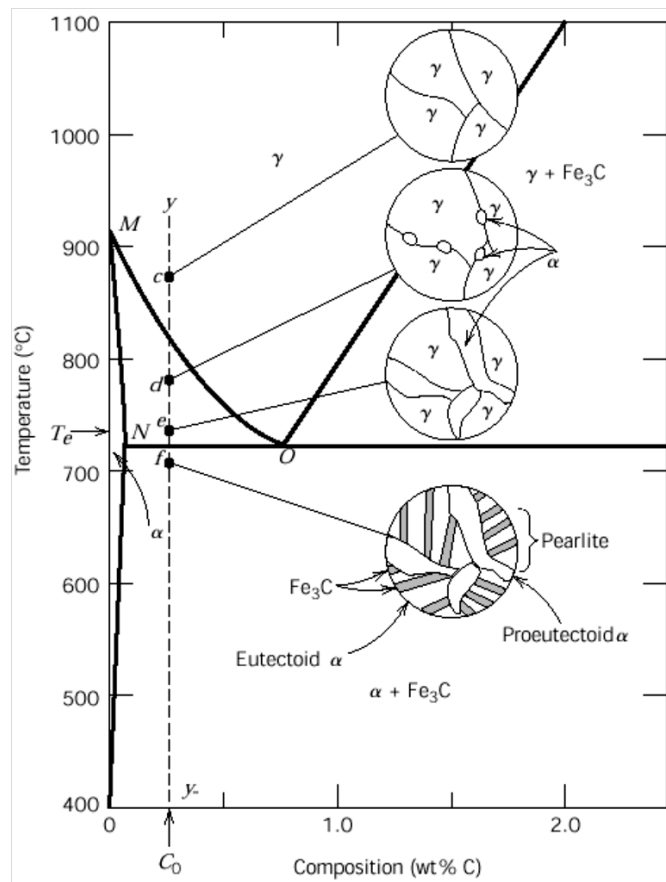


Graf. 26. Perlita

Fuente: Elena Gordo, MATERIALES PARA LA INGENIERÍA Y SU SELECCIÓN

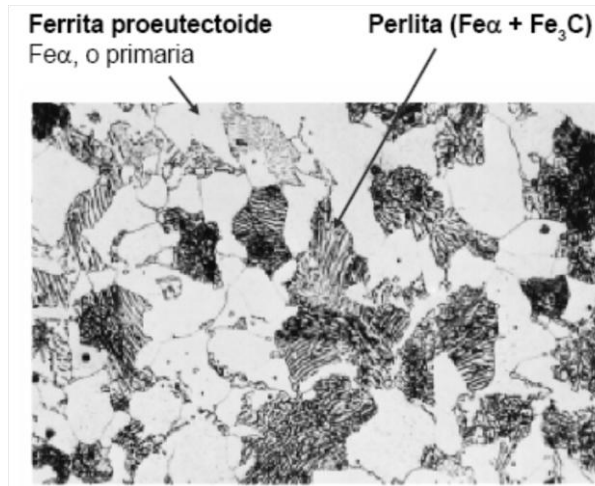
ACEROS HIPOEUTECTOIDES

Dos microconstituyentes Ferrita proeutectoide ($Fe\ \alpha$, o primaria) + Perlita ($Fe\ \alpha$ + Fe_3C)



Graf. 27. Composición Aceros Hipoeutectoides

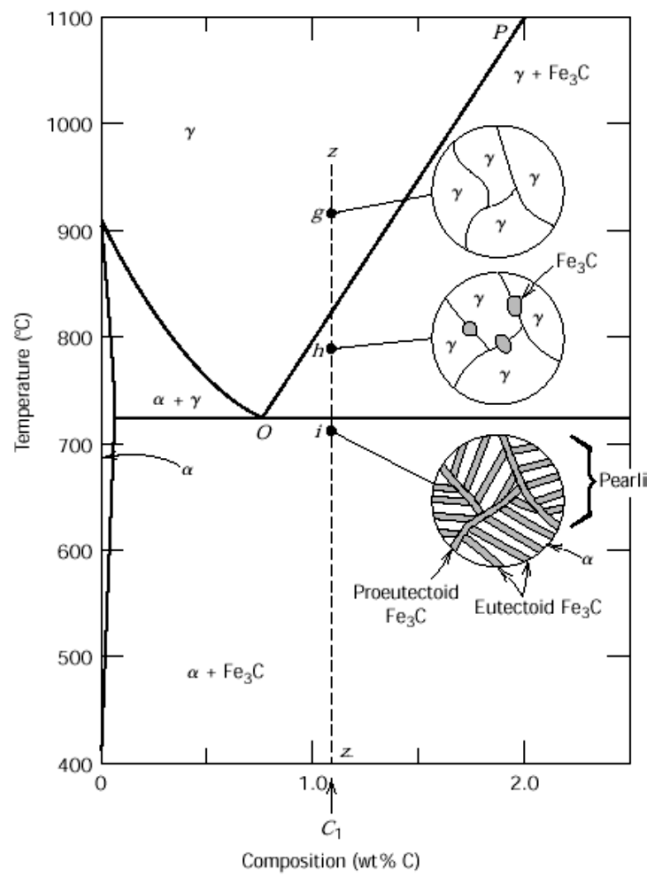
Fuente: Elena Gordo, MATERIALES PARA LA INGENIERÍA Y SU SELECCIÓN



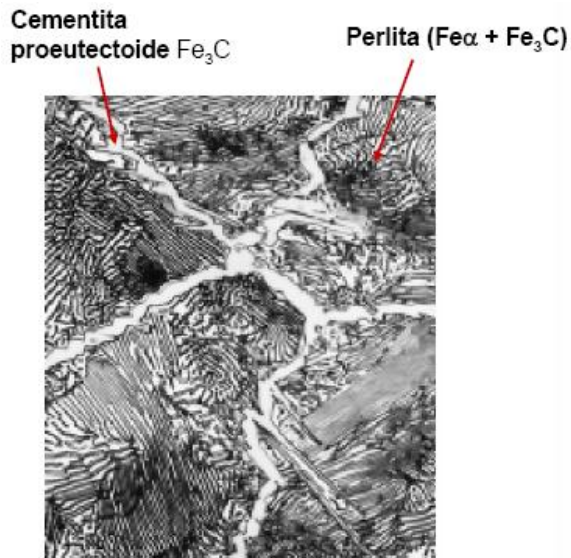
Graf. 28. Microconstituyentes ferrita proeutectoide + perlita
Fuente: Elena Gordo, MATERIALES PARA LA INGENIERÍA Y SU SELECCIÓN

ACEROS HIPEREUTECTOIDES

Dos microconstituyentes: Cementita proeutectoide Fe $_3$ C + Perlita (Fe α + Fe $_3$ C)



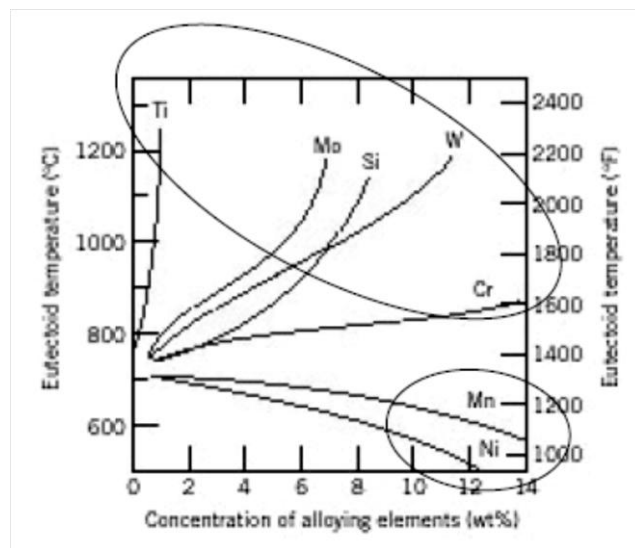
Graf. 29. Composición ACEROS HIPEREUTECTOIDES
Fuente: Elena Gordo, MATERIALES PARA LA INGENIERÍA Y SU SELECCIÓN



Graf. 30. Cementita Proeutectoide
 Fuente: Elena Gordo, MATERIALES PARA LA INGENIERÍA Y SU SELECCIÓN

INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS DE ALEACIÓN

Influencia de los aleantes sobre la temperatura del eutectoide



Graf. 31. Influencia de elementos de aleación
 Fuente: Elena Gordo, MATERIALES PARA LA INGENIERÍA Y SU SELECCIÓN

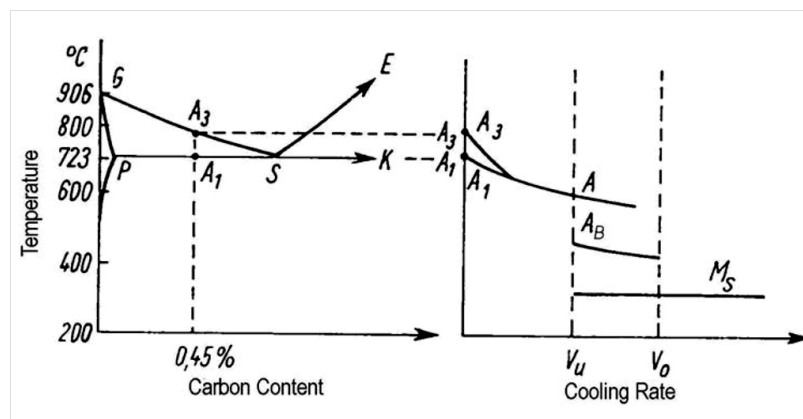
Mediante la influencia de los aleantes sobre la composición (%C) del eutectoide los aceros hipo pueden transformarse en hipereutectoides.

En los diagramas de fase se presenta el equilibrio pero no reflejan el tiempo (velocidad) de transformación

En los procesos industriales interesa el tiempo de transformación – velocidad e interesan transformaciones de EQUILIBRIO y NO EQUILIBRIO

Las transformaciones de no equilibrio son la base de los tratamientos térmicos.

Al aumentar la velocidad de enfriamiento se produce el desplazamiento del punto eutectoide a temperaturas más bajas y menores porcentajes de carbono



Graf. 32. Influencia de elementos de aleación en temperatura de enfriamiento
Fuente: Elena Gordo, MATERIALES PARA LA INGENIERÍA Y SU SELECCIÓN

Consecuencia:

Para un porcentaje de carbono, al elevar la velocidad de enfriamiento, disminuye el porcentaje de ferrita proeutectoide y baja el tamaño de la perlita (espaciamiento entre láminas)

Si la velocidad de enfriamiento son demasiado rápidas entonces se producen transformaciones de NO equilibrio

La microestructura de los aceros es el resultado de la transformación de la austenita

TRANSFORMACIONES IMPORTANTES:

- Austenita se transforma a ferrita (equilibrio)
- Austenita se transforma a perlita (equilibrio)
- Austenita se transforma a bainita (no equilibrio)
- Austenita se transforma a martensita (no equilibrio)

Las propiedades de los aceros dependen de la microestructura

Si se produce modificación de propiedades entonces se produce una modificación microestructural mediante tratamientos térmicos

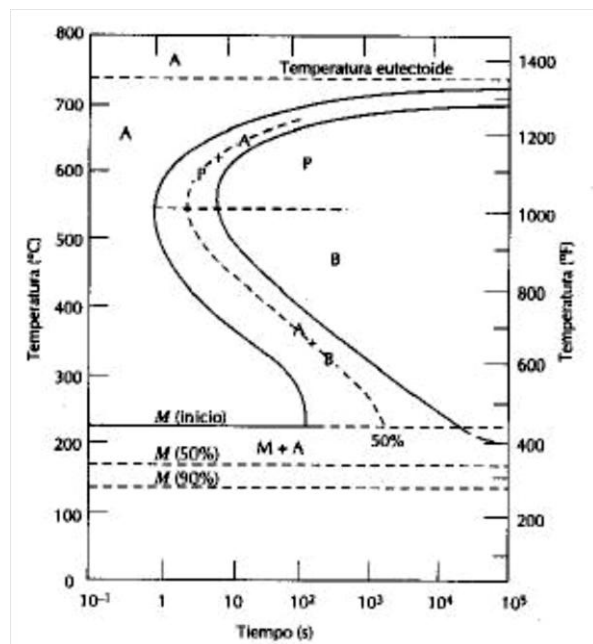
Transformación isotérmica de un acero eutectoide.

A: austenita

P: perlita

B: bainita

M: martensita



Graf. 33. Transformación isotérmica eutectoide

Fuente: Elena Gordo, MATERIALES PARA LA INGENIERÍA Y SU SELECCIÓN

Bainita: partículas alargadas de Fe₃C en matriz de ferrita

Martensita: partículas alargadas en matriz retenida de austenita

HORNOS INDUSTRIALES

Se entiende por hornos industriales los equipos o dispositivos utilizados en la industria, en los que se calientan las piezas o elementos colocados en su interior por encima de la temperatura ambiente. El objeto de este calentamiento puede ser muy variado, por ejemplo:

- Fundir.
- Ablandar para una operación de conformación posterior.
- Tratar térmicamente para impartir determinadas propiedades
- Recubrir las piezas con otros elementos, operación que se facilita frecuentemente operando a temperatura superior a la del ambiente.
- Arcas de recocer en la industria del vidrio.
- Incineradores, equipos destinados a la combustión y/o eliminación de residuos.

Resistencias eléctricas dispuestas en el horno que se calientan por efecto Joule y ceden calor a la carga por las diversas formas de transmisión de calor se denominan hornos de resistencias.

HORNOS ELÉCTRICOS

Los hornos eléctricos tienen grandes ventajas para la fusión de los metales, siendo las más destacadas las siguientes:

- Pueden obtenerse temperaturas muy elevadas hasta de 3500°C en algunos tipos de hornos eléctricos.
- Puede controlarse la velocidad de elevación de temperatura, y mantener esta entre límites muy precisos, con regulaciones completamente automáticas.
- La carga queda por completo libre de contaminación del gas combustible.
- Puede controlarse perfectamente la atmósfera en contacto con la masa fundida, haciéndola oxidante o reductora a voluntad, e incluso en ciertos tipos de hornos puede operarse en vacío.

- Tienen mayor duración los revestimientos que en los demás tipos de hornos.
- Se instalan en espacio reducido.
- Su operación se realiza con mayor higiene que la de los hornos de otros tipos.

Los tipos fundamentales de hornos eléctricos son los que a continuación se indican.

Hornos eléctricos de arco

Los hornos eléctricos de arco están formados por una cuba de chapa de acero revestida de material refractario, provista de electrodos de grafito o de carbón amorfo.

El arco salta entre los electrodos por intermedio del baño, y aunque se construyen monofásicos, generalmente son trifásicos. Con los tres electrodos verticales dispuestos en los vértices de un triángulo equilátero. La cuba es cilíndrica, revestida con un material ácido o básico, que reposa sobre ladrillos sílico-aluminosos ordinarios. La bóveda esta revestida de ladrillos de sílice, que resisten temperaturas de hasta 1600°C, y es desplazable para facilitar la carga.

Hornos eléctricos de inducción

En los hornos eléctricos de inducción, el calor se genera por corrientes inducidas por una corriente alterna. Se distinguen tres clases de hornos de inducción:

Hornos de baja frecuencia.

En estos hornos el calor se produce por el efecto joule de la corriente inducida en el metal que se trata de fundir, que actúa como arrollamiento secundario de un transformador.

Los primeros modelos estaban formados por un crisol en forma de anillo que constituía la espira del secundario de un transformador, cuyo primario estaba conectado a la red. Pero en la actualidad están formados por un crisol cuyo fondo está en comunicación con un conducto circular, que forma la espira secundaria del transformador de inducción. El metal contenido en el conducto es el que se funde, desplazándose su masa y comunicando el calor al resto del material.

Hornos de alta frecuencia.

En los hornos de alta frecuencia el calor lo producen las corrientes de Foucault, ordinariamente consideradas como parásitas, inducidas en el metal, que actúa como núcleo de un solenoide o arrollamiento primario. Estos hornos están formados por un crisol refractario que contiene el metal, rodeado de un arrollamiento de tubo de cobre por el que circula una corriente de alta frecuencia, que crea un campo magnético variable, calentándose la masa de metal contenida en el crisol por las corrientes de Foucault inducidas por el campo magnético.

Hornos electrónicos.

En los hornos electrónicos el calor se produce por la vibración molecular del cuerpo que se trata de calentar cuando es sometido a un fuerte campo de radiaciones electromagnéticas de muy alta frecuencia (frecuencias de radio).

Hornos eléctricos de resistencia.

En los hornos eléctricos de resistencia, el calor está producido por el efecto Joule al circular una corriente eléctrica por una resistencia. Se pueden fabricarlas para ser usadas a temperaturas superiores a los 1800°C.

Hornos eléctricos de crisol. Estos hornos están formados por un crisol rodeado por cintas o varillas de aleaciones de níquel-cromo de alta resistividad que se calienta fuertemente al circular por ellas la corriente eléctrica.

Estos hornos sólo se emplean para fundir aleaciones de bajo punto de fusión, como las de soldadura, tipos de imprenta, aleaciones antifricción para cojinetes y aleaciones de aluminio.

Hornos eléctricos de tratamientos térmicos o de MUFLA.- Se construyen actualmente dos clases de hornos, de resistencia metálica y de resistencia de grafito. En los hornos eléctricos de resistencia metálica, se produce el calor al circular la corriente eléctrica por resistencias de aleación níquel–cromo de gran sección, alojadas en la bóveda del horno. Estos hornos se utilizan exclusivamente para aleaciones cuya temperatura de fusión sea inferior a 1000°C. Los hornos eléctricos de resistencia de grafito, están formados por una envuelta cilíndrica, por cuyo eje horizontal, pasa una barra de grafito, que se calienta al circular por ella la corriente eléctrica. Estos hornos son oscilantes, lo que permite bañar con el metal líquido todo el revestimiento refractario y aprovechar así, directamente, el calor acumulado por este. Estos hornos se emplean para fundiciones especiales y aleaciones de cobre a temperaturas que pueden llegar hasta los 1350°C.



Graf. 34. Horno Eléctrico de Resistencias del Lab. Materiales UTA
Fuente: Carlos Calderón

2.5. HIPÓTESIS

“La automatización del tiempo de control en los procesos del horno de mufla del laboratorio de materiales en la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, mantendrá la estabilidad térmica dentro de éste para realizar tratamientos térmicos del acero”.

2.6. Señalamiento de Variables

2.6.1. Variable Independiente

Tiempo de control en procesos del horno de mufla

2.6.2. Variable Dependiente

Tratamientos térmicos del acero

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN

El desarrollo de la investigación tiene un enfoque cualitativo y cuantitativo ya que se desarrolló preferente mediante datos numéricos con la utilización de entrevistas, observaciones y datos bibliográficos que facultaron estudiar los parámetros necesarios el aumento de precisión en el control de tiempos por medio de sistemas automáticos para la selección de temperaturas que se necesitan para realizar diferentes procesos en el horno. Y también se lo ha guiado como un aporte al crecimiento de conocimientos tecnológicos en la carrera de Ingeniería Mecánica.

Para argumentar esto la presente investigación contiene una modalidad de campo, porque se hacen un estudio sistemático de los hechos en el laboratorio de materiales. En esta modalidad el investigador toma contacto en forma directa con la realidad, para obtener información de acuerdo con los objetivos del proyecto.

Con la modalidad de la investigación documental bibliográfica se pudo detectar, ampliar y profundizar diferentes enfoques, teorías, conceptualizaciones y criterios de diversos autores sobre el problema.

También se utilizó la modalidad experimental facilitando el estudio en el que se manipulan ciertas variables independientes para observar los efectos en las respectivas variables dependientes, con el propósito de precisar la relación causa-efecto que se produjo en esta investigación.

Y por tal razón la investigación científica ayudó en este proyecto en la actividad de búsqueda mediante un proceso caracterizado por ser reflexivo, sistemático y metódico; con la finalidad obtener conocimientos y solucionar problemas científicos, filosóficos o empírico-técnicos.

3.2. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

El nivel de la investigación se situó en la fase exploratoria por ser un problema poco conocido por el investigador, ayudando al planteamiento del problema.

También se utilizó el método inductivo ya que este hace referencia al estudio o investigación. Llegando al nivel deductivo que parte de las leyes generales a las leyes secundarias para ser extraídas y estudiadas con la finalidad de propender la búsqueda del conocimiento científico.

La investigación también se enfocó en la fase analítica porque se extrajo las partes de un todo, con la finalidad de estructurar y analizar más detenidamente el tema en estudio.

Y finalmente se utilizó el método descriptivo porque se buscó de forma inmediata las características esenciales y accidentales de la investigación que se realizó.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

En la presente investigación la población o universo, está comprendida por profesores encargados que imparten la materia de “Procesos de Manufactura” y su respectivo ayudante que son responsables del laboratorio de materiales perteneciente a la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato durante el periodo septiembre – febrero de 2010 con un universo de tres personas.

A pesar que los estudiantes también tienen acceso y utilizan el horno de mufla, correspondiendo a un universo promedio de 25 personas, para los datos que se quiere investigar únicamente se toman en cuenta a los profesores encargados y al actual ayudante de laboratorio ya que ellos están permanentemente en uso de los equipos.

Adicionalmente se realizarán tres ensayos de tratamientos térmicos y tres mediciones de una temperatura seleccionada a diferentes tiempos para tener una toma de muestras consistente para la posterior verificación de la hipótesis.

3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.4.1. Variable Independiente

Tiempos de control en los procesos (Cuadro N° 4)

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
El control de tiempos abarca la instrumentación industrial, los sistemas de control y supervisión, los sistemas de transmisión y recolección de datos y las aplicaciones de software en tiempo real para supervisar y controlar las operaciones de plantas o procesos industriales. Una computadora puede adquirir datos vía un hardware especializado y luego esa información transmitirla hacia un equipo vía su puerto serial.	Software de control de operaciones	¿Cómo cree usted que se podrá recoger mejor los datos generados con un sistema de control de tiempos?	Manualmente, Por computadora	Entrevista: Cuestionario
	Control de tiempos	¿Qué dispositivo de control cumple con los requerimientos para el manejo de temperaturas y tiempos del horno de mufla?	PLC, Field Point, Microcontrolador	Bibliográfica: Libros, internet
	Visualización	¿Qué software de programación se utilizaría para controlar los tiempos de permanencia para los tratamientos térmicos?	Labview, Visual Basic, C.	Bibliográfica: Libros, internet
		¿Qué datos se necesita visualizar en la pantalla del software de control durante o después del proceso realizado?	Temperatura, tiempo de permanencia, proceso.	Entrevista: Cuestionario
		¿Cuál es el dispositivo adecuado para la visualización de la temperatura en el horno de mufla?	Indicador analogico, LCD, display matricial led.	Bibliográfica: Libros, internet

	Control de lazo cerrado	¿Qué tipo de control de temperatura es el adecuado para operar el horno de mufla?	ON / OFF, PID	Bibliográfica: Libros, internet
	Distancia	¿Qué distancia debe recorrer el cable de transmisión de datos desde el horno hasta la pc?	Longitud.	Observación: De Campo
	Sistemas de transmisión de datos.	¿Cuál es la interfaz de comunicación más idónea para la transmisión de datos en este sistema?	Transmisión RS232, USB, RS485.	Bibliográfica: Libros, internet
	Termopar	¿Qué tipo de termocupla es el más apropiado para el uso en el horno de mufla?	Tipo K, Tipo J, Tipo B, Tipo S, Tipo R.	Bibliográfica: Libros, internet
	Acondicionamiento	¿Qué tipo de acondicionador de termocuplas se debe usar en la interfaz de control?	Analógico, digital.	Bibliográfica: Libros, internet
	Ubicación	¿En qué lugar hay las condiciones necesarias para ubicar una nueva interfaz de control?	En el horno, Separado del horno	Observación: De Campo

Elaborado por: Carlos Calderón
Fuente: Categorías Fundamentales

3.4.2. Variable Dependiente

Tratamientos térmicos del acero (Cuadro N° 5)

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
El tratamiento térmico en el acero es uno de los pasos fundamentales para que pueda alcanzar las propiedades mecánicas para las cuales esta creado. La clave de los tratamientos térmicos consiste en las reacciones que se producen en el material, y ocurren durante el proceso de calentamiento y enfriamiento de las piezas, con unas pautas o tiempos establecido	Tratamientos térmicos del acero en el horno de mufla.	¿Qué tipos de tratamientos térmicos del acero se realiza en el horno de mufla?	Temple, revenido, normalizado, cementado, Austempering, ensayo jominy.	Entrevista: Cuestionario
	Temperaturas de operación del horno	¿Cuáles son las temperaturas utilizadas regularmente en las probetas para tratamientos térmicos en el horno de mufla?	Para cada tratamiento térmico	Entrevista: Cuestionario
	Normalización y especificaciones para tratamientos térmicos	¿Bajo qué especificaciones o normas se sustenta la realización de tratamientos térmicos?	Especifique la norma generalmente usada.	Entrevista: Cuestionario
	Aceros para tratamientos térmicos	¿Qué tipos de aceros se utilizan en los tratamientos térmicos en el laboratorio de materiales?	AISI 1018, 1020, 1040, 1045, 4337, 4340.	Entrevista: Cuestionario
	Propiedades mecánicas del acero.	¿Qué reacciones se buscan conseguir en el acero térmicamente tratado?	Microestructura, propiedades mecánicas.	Bibliográfica: Libros, internet

	Dimensiones	¿Qué dimensión tienen las probetas usadas comúnmente para ensayos de tratamientos térmicos en el horno de mufla?	Longitud, diámetro.	Entrevista: Cuestionario
	Funcionamiento	¿Cuántos ensayos de tratamientos térmicos se realizan durante el semestre en el laboratorio de materiales?	Total de ensayos de tratamientos térmicos	Entrevista: Cuestionario

Elaborado por: Carlos Calderón
Fuente: Categorías Fundamentales

3.5. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

En la presente investigación se recogió la información mediante las siguientes técnicas.

Observación: Directa, de laboratorio, de campo y una investigación bibliográfica; todo esto mediante la utilización de instrumentos como documentos físicos y digitales.

También en el proceso de recopilación de datos se utilizaron instrumentos apropiados para ser aplicados a Docentes y ayudantes del laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, utilizando la técnica de la entrevista y como instrumento se aplicó el cuestionario.

Para concretar la descripción del plan de recolección de información conviene contestar las siguientes preguntas:

PREGUNTAS BÁSICAS	EXPLICACIÓN
1. ¿Para qué?	Para alcanzar los objetivos de la investigación y verificar la hipótesis planteada
2. ¿De qué personas u objetos?	Horno de mufla perteneciente al laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.
3. ¿Sobre qué aspectos?	Tratamientos térmicos del acero y automatización del sistema de control.
4. ¿Quién? ¿Quiénes?	Carlos Calderón
5. ¿Cuándo?	Periodo febrero – julio 2010
6. ¿Dónde?	Universidad Técnica de Ambato
7. ¿Cuántas veces?	Una vez
8. ¿Qué técnicas de recolección?	Observación de campo, entrevista
9. ¿Con qué?	Cuaderno de notas, bibliografía, cuestionario
10. ¿En qué situación?	En ambientes favorables

Cuadro N° 6

Elaborado por: Carlos Calderón

3.6. PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Para estructurar la propuesta es necesario contar con los elementos básicos que se obtienen al recopilar y procesar la información recogida de los datos bibliográficos y las fichas de campo o cuaderno de notas ya que estos permiten validar la hipótesis, y para aplicarlo se siguieron diversos procedimientos como son:

- Diseño y elaboración de un cuestionario sobre la base de la matriz de la operacionalización de las variables.
- Revisión crítica de la información recogida.
- Tabulación de los cuadros de resultados según las variables de la hipótesis
- Estudio de los datos para la presentación de resultados.

CAPITULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Para la presente investigación se tomaron principalmente los datos recogidos por la entrevista realizada y por los documentos y notas basadas en los datos bibliográficos y para esto se siguieron los siguientes pasos:

- Interpretación de los resultados, con el apoyo del Marco teórico destacando la tendencia de acuerdo a los objetivos y la hipótesis o propuesta.
- Comprobación de Hipótesis.
- Establecimiento de conclusiones y recomendaciones.

En éste capítulo no se podrá realizar un análisis de los resultados ya que solo se realizó una entrevista para averiguar algunos parámetros necesarios para la investigación.

4.2. INTERPRETACIÓN DE DATOS

A continuación se presentan las interpretaciones de cada pregunta realizada en el cuestionario, pero no se podrá realizar un análisis por haberse realizado únicamente una entrevista directa para aclarar ciertos puntos de interés, por lo cual solo se interpretan las respuestas dadas en ésta para fortalecer aciertos de la implementación que se quiere realizar y superar debilidades que se puedan presentar en el transcurso de la investigación o están presentes actualmente.

INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS EN LA ENTREVISTA DIRIGIDA A DOCENTES Y AYUDANTE DEL LABORATORIO DE MATERIALES:

PREGUNTA N° 1

¿Cómo cree usted que se podrá recoger mejor los datos generados con un sistema de control de tiempos?

Manualmente ____

Por computadora ____

De acuerdo a la entrevista realizada se logro precisar que todos los entrevistados prefieren para la utilización del horno un sistema de control de tiempos que sea comandado o dirigido por computadora.

Interpretación:

Por la respuesta dada en la entrevista se puede concluir que el sistema de control de tiempos que se pretende realizar debe ser por computadora por las facilidades de visualización y por la ayuda que presentaría para la enseñanza de los tratamientos térmicos en el laboratorio y la realización de informes por parte de los estudiantes.

También se puede precisar en las respuestas obtenidas que se prefiere una interacción con la computadora para mejorar la imagen del nuevo laboratorio que va a contar la carrera de Ingeniería Mecánica.

Y finalmente la última respuesta dada hace alusión al desarrollo tecnológico e investigativo que siempre se debe dar en todas las carreras para mejorar el crecimiento personal y profesional para aportar con estos conocimientos a la sociedad.

PREGUNTA N° 2

¿Qué datos se necesita visualizar en la pantalla del software de control durante o después del proceso realizado?

Temperatura, tiempo de permanencia, proceso.

Interpretación:

De acuerdo a la respuesta dada en la entrevista, se necesita una visualización de tiempo y temperatura del proceso que se está realizando, presentando con esto una gráfica temperatura vs tiempo que permitirá controlar el horno de una manera más fácil y rápida, y adicionalmente ayudará a los estudiantes a realizar su informe con mayor precisión al recoger los datos entregados por la computadora.

Adicionalmente se expresó que se requiere que los datos de visualización en la pantalla sean principalmente la temperatura del horno y una gráfica de temperatura vs tiempo o llamado también diagrama térmico para tener una idea más clara del proceso que se está realizando.

Por último se indico que se desearía también una visualización del nombre del tratamiento térmico que se está realizando, pero cabe recalcar que esto dependerá si siempre se manejarían las mismas probetas, porque podría surgir una imprecisión al seleccionar otras temperaturas para otros tipos de probetas.

PREGUNTA N° 3

¿Qué tipos de tratamientos térmicos del acero se realiza en el horno de mufla?

Temple ___ Revenido ___ Normalizado ___ Cementado ___
Austempering ___ Ensayo Jominy ___

Interpretación:

Cuando se pregunto sobre los tipos de tratamientos térmicos del acero que se realizan en el horno de mufla se observó que todos los ítems expuestos en el cuestionario se realizan en el laboratorio de materiales durante el semestre.

Para interpretar ésta interrogante de la investigación se basó en los datos suministrados por docentes y ayudantes del Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica donde se informó que los tratamientos térmicos del acero que se han realizado hasta el momento son prácticamente los más comúnmente conocidos como el Bonificado, Normalizado, Cementación, Austempering y ensayo Jominy; siendo las prácticas que se realizan en el laboratorio muy completas ya que abarca prácticamente todos los tratamientos térmicos utilizados en la industria para la producción de herramientas, maquinaria, productos de uso domestico, etc.

Además de todos estos tratamientos térmicos se indico que realizan también recocidos de regeneración, de contra acritud, de alivio de tensiones y recocido de globulización.

PREGUNTA N° 4

¿Cuáles son las temperaturas utilizadas regularmente en las probetas para tratamientos térmicos en el horno de mufla?

Interpretación:

Las respuestas sobre las temperaturas de operación para cada tratamiento térmico fueron que para el temple se llega hasta los 827 °C, para el revenido se lo hace hasta los 400 °C, mientras tanto para que el normalizado sea efectivo la temperatura alcanza los 845 °C, también se pudo observar que para los tratamientos termoquímicos como el cementado se utiliza una temperatura de 900 °C, como para el Austempering una de 877 °C, en cambio para el ensayo jominy la norma ASTM A225-48T indica que se debe trabajar a 850 °C.

También se precisó que en cuanto a las temperaturas de operación que se manejan para los tratamientos térmicos en el horno de mufla del laboratorio de materiales de la carrera de Ingeniería Mecánica se concluye que de acuerdo a las especificaciones técnicas para los tratamientos térmicos, basándose en el tamaño de las probetas y al porcentaje de carbono del acero a tratar, opera regularmente hasta un máximo de 900 °C, siendo inferior al rango de operación del horno de mufla que es desde la temperatura ambiente hasta máximo 1200 °C, pero con la finalidad de alargar su vida útil se debe restringir el ingreso de temperatura a un máximo de 1000 °C.

PREGUNTA N° 5

¿Bajo qué especificaciones o normas se sustenta la realización de tratamientos térmicos?

Interpretación:

De la respuesta dada se puede indicar que las especificaciones básicas en las que se apoya la realización de tratamientos térmicos se encuentran en diversos textos de autores que han realizado estudios e investigaciones para recomendar datos técnicos, y también se basa en referentes como las normas INEN.

Para referirse a las especificaciones básicas en las que se apoya la realización de tratamientos térmicos se puede definir que se encuentran sustentados en los ensayos y normalizaciones de la American Society of Testing and Materials, Society Automotives Enginiers, American Iron and Steel Institute y para la interpretación de las microestructuras que se produce se basa en el “Metal Hand Book”.

Para terminar, la última respuesta hace referencia que se utilizan prácticamente las recomendaciones dadas por ciertos autores de materiales bibliográficos que bajo cientos de investigaciones que han realizado presentan varios parámetros para conseguir las estructuras moleculares deseadas.

PREGUNTA N° 6

¿Qué tipos de aceros se utilizan en los tratamientos térmicos en el laboratorio de materiales?

AISI 1018 ____ AISI 1020 ____ AISI 1040 ____ AISI 1045 ____
AISI 4337 ____ AISI 4340 ____

Interpretación:

Siguiendo con la interpretación de los datos consultados se puede deducir que para el análisis y tratamientos térmicos del acero en el laboratorio de materiales se utilizan aceros que básicamente se acomoden a las necesidades de templabilidad, y dependiendo del tratamiento generalmente se utilizan aceros AISI 1018 o 1020 para cementación debido a su bajo contenido de carbono, y aceros con más contenido de carbono como el AISI 1045 para bonificado, normalizado o austempering y bajo la norma ASTM designación A255-48T para el ensayo jominy se especifica que se debe usar un acero 4340, en este caso se debe acomodar a los aceros que se comercializan regularmente en el mercado, encontrando un acero AISI 4337.

Con los entrevistados se pudo averiguar que se utilizan aceros que básicamente se acomoden a las necesidades de templabilidad, y dependiendo del tratamiento térmico generalmente se utilizan en el horno de mufla los aceros AISI 1018, 1045 y 4337 conocido como 705 además del acero DF2.

PREGUNTA N° 7

¿Qué dimensión tienen las probetas usadas comúnmente para ensayos de tratamientos térmicos en el horno de mufla?

Interpretación:

Las probetas de acero que se utilizan para los tratamientos térmicos en el horno de mufla tienen una dimensión de $\frac{3}{4}$ de pulgada de diámetro por 20 milímetros de alto, a diferencia del ensayo Jominy que sus medidas se basan en la norma ASTM bajo la designación A 255-48T.

Finalmente para guiarse en los rangos de temperaturas que se deben escoger en el diagrama Fe-C las probetas de acero que se utilizan para los tratamientos térmicos tienen una dimensión de $\frac{3}{4}$ de pulgada de diámetro por 20 milímetros de alto, ya que siempre se hace referencia a la permanencia en el horno por cada pulgada de espesor, tomando en cuenta que para el ensayo Jominy sus medidas según la norma ASTM tiene una dimensión de 1 pulgada de diámetro por 4 pulgadas de alto.

PREGUNTA N° 8

¿Cuántos ensayos de tratamientos térmicos se realizan durante el semestre en el laboratorio de materiales?

Interpretación:

En la entrevista que se realizó se pudo precisar que en lo que va de la investigación en el periodo marzo-septiembre de 2011 solo se han realizado 5 ensayos en el curso de procesos de manufactura, pero en base a declaraciones recogidas se manifestó que regularmente se realizan 20 prácticas.

Con esto se puede evidenciar que no se esfuerza demasiado al horno de mufla durante el semestre pudiendo realizarse un mantenimiento ligero cada semestre para descartar cualquier daño por el desgaste normal de sus componentes.

DATOS OBTENIDOS DE LAS OBSERVACIONES

Respecto a los datos obtenidos mediante observación se pudo precisar respecto a la distancia que debe recorrer el cable de datos desde el horno hacia la computadora es de 8 metros.

Lo que indica que esta dentro de la distancia de transmisión del RS232 que es de 15 metros, dando así la confianza necesaria para utilizar este sistema.

También se puede indicar que el lugar más indicado para colocar el sistema de control es en la parte inferior del horno.

Esto se concluyó ya que se observó que en la parte inferior frontal del horno de mufla existe el espacio suficiente y las condiciones ambientales necesarias como para garantizar el buen funcionamiento del aparato y adicionalmente también porque estéticamente se armonizaría con el horno.

INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS DE LA INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

SELECCIÓN DEL DISPOSITIVO ELECTRÓNICO DE CONTROL

Para apoyar la selección del dispositivo de control se presenta a continuación una comparación entre distintos dispositivos para precisar el que mejor se adapta a las necesidades que se presentan para el control del horno, entre ellos los más populares como son los PLC, Field Point y microcontrolador.

Cuadro N° 7 Dispositivos de Control

Ítem	Microcontrolador PIC	PLC	FieldPoint
Precio	Bajo	Alto	Alto
Tamaño	Poco espacio	Considerable espacio	Considerable espacio
Disponibilidad	Alto	Regular	Bajo
Software	Libre	Propio	Propio
Precisión	Alto	Alto	Alto
Reparación	Si	No	No
Autonomía	Si	Si	No

Elaborado por: Carlos Calderón
Fuente: Marco Teórico

Como se puede observar la utilización de un microcontrolador PIC facilita la construcción, programación y comunicación con otras herramientas como la computadora con un menor costo y, gracias a su gran variedad, con igual o mayor precisión que los otros aparatos.

TERMOCUPLA

Por las condiciones técnicas que presentan cada tipo de termocuplas y guiándose en el marco teórico se puede asegurar que el termopar que más se acopla a los requerimientos del horno de mufla es la termocupla tipo “K”. Además de la disponibilidad en el mercado nacional.

Todo esto guiándose en base a los cuadros 1, 2 y 8 respectivamente.

A continuación se presenta un cuadro donde se indica los diferentes rangos de los termopares más utilizados en la industria.

Cuadro N° 8 Propiedades de Termocuplas

Material de unión	Rango típico (°C)	Sensibilidad ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)	Designación
Pt6%/Rodio – Pt30%/Rodio	38 a 1800	7.7	B
Tg(5%)/Renio – Tg(26%)7Renio	0 a 2300	16	C
Cromo – Constatan	0 a 928	76	E
Hierro – Constatan	0 a 760	55	J
Cromo – Aluminio	-184 a 1260	39	K
Pt(13%)/Rodio – Pt	0 a 1593	11.7	R
Pt(10%)/Rodio – Pt	0 a 1538	10.4	S
Cobre - Constatan	-184 a 400	45	T

Elaborado por: Carlos Calderón
Fuente: Marco Teórico

ACONDICIONADOR DE TERMOCUPLA

Para la transformación y medición de la temperatura que se encuentra en el horno tomada a través de una termocupla tipo K se debe utilizar un acondicionador que cuente con las características necesarias para amplificar y transmitir sus datos al circuito de control, y basándose en el marco teórico se determino los siguientes datos.

Cuadro N° 9 Acondicionadores de Termocuplas

	ANALÓGICO	DIGITAL
Estabilidad al ruido	NO	SI
Amplificación	SI	SI
Transformación	NO	SI
Compensación	NO	SI

Elaborado por: Carlos Calderón
Fuente: Marco Teórico

Del cuadro anterior se concluye que se debe usar un acondicionador de termocuplas digital para evitar errores de transformación y facilitar la realización del circuito de control.

INTERFAZ DE VISUALIZACIÓN

Gracias a las investigaciones realizadas se puede deducir que la forma más rápida y fácil de observar una temperatura es a través de su presentación digital de los números en un display led. Adicionalmente que esto ayudaría en gran medida al control de la temperatura que se presenta en el horno de mufla.

Cuadro N° 10 Tipos de Visualizadores

	Indicador analógico	LCD	Matriz Led
Visualización	Medio	Medio	Alto
Precisión en presentación	Bajo	Alto	Alto
Apariencia	Regular	Buena	Buena
Vulnerabilidad	Baja	Alta	Baja
Estabilidad en ambientes	Buena	Regular	Buena

Elaborado por: Carlos Calderón
Fuente: Marco Teórico

En conclusión gracias a la comparación realizada entre los tres tipos de visualizadores disponibles la mejor opción es la utilización de un display matricial led.

INTERFAZ DE COMUNICACIÓN ENTRE EL SISTEMA DE CONTROL Y LA COMPUTADORA

Basándose en las referencias bibliográficas y en las experiencias prácticas de varios autores y realizadores de proyectos electrónicos la interfaz que mejor responde específicamente para este sistema es la comunicación serial para transmitir los datos de control.

Cuadro N° 11 Normas de Comunicación

	RS232	USB	RS485
Distancia	15 m	5 m	1200 m
Perturbación de ruido	Media	Baja	Baja
Disponibilidad	Media	Alta	Baja
Compatibilidad	Media	Alta	Baja
Tasa de transferencia	Baja	Alta	Alta

Elaborado por: Carlos Calderón
Fuente: Marco Teórico

El cuadro anterior sirve como referencia de comparación entre las interfaces de comunicación más usadas que sirvió para decidir a la cual se implementó en el dispositivo de control.

SOFTWARE DE CONTROL

De la fundamentación teórica y observación que se efectuó podemos deducir que para realizar un control de tiempos de permanencia adecuado la forma más sencilla y efectiva es la utilización de un software de control especializado como se muestra en el siguiente cuadro de comparación.

Cuadro N° 12 Lenguajes de Programación

	LabView	Visual Basic	Lenguaje C
Nivel de Conocimientos	Bajos	Medios	Altos
Programación	Fácil	Media	Complicada
Lenguaje	Gráfica	Textual	Textual
Lectura de Puertos	Si	Si	Si
Manejo por los Estudiantes	Alto	Medio	Bajo
Prediseñado para Control	Si	No	No

Elaborado por: Carlos Calderón
Fuente: Marco Teórico

En conclusión, Labview de National Instruments es la opción más acertada ya que utiliza una programación de tipo gráfica y por lo tanto más sencilla, además que

ha sido diseñada específicamente para el control industrial. Con un adicional de que los estudiantes utilizan esta herramienta con mayor frecuencia para desarrollar sus proyectos durante la carrera.

FUNCIÓN MATEMÁTICA DE CONTROL

De acuerdo a las investigaciones realizadas, para un control de temperaturas más exacto se debe utilizar un método que calcule los tiempos en que se demora en llegar al valor seleccionado y lo regule para estabilizarlo, y esto se logra gracias a un control proporcional integral derivativo. A continuación se describe diversas propiedades tomadas de la investigación bibliográfica en un cuadro donde se compara entre un control on/off que normalmente se utiliza en la mayoría de instrumentos y un control PID, el cual se lo va a utilizar en el nuevo sistema de control.

Cuadro N° 13 Diferencias entre ON/OFF y P.I.D

	ON / OFF	P.I.D.
Estabilidad térmica	Baja	Alta
Rapidez de Respuesta	Alta	Media
Autocorrección del error	No	Si
Dificultad de cálculo	Baja	Alta

Elaborado por: Carlos Calderón
Fuente: Marco Teórico

La obtención de estos datos se lo ha obtenido de la investigación teórica que se ha realizado y por esta razón en conclusión se ha escogido el control Proporcional Integral Derivativo para manejar el sistema, por los beneficios que presenta en la estabilización de temperaturas.

4.3. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

“La automatización del tiempo de control en los procesos del horno de mufla del laboratorio de materiales en la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, mantendrá la estabilidad térmica dentro de éste para realizar tratamientos térmicos del acero”

El uso de un instrumento electrónico de control para regular los tiempos en los procesos térmicos que se realizan en el horno de mufla muestra grandes ventajas en cuanto a la visualización y manejo del horno y mejora notablemente la estabilidad térmica dentro del mismo, además que facilita la utilización de éste, lo que muestra que implementar este sistema es la opción más adecuada para el uso en un laboratorio.

Adicionalmente se puede interpretar que mediante la implementación tanto de la interfaz de medición y control para la adquisición de datos mejora la exactitud con la que se aprecia la temperatura interna pudiendo manejar al antojo del usuario mediante el software de control industrial para la programación del horno en los procesos de tratamientos térmicos que se desean realizar con mayor estabilidad.

Todo esto se ha podido verificar gracias a las pruebas que se han realizado en el horno mediante mediciones que se han tomado a una temperatura establecida, en este caso a 100 °C por cuestiones de seguridad y facilidades de manipulación, y a diferentes intervalos de tiempo.

Además de tres tratamientos térmicos que se realizaron con el actual sistema para su posterior comparación de resultados.

A continuación se presentan los datos estadísticos obtenidos durante la medición de las pruebas realizadas en el horno de mufla del laboratorio de materiales y los resultados de los tratamientos térmicos realizados.

MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA CON EL SISTEMA DE CONTROL ANALÓGICO ACTUAL A UN SET POINT DE 100 °C.

Cuadro N° 14 Primera medición

Lugar: Laboratorio de Materiales		
Fecha: 15/01/2011	hora: 10:00 am	Ta: 21°C
Investigador: Carlos Calderón		
Objeto de Evaluación: Horno de Mufla		
	TIEMPO DE MEDICIÓN [min]	TEMPERATURA MEDIDA [°C]
1	02	88
2	04	86
3	06	90
4	08	88
5	10	82
6	12	81
7	14	84
8	16	83
9	18	83
10	20	82
11	22	82
12	24	84
13	26	86
14	28	88
15	30	89

Elaborado por: Carlos Calderón

Para tener una mejor percepción estos datos se representa gráficamente:

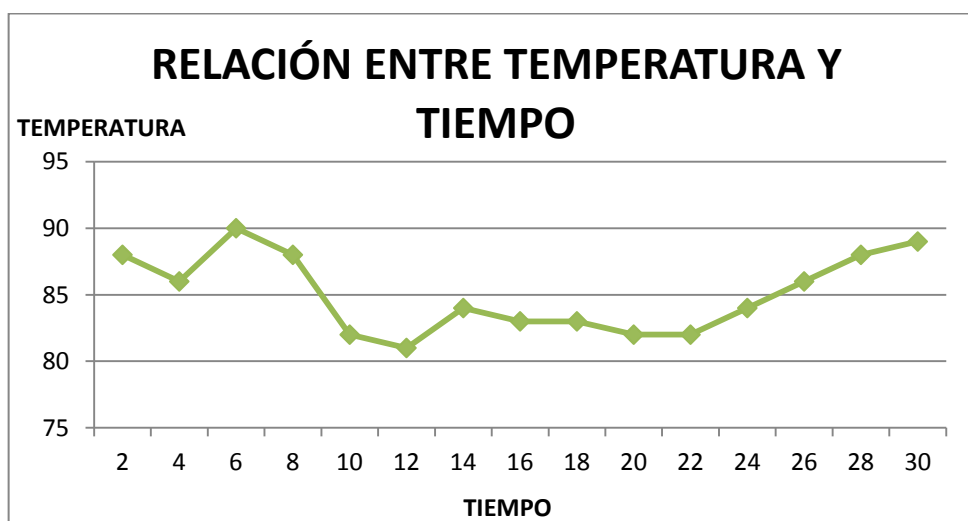


Gráfico N° 35. Primera medición con el Sistema de control analógico
Elaborado por: Carlos Calderón

Con estos datos obtenidos se procede a calcular una media de operación del horno para luego compararla con el otro sistema de control y así poder determinar la exactitud que existe entre estos, lo que corresponde a 85.0667 °C.

Adicionalmente se realizaron más pruebas para sustentar los datos obtenidos, teniendo los siguientes resultados.

Cuadro N° 15 Segunda medición

Lugar: Laboratorio de Materiales		
Fecha:15/01/2011	hora: 10:35 am	Ta: 21°C
Investigador: Carlos Calderón		
Objeto de Evaluación: Horno de Mufla		
	TIEMPO DE MEDICIÓN [min]	TEMPERATURA MEDIDA [°C]
1	02	90
2	04	90
3	06	88
4	08	88
5	10	88
6	12	85
7	14	84
8	16	83
9	18	83
10	20	82
11	22	82
12	24	84
13	26	88
14	28	89
15	30	89

Elaborado por: Carlos Calderón

Para tener una mejor percepción estos datos a continuación se representan gráficamente:

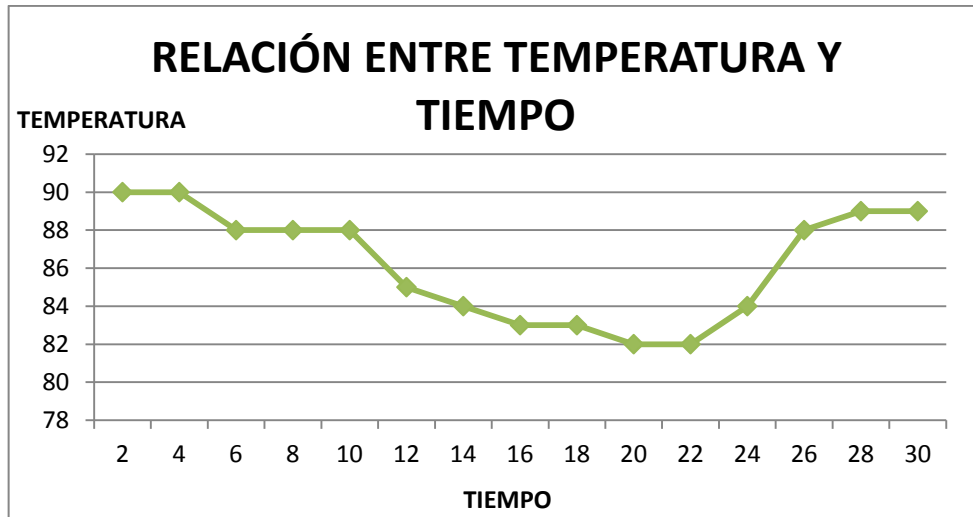


Gráfico N° 36. Segunda medición con el Sistema de control analógico
Elaborado por: Carlos Calderón

Teniendo así un promedio de temperaturas medidas en el horno de 86.2°C.

Y finalmente con la última medición que se realizó se obtuvo los siguientes datos.

Cuadro N° 16 Tercera medición

Lugar: Laboratorio de Materiales		
Fecha: 15/01/2011	hora: 11:10 am	Ta: 21°C
Investigador: Carlos Calderón		
Objeto de Evaluación: Horno de Mufla		
	TIEMPO DE MEDICIÓN [min]	TEMPERATURA MEDIDA [°C]
1	02	91
2	04	90
3	06	90
4	08	88
5	10	88
6	12	85
7	14	84
8	16	83
9	18	83
10	20	84
11	22	88
12	24	88
13	26	90
14	28	90
15	30	94

Elaborado por: Carlos Calderón

Para tener una mejor percepción estos datos se representan gráficamente:

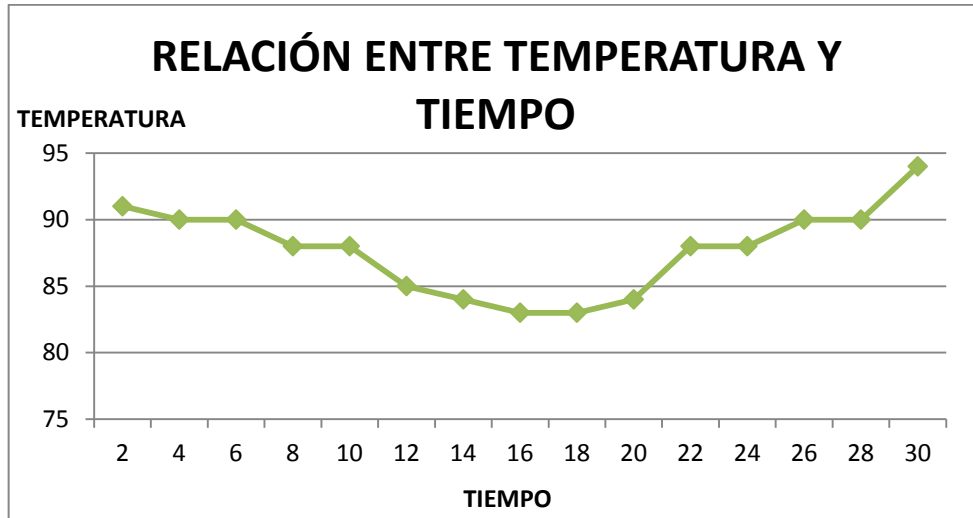


Gráfico N° 37. Tercera medición con el Sistema de control analógico
Elaborado por: Carlos Calderón

Teniendo así una temperatura promedio en ésta medición de 87.73°C, lo que evidencia que en las tres mediciones ninguna llega a alcanzar el punto establecido de temperatura siendo la temperatura promedio de trabajo en total de 86.3 °C, con lo que se hace evidente la necesidad de un sistema de control de tiempos y temperatura más confiable.

Cabe recalcar que todas estas mediciones se realizaron con instrumentos específicos para estas operaciones, en este caso un pirómetro digital marca Philips KS 40.



Gráfico N° 38. Pirómetro digital Philips KS 40.
Elaborado por: Carlos Calderón

Para la medición de la temperatura se colocó el sensor dentro del horno, como lo muestra el siguiente gráfico.



Gráfico N° 39. *Sensor de Temperatura del Pirómetro Philips KS 40.*
Elaborado por: Carlos Calderón

Pruebas de Tratamientos Térmicos del Acero.

Una vez realizadas las mediciones en el horno se procedió a efectuar dos tratamientos térmicos bonificado de un acero AISI 1045 para analizar sus microestructuras y tener datos antes del funcionamiento del nuevo sistema de control propuesto.


Para esto se tomó una muestra de acero AISI 1045 de $\frac{3}{4}$ de pulgada de diámetro por 20 centímetros de alto al que se le realizó un ensayo metalográfico y adicionalmente un ensayo de dureza.

A continuación se indican los resultados obtenidos en las pruebas realizadas a las probetas. Los detalles de cada paso efectuado para cada tratamiento térmico se indican posteriormente en la propuesta.

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

ENSAYO METALOGRAFICO ACERO AISI 1045 TEMPLADO

CUADRO N° 17

DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo N°	01
Identificación del Componente de estudio:			Probeta N° 01
Material Analizar:	Acero AISI 1045	Dimensiones:	Diámetro: 19,5mm, Alto: 20mm
Solicitado por:	UTA – FICM	Fecha:	2011/06/29
Centro de Análisis:	Laboratorio de Materiales UTA- FICM		
Lugar:	Campus Universitario UTA / sector Huachi Chico		
Realizado por:	Carlos R. Calderón		
PARÁMETROS PARA EL ENSAYO METALOGRAFICO:			
Acondicionamiento de la Superficie:			Pulido
Tratamiento Térmico realizado:	Templado	Temperatura temple:	827 °C
Ataque químico de la superficie:	PICRAL	Tiempo permanencia:	30 minutos
RESULTADO:			
MICROESTRUCTURA ACERO AISI 1045 TEMPLADO AUMENTO 100 X			
			
Gráfico N° 40. Acero AISI 1045 templado (100X)			
Fuente: lab. Metalografía UTA-FICM			

Elaborado por: Carlos Calderón

DETERMINACIÓN DE LOS COMPONENTES MICROESTRUCTURALES

CUADRO N° 18

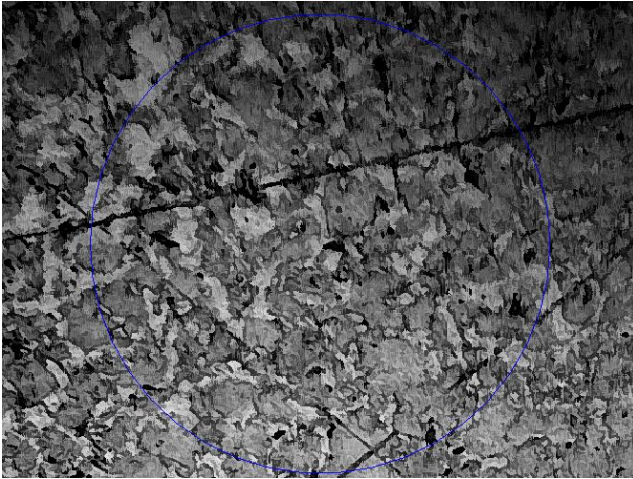
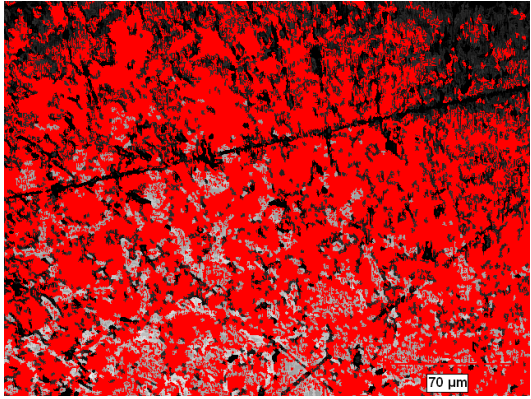
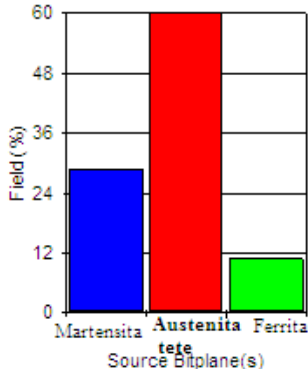
EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:	
Estipulación del tamaño de grano:	MICROESTRUCTURA:
Procedimiento (ASTM E 112):	
Planimétrico	
Cálculo método jeffries:	
<p>Para área de 500mm² $f = 0.0002 * M^2$; $f = 8$ $NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right)$ $NA = 8 \left(40 + \frac{24}{2} \right)$; NA= 416 $G = (3.321918 * \log NA) - 2.954$ $G = 5.746$</p>	
Tamaño de grano:	5.75
Componentes:	Porcentajes:
	 <p style="text-align: center;">Martensita= 28.8% ; Austenita retenida=59.9% ; ferrita= 10.8%</p>

Gráfico N° 41. Porcentaje de constituyentes acero AISI 1045 Templado (200X)

Fuente: lab. Metalografía UTA-FICM

Realizado por: Carlos Calderón

ENSAYO DE DUREZA

CUADRO N° 19

ESTIMACION DE LA DUREZA ROCKWELL C
RESULTADOS:
Medición de dureza Rockwell C= 59.5, 55, 58, 57, 61, 60.5, 61.8, 59, 62, 63.5
HRC= 59.73

El análisis realizado a un acero templado AISI 1045 de la fábrica BHÖLER en el laboratorio de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, a una magnificación de 200x se puede observar que no se formó martensita en las cantidades esperadas más bien se aprecia muy poca martensita dentro de una matriz de austenita retenida lo que posiblemente se pudo deber a una falta de permanencia en el horno o a la severidad del medio de enfriamiento.

Además se realizó el análisis en el durómetro perteneciente a la Facultad de Ingeniería Mecánica donde se demuestra un incremento de dureza del promedio obtenido en la probeta sin tratamiento alguno que es de 23.15 HRC, a la probeta templada que es de 59.73 HRC, comprobando que se realizó el cambio de propiedades mecánicas pero no al nivel que se esperaba.

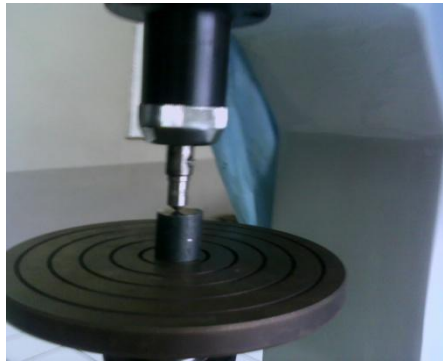


Gráfico Nº 42. Medición de dureza Rockwell C acero AISI 1045 Templado

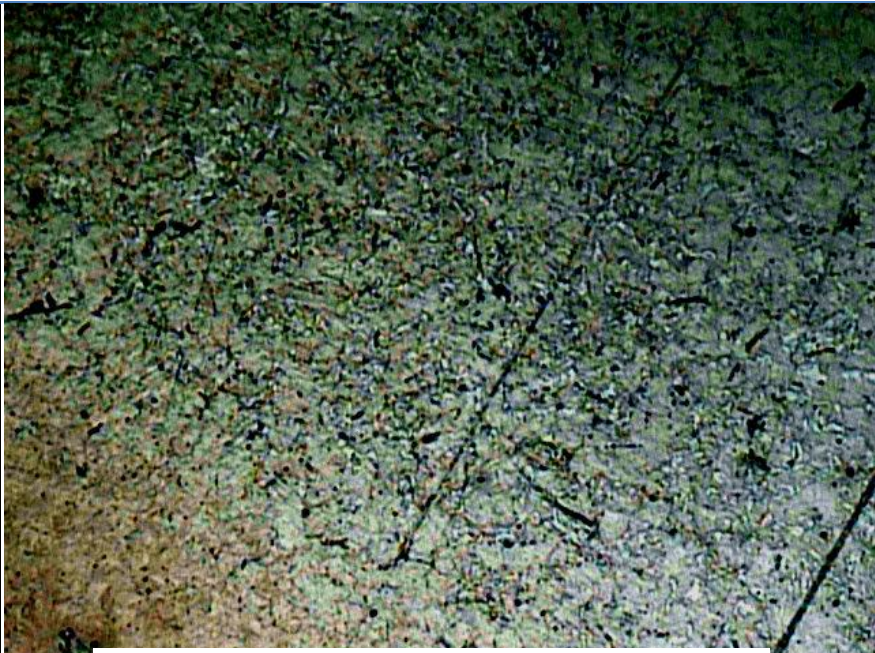
Fuente: lab. Metalografía UTA-FICM

Elaborado por: Carlos Calderón

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

ENSAYO METALOGRAFICO ACERO AISI 1045 REVENIDO

CUADRO N° 20

DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo N°	02
Identificación del Componente de estudio:			Probeta N° 01
Material Analizar:	Acero AISI 1045	Dimensiones:	Diámetro: 19,5mm, Alto: 20mm
Solicitado por:	UTA – FICM	Fecha:	2011/06/29
Centro de Análisis:	Laboratorio de Materiales UTA- FICM		
Lugar:	Campus Universitario UTA / sector Huachi Chico		
Realizado por:	Carlos R. Calderón		
PARÁMETROS PARA EL ENSAYO METALOGRAFICO:			
Acondicionamiento de la Superficie:			Pulido
Tratamiento Térmico realizado:	Revenido	Temperatura revenido:	400 °C
Ataque químico de la superficie:	PICRAL	Tiempo permanencia:	30 minutos
RESULTADO:			
MICROESTRUCTURA ACERO AISI 1045 REVENIDO AUMENTO 100 X			
			
Gráfico N° 43. Acero AISI 1045 REVENIDO (100X)			
Fuente: lab. Metalografía UTA-FICM			

Elaborado por: Carlos Calderón

DETERMINACIÓN DE LOS COMPONENTES MICROESTRUCTURALES

CUADRO N° 21

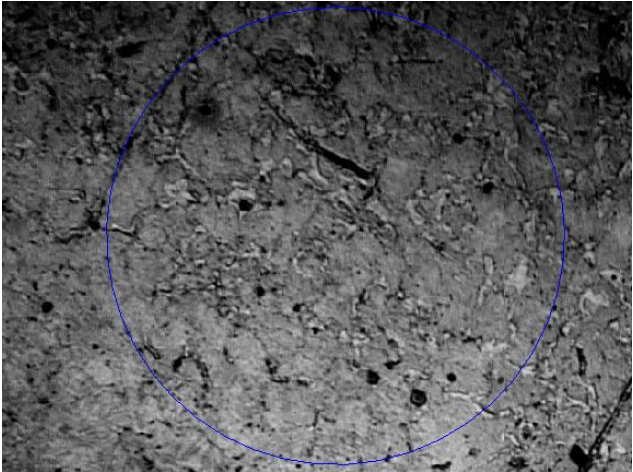
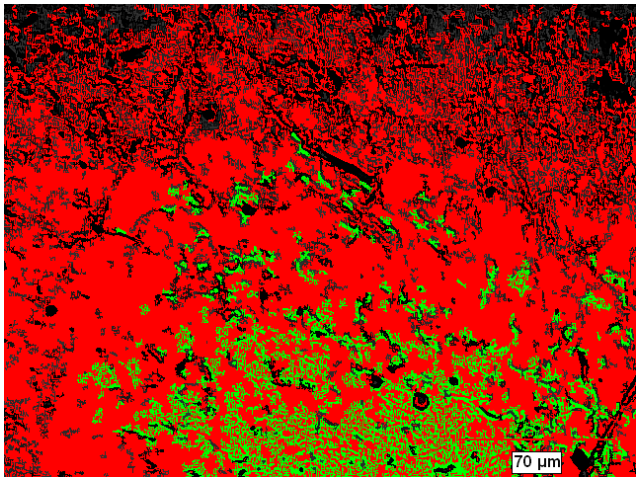
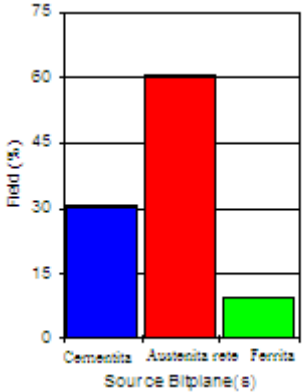
EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:									
Estipulación del tamaño de grano:	MICROESTRUCTURA:								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%; padding: 5px;">Procedimiento (ASTM E 112):</td> <td style="padding: 5px;">Planimétrico</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 5px;">Cálculo método jeffries:</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 5px;"> Para área de 500mm² $f = 0.0002 * M^2$; $f = 8$ $NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right)$ $NA = 8 \left(38 + \frac{21}{2} \right)$; NA= 388 $G = (3.321918 * \log NA) - 2.954$ $G = 5.645$ </td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Tamaño de grano:</td> <td style="padding: 5px;">5.65</td> </tr> </table>	Procedimiento (ASTM E 112):	Planimétrico	Cálculo método jeffries:		Para área de 500mm ² $f = 0.0002 * M^2$; $f = 8$ $NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right)$ $NA = 8 \left(38 + \frac{21}{2} \right)$; NA= 388 $G = (3.321918 * \log NA) - 2.954$ $G = 5.645$		Tamaño de grano:	5.65	
Procedimiento (ASTM E 112):	Planimétrico								
Cálculo método jeffries:									
Para área de 500mm ² $f = 0.0002 * M^2$; $f = 8$ $NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right)$ $NA = 8 \left(38 + \frac{21}{2} \right)$; NA= 388 $G = (3.321918 * \log NA) - 2.954$ $G = 5.645$									
Tamaño de grano:	5.65								
Componentes:	Porcentajes:								
	 <p style="text-align: center;">Cementita= 30.6% ; Austenita retenida= 60.6% ; Ferrita= 9.3%</p>								

Gráfico N° 44. Porcentaje de constituyentes acero AISI 1045 Revenido (200X)

Fuente: lab. Metalografía UTA-FICM
Realizado por: Carlos Calderón

ENSAYO DE DUREZA

CUADRO N° 22

ESTIMACIÓN DE LA DUREZA ROCKWELL C
RESULTADOS:
Medición de dureza Rockwell C= 52, 57, 55, 55.5, 53.5, 59, 57, 57, 52.5, 55
HRC= 55.35

Al analizar el acero bonificado AISI 1045 realizado en el horno de mufla del laboratorio de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, se observa en la imagen a una magnificación de 200x carbono precipitado conocido como cementita en un color oscuro, en una matriz de austenita retenida con presencia de ferrita lo que indica que posiblemente no se mantuvo una permanencia adecuada de la probeta dentro del horno además de que la estructura resultante en el temple no era 100% martensítica como debía serlo.

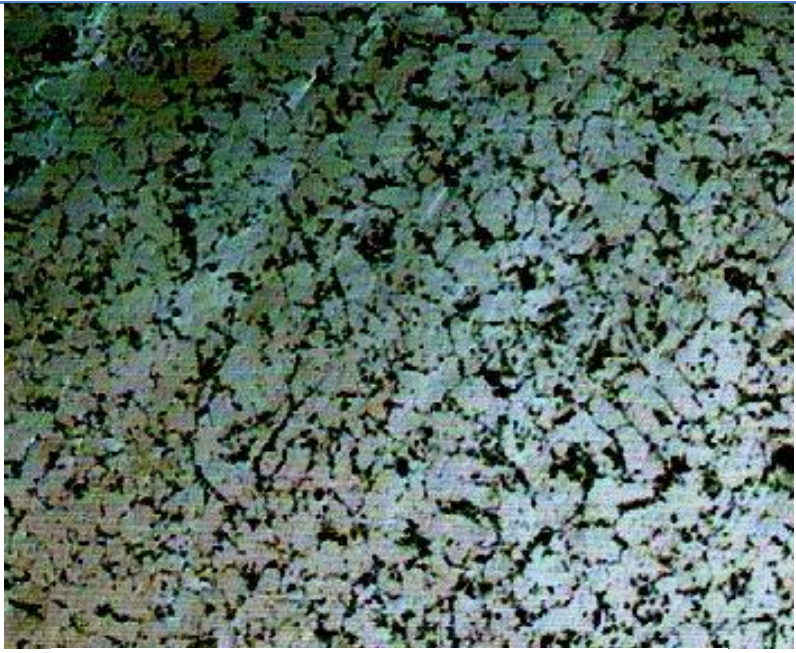
Adicionalmente en el análisis realizado en el durómetro perteneciente a la Facultad de Ingeniería Mecánica la dureza promedio obtenida es de 55.5 RC, lo que demuestra que no se ha reducido en gran medida la dureza como suele suceder en este tipo de tratamiento térmico.

Realizando una comparación final de las durezas de las probetas de acero AISI 1045 tomadas en este ensayo son: De fábrica= 23.15 RC; temple= 59.73 RC; revenido= 55.5 RC.

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

ENSAYO METALOGRAFICO ACERO AISI 1045 TEMPLADO

CUADRO N° 23

DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo N°	03
Identificación del Componente de estudio:			Probeta N° 02
Material Analizar:	Acero AISI 1045	Dimensiones:	Diámetro: 19,5mm, Alto: 20mm
Solicitado por:	UTA – FICM	Fecha:	2011/06/29
Centro de Análisis:	Laboratorio de Materiales UTA- FICM		
Lugar:	Campus Universitario UTA / sector Huachi Chico		
Realizado por:	Carlos R. Calderón		
PARÁMETROS PARA EL ENSAYO METALOGRAFICO:			
Acondicionamiento de la Superficie:			Pulido
Tratamiento Térmico realizado:	Templado	Temperatura temple:	827 °C
Ataque químico de la superficie:	PICRAL	Tiempo:	30 minutos
RESULTADO:			
MICROESTRUCTURA ACERO AISI 1045 TEMPLADO AUMENTO 100 X			
			
Gráfico N° 45. Acero AISI 1045 templado (100X)			
Fuente: lab. Metalografía UTA-FICM			

Elaborado por: Carlos Calderón

DETERMINACIÓN DE LOS COMPONENTES MICROESTRUCTURALES

CUADRO N° 24

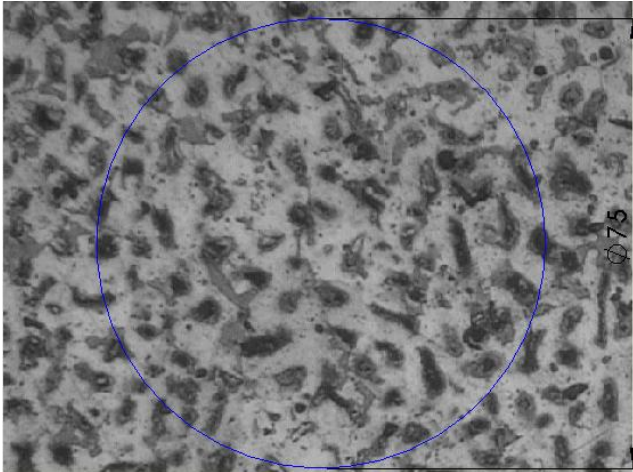
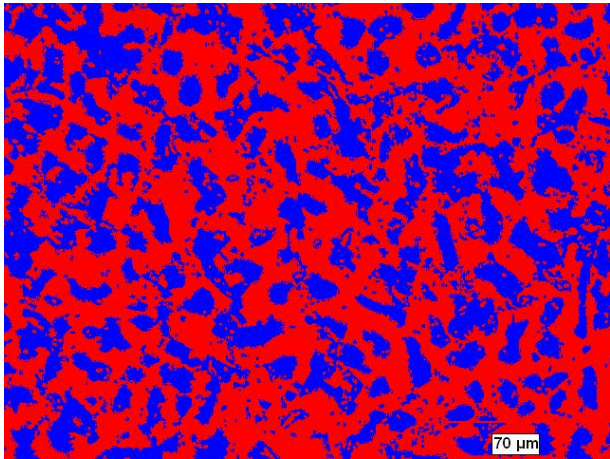
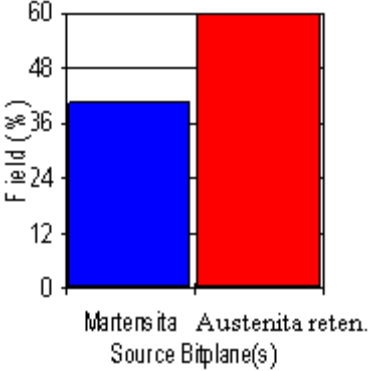
EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:			
Estipulación del tamaño de grano:	MICROESTRUCTURA:		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%; padding: 5px;">Procedimiento (ASTM E 112):</td> <td style="padding: 5px;">Planimétrico</td> </tr> </table>	Procedimiento (ASTM E 112):	Planimétrico	
Procedimiento (ASTM E 112):	Planimétrico		
Cálculo método jeffries:			
<p>Para área de 500mm² $f = 0.0002 * M^2$; $f = 8$ $NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right)$ $NA = 8 \left(51 + \frac{26}{2} \right)$; NA= 512 $G = (3.321918 * \log NA) - 2.954$ $G = 6.045$</p>			
Tamaño de grano:	6.04		
Componentes:	Porcentajes:		
	 <p style="text-align: center;">Martensita Austenita reten. Source Biplane(s)</p> <p style="text-align: center;">Martensita= 40.4% ; Austenita retenida= 59.6%</p>		

Gráfico N° 46. Porcentaje de constituyentes acero AISI 1045 Templado (200X)

Fuente: lab. Metalografía UTA-FICM

Realizado por: Carlos Calderón

ENSAYO DE DUREZA

CUADRO N° 25

ESTIMACION DE LA DUREZA ROCKWELL C
RESULTADOS:
<p>Medición de dureza Rockwell C= 59.5, 61, 58, 63, 61, 63.5, 61.8, 64, 62, 63.5</p>
<p>HRC= 61.73</p>

El análisis realizado a la segunda probeta de acero AISI 1045 templado se observa a una magnificación de 200x la formación de martensita de forma difusa y sin resolver que se presenta como una estructura acircular dentro de una matriz de austenita retenida.

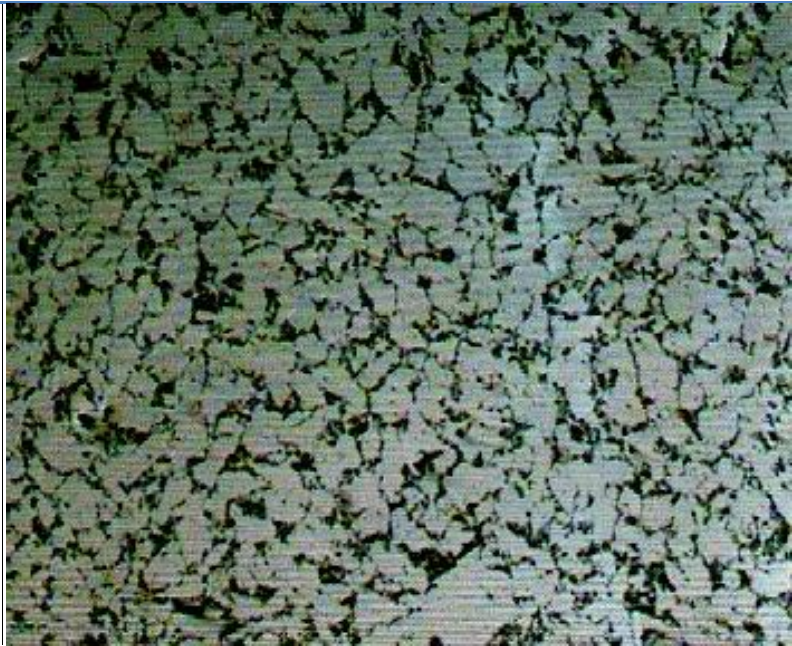
Ésta estructura martensítica con una mayor calidad al anterior ensayo se logro teniendo cuidado en los tiempos de permanencia en el horno y en la temperatura del medio de enfriamiento, teniendo en cuenta que se podría mejorar su estructura.

En el ensayo de dureza efectuado se determino que la probeta subió su grado de 23.15 HRC a 61.73 HRC, lo que indica que se ha cambiado sus propiedades mecánicas en una mejor proporción de acuerdo a lo esperado.

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

ENSAYO METALOGRAFICO ACERO AISI 1045 REVENIDO

CUADRO N° 26

DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo N°	04
Identificación del Componente de estudio:			Probeta N° 02
Material Analizar:	Acero AISI 1045	Dimensiones:	Diámetro: 19,5mm, Alto: 20mm
Solicitado por:	UTA – FICM	Fecha:	2011/06/29
Centro de Análisis:	Laboratorio de Materiales UTA- FICM		
Lugar:	Campus Universitario UTA / sector Huachi Chico		
Realizado por:	Carlos R. Calderón		
PARÁMETROS PARA EL ENSAYO METALOGRAFICO:			
Acondicionamiento de la Superficie:			Pulido
Tratamiento Térmico realizado:	Revenido	Temperatura revenido:	400 °C
Ataque químico de la superficie:	PICRAL	Tiempo permanencia:	30 minutos
RESULTADO:			
MICROESTRUCTURA ACERO AISI 1045 REVENIDO AUMENTO 100 X			
			
Gráfico N° 47. Acero AISI 1045 REVENIDO (100X)			
Fuente: lab. Metalografía UTA-FICM			

Elaborado por: Carlos Calderón

DETERMINACIÓN DE LOS COMPONENTES MICROESTRUCTURALES

CUADRO N° 27

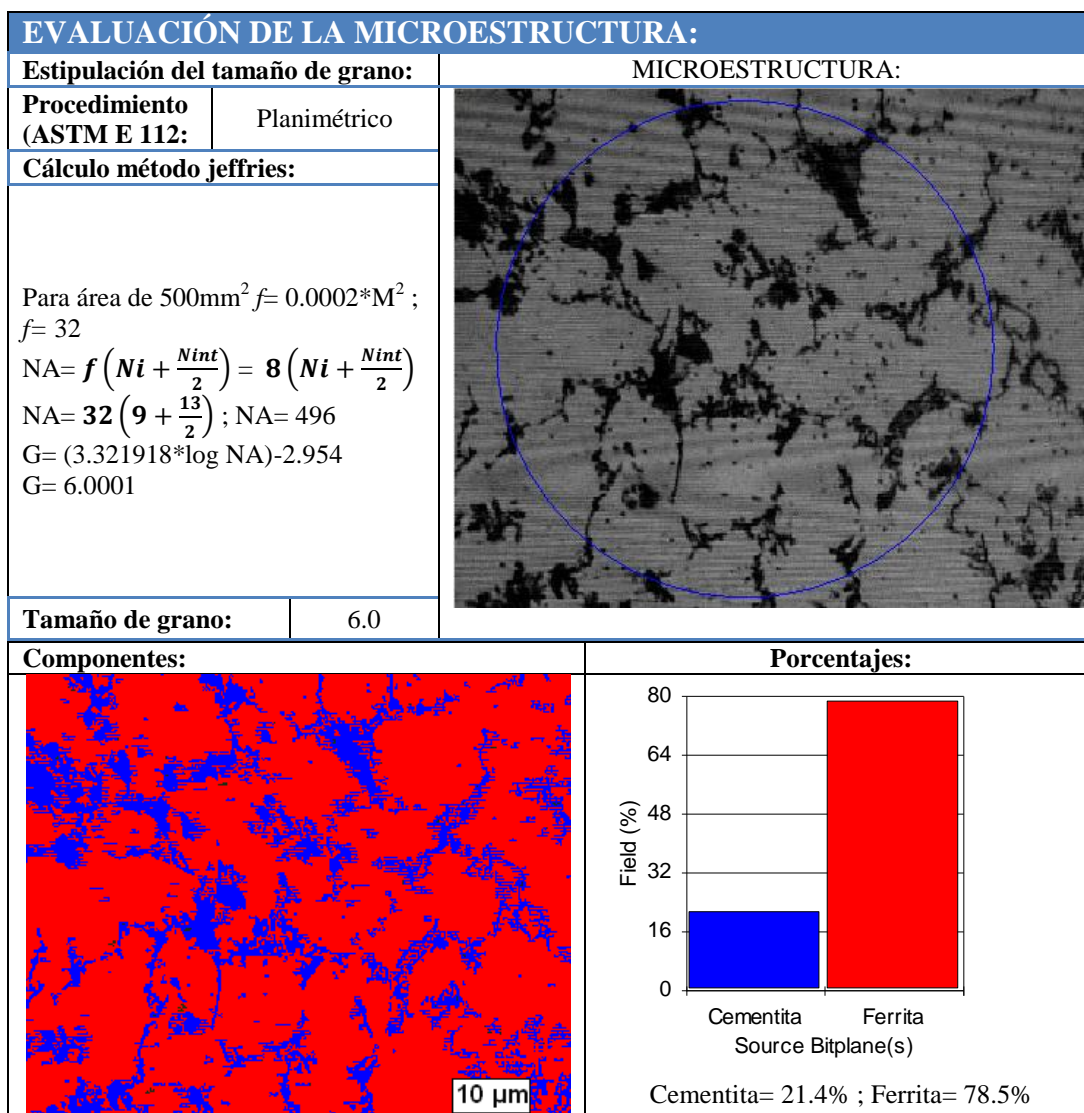


Gráfico N° 48. Porcentaje de constituyentes acero AISI 1045 Revenido (400X)

Fuente: lab. Metalografía UTA-FICM
 Realizado por: Carlos Calderón

ENSAYO DE DUREZA

CUADRO N° 28

ESTIMACIÓN DE LA DUREZA ROCKWELL C
RESULTADOS:
Medición de dureza Rockwell C= 31, 28, 30.5, 26.5, 28, 28, 30, 26.5, 31.5, 30
HRC= 29

El análisis metalográfico efectuado al acero revenido AISI 1045 realizado en el laboratorio de la carrera de Ingeniería Mecánica, indica la transformación de la martensita obtenida en el temple en carburo F3C (cementita) precipitado disuelto en una matriz ferrítica.

En el ensayo que se realizó en el durómetro perteneciente al laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Mecánica se obtuvo una medición de dureza promedio de 29 HRC, que demuestra un decremento de dureza respecto al temple indicando así la modificación de sus propiedades mecánicas con la reducción de las tensiones internas y el aumento de su tenacidad.

En comparación de las durezas en este ensayo de bonificado realizado en la probeta de acero AISI 1045 se obtuvieron los siguientes resultados: De fábrica= 23.15 RC; temple= 61.73 RC; revenido= 29 RC.

Finalmente se realizara una comparativa entre los resultados obtenidos entre las variables de dureza Rockwell C con el sistema anterior y el nuevo sistema de control para determinar sus ventajas y apoyar así la verificación de la hipótesis planteada, justificando además la realización de la propuesta.

CUADRO N° 29 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE DUREZAS

		Sistema Anterior					Sistema Actual		
	Tratamiento	Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)	Dureza Rockwell C		Tratamiento	Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)	Dureza (Rockwell C)
1	Temple	30	827	59.73	1	Temple	30	830	64.65
2	Revenido	30	400	55.5	2	Revenido	45	400	31.1
3	Temple	30	827	61.73					
4	Revenido	30	400	29					

Realizado por: Carlos Calderón

En el cuadro anterior se puede observar que gracias al control correcto de los tiempos de permanencia y con mayor la estabilidad térmica se ha mejorado las propiedades mecánicas en el temple llegando a situarse dentro de los parámetros que presentan varios autores que indican que en este tratamiento se obtienen durezas entre los 53 y los 65 Rockwell C para aceros con este porcentaje de carbono; esto también se da gracias a la mejor formación de su microestructura.

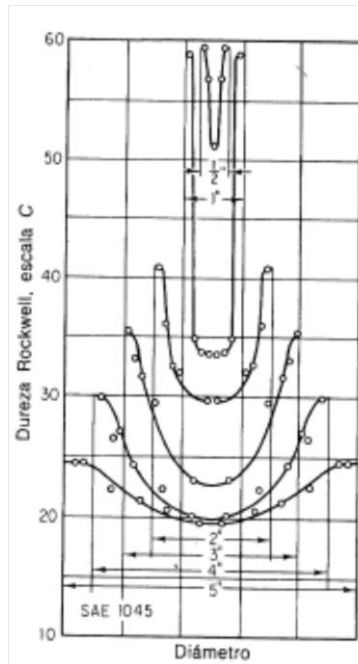


Gráfico N° 49. Curvas de penetración de dureza para varios tamaños templado en agua del acero AISI 1045

Fuente: Introducción a la Metalurgia Física; AVNER

En el gráfico anterior se observa la dureza obtenida de acuerdo al diámetro según las pruebas realizadas en por el autor Sidney-Avner; en donde los datos de durezas concuerdan en gran medida con los ensayos que se realizaron durante el desarrollo del proyecto de investigación.

Estos datos ayudan a verificar la hipótesis planteada, demostrando q se ha ayudado a mejorar las propiedades mecánicas en las probetas de acero con la estabilización térmica y control de tiempos de manera automatizada.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES.

Basándose en el análisis e interpretación de resultados y en la observación del funcionamiento del horno se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- Se necesita un sistema de control de tiempos comandado por computadora para que cubra las necesidades de manejo de tiempos y estabilidad de temperatura que necesita en el horno de mufla del laboratorio de materiales para realizar tratamientos térmicos del acero.
- El sistema de control a base de microcontroladores y comandado por computadora mejora la precisión para realizar tratamientos térmicos del acero manejando mejor los tiempos de los procesos que se realizan en el horno de mufla.
- De acuerdo a la investigación la solución para el control de tiempos en los tratamientos térmicos del acero y la estabilización de la temperatura es un sistema a base de un microcontrolador PIC comandado por un software especializado de control por computadora como Lab View.

- La utilización de un software de control es muy útil para manejar el horno vía computadora y realizar la adquisición de datos necesarios para la realización de informes en el laboratorio de materiales.
- Al utilizar el sistema de control por computadora gracias al control de tiempos de permanencia y la estabilización la temperatura dentro del horno se logra obtener una mejor estructura con una dureza superior más cercana a los rangos indicados en pruebas realizadas por diferentes autores al templar aceros con este contenido de carbono.
- Al utilizar un equipo a base de microcontrolador PIC se aprovecha mejor el espacio y no se subutiliza a otros aparatos de control, los cuales son inclusive más costosos.
- La presentación de la temperatura de forma digital mejora la apariencia visual del horno y ayuda a los interesados a percibir la temperatura mucho más rápido y sin errores de apreciación.
- La utilización de un software especializado de control como LabView, que procese la información para utilizarlo en el manejo del horno ayuda enormemente a reducir posibles errores de calibración y manejo de datos en la programación del sistema de control.
- Finalmente se concluye que la utilización de la interfaz de comunicación serial RS232 es la más idónea y la que mejor se adapta a las especificaciones requeridas para cumplir la distancia y minimizar el ruido en la transmisión de datos hacia la computadora para este sistema.

5.2. RECOMENDACIONES.

Se puede recomendar los siguientes puntos basándose en la investigación realizada para el presente trabajo:

- Es recomendado utilizar el sistema de control comandado por computadora para el manejo de tiempos en el horno de mufla del laboratorio de materiales para realizar tratamientos térmicos del acero.
- Para mejorar la precisión para realizar tratamientos térmicos del acero y manejar mejor los tiempos de los procesos que se realizan en el horno, se recomienda usar el sistema de control a base de microcontroladores y comandado por computadora.
- Ya que el sistema diseñado es un instrumento de precisión se recomienda tener cuidado de no colocar objetos extraños o derramar líquidos en el circuito electrónico al momento de realizar el respectivo mantenimiento del horno.
- El control del dispositivo se lo hace netamente por computadora y se recomienda evitar la manipulación de sus componentes para evitar fallas de procesamiento en los datos que se adquieren.
- Se recomienda contar con un computador que tenga disponible un programa de control industrial para procesar los datos seriales, de preferencia Labview 10 o superior para tener un correcto control del sistema.

- Se debe tener en consideración de conectar el cable adaptador de datos a un puerto USB 2.0 para mantener la configuración de velocidad de transmisión de datos previo a la instalación de sus drivers.
- Para realizar el mantenimiento del sistema se recomienda desconectar todas las fuentes de alimentación para evitar posibles choques eléctricos y el posterior daño de sus componentes.
- Se recomienda no exponer el instrumento de control a temperaturas elevadas ni a la humedad.
- Este sistema funciona en base a una termocupla tipo k, por lo que se recomienda no utilizar otras clases de termocuplas para evitar evidentes errores en la adquisición de datos.
- Se recomienda colocar la perilla del controlador anterior en cero, para poder utilizar el nuevo sistema de control, y así evitar que cuando acabe el proceso seleccionado el horno permanezca prendido.
- Finalmente se recomienda no modificar la codificación del programa realizado en el computador, especialmente para no descalibrar los parámetros establecidos y con esto evitar daños en el sistema térmico y de control.

CAPITULO VI

PROPUESTA

Tema: “Sistema de automatización para el control de tiempos en los procesos térmicos que se realizan en el horno de mufla del laboratorio de materiales de la carrera de Ingeniería Mecánica en la Universidad Técnica de Ambato para mejorar la estabilidad térmica del horno en los tratamientos del acero.”

6.1. DATOS INFORMATIVOS

Los datos básicos del sistema de control que se instaló en el horno de mufla perteneciente al Laboratorio de Materiales de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica son los siguientes:

Objeto de estudio:

HORNO DE MUFLA PARA TRATAMIENTOS TÉRMICOS.

Ubicación:

Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Tiempo estimado para la ejecución:

Inicio: Julio 2010 Fin: Marzo 2011

Equipo técnico responsable:

Autor: Carlos Rodrigo Calderón Vásquez

Costo:

El costo de la aplicación de la propuesta asciende a un valor de 800.15 dólares de Norteamérica.

Dimensiones:

El horno de mufla tiene externamente 70 cm de alto, 52 cm de ancho y 46 cm de profundidad; y su área operativa es de 20 cm de alto, 17 cm de ancho y 30 cm de profundidad.

Operación:

El horno de mufla opera con un voltaje de 220 V, su consumo nominal es de 30 A con una potencia de 4600 W de acuerdo a las especificaciones dadas en la placa de operación.

El sistema es exclusivo para el control del horno de mufla perteneciente al laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

El rango de temperaturas que cubre el sistema va desde los 0°C a 1024°C. Para este sistema se utiliza únicamente una termocupla tipo K, con la que también cuenta el actual horno.

La restricción que se aplica al sistema está aplicada para que la temperatura en el horno no supere los 1000°C por cuestiones de preservación de la vida útil del mismo, pero no se modificara nada del diseño original del horno de mufla.

La transmisión de los datos que se procesan en el hardware serán transmitidos a una computadora de forma serial para su posterior control por un programa HMI.

La temperatura que procesa el hardware será presentada tanto en la computadora que pertenece al laboratorio de materiales con la que se va a controlar, como también en el exterior del horno a través de display's matriciales.

La adquisición de datos por parte de la computadora se realiza por un puerto USB de preferencia 2.0 pudiendo también utilizarse en caso de requerirse o existir el puerto serial de la misma.

6.2. ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

En la investigación realizada se ha evidenciado que no existen hasta el momento proyectos de tesis acerca de la automatización de un horno de tratamientos térmicos con o sin la ayuda de programas de control en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica o facultades afines en la Universidad Técnica de Ambato, por tal razón se ha visto la necesidad de realizar este proyecto para aportar al desarrollo de la carrera.

Últimamente se ha desarrollado enormemente el manejo e innovación de tecnologías que ya han sido implementadas en otros países para ayudar a la industria y las universidades locales no pueden quedarse rezagadas de esos conocimientos y a través de la automatización del sistema de control se pretende involucrar a la carrera en la investigación científica.

6.3. JUSTIFICACIÓN

Con la implementación de la propuesta presentada anteriormente se mejora la estabilidad de la temperatura en la realización de procesos térmicos en el horno de mufla que cuenta la carrera de Ingeniería Mecánica y facilita la manipulación para la selección de tiempos y temperaturas a las personas que lo controlan.

El sistema de control automatizado es apropiado para el horno de mufla porque al ser una herramienta de precisión destinada únicamente al control y procesamiento de la información adquirida no necesita de calibración reduciendo así los errores de programación. Y a la vez se presenta como una excelente aplicación real de adquisición de datos y control de procesos mediante LabView, ayudando así a la estabilización de la temperatura interna del horno y a un manejo más simplificado del mismo.

La selección de este equipo se basa en la investigación realizada en donde se demuestra que por espacio, funcionalidad y disponibilidad la mejor opción es la utilización de un sistema de control a base de microcontrolador PIC y comandado por computadora.

Pensando en el desarrollo de la carrera de Ingeniería Mecánica y en las futuras generaciones que se beneficiaran con la implementación de este sistema, el investigador pretende aportar con esta investigación para mejorar la innovación tecnológica en el laboratorio de materiales y que no se trate solo de un trabajo previo a la obtención de su título sino más bien un trabajo en beneficio para los estudiantes.

6.4. OBJETIVOS

6.4.1. Objetivo General:

- Implementar un sistema automatizado para el control de tiempos y temperaturas en los procesos térmicos que se realizan en el horno de mufla.

6.4.2. Objetivos Específicos:

- Definir las características técnicas y los elementos que debe tener el sistema de control para mejorar la visualización y la precisión de la temperatura.
- Realizar el programa que permita determinar la temperatura y el tiempo de permanencia para el control del horno, mediante la adquisición de datos en tiempo real.
- Efectuar las pruebas de funcionamiento que correspondan para poder garantizar que se cumpla a cabalidad todas las funciones para las que está diseñado el sistema de control y no presente problemas al momento de la utilización del horno de mufla.

6.5. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

Es importante señalar que este proyecto involucra tanto a docentes como a estudiantes tomando en cuenta el grado de implicación que tienen cada uno de ellos.

La viabilidad con que cuenta el presente proyecto es de un 100%, debido a la aceptación y perspectivas de superación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, que siempre está y estará en busca de la utilización de nuevas tecnologías para estar en pro del mejoramiento y bienestar de la carrera.

Se tiene en cuenta también el aporte que genera esta investigación a la comunidad universitaria y la factibilidad económica – financiera en las diferentes etapas en las que se desarrolla la elaboración de este proyecto.

Análisis Técnico.- En la presente investigación se utilizaron los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica para la implementación y realización de sus respectivas pruebas de funcionamiento además de la adquisición de los dispositivos y materiales propiamente hechos por el investigador, ya que todos los componentes y materiales que se utilizaron en este proyecto son de fácil adquisición en el mercado nacional.

Partiendo de bases teóricas se ha notado que la realización de un sistema de control de temperaturas y tiempos de permanencia es muy viable por utilizar componentes destinados precisamente al control de hornos y por la facilidad de manejo que este presenta.

Con la ayuda de un software de programación para el control que se ejecuta en un computador, resulta relativamente fácil controlar el horno en tiempo real mediante procesadores electrónicos que adquieren y acondicionan los datos para visualizar y controlar tiempos de permanencia y temperaturas para un posterior análisis por parte de los estudiantes, ya que estos datos han sido comprobados y verificados y por lo tanto son de total confianza.

Análisis de Costos.- Para tener una idea de la inversión que se ha realizado en presente proyecto se lo ha desglosado en dos partes para una mejor comprensión, como son los costos directos y los costos indirectos, los cuales se detallan a continuación:

Costos Directos:

A continuación detallamos los valores cubiertos por los materiales empleados directamente en la construcción:

Cuadro N° 30

RUBROS	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	P. UNITARIO, \$	TOTAL, \$
Display Matricial	5	Unidad	2,70	13,50
Seguros Plásticos	1	Funda	2,00	2,00
Caja Metálica	1	Unidad	5,00	5,00
Tornillos de 1/8"	12	Unidad	0,03	0,36
Tornillos triplepato de 1/8"	12	Unidad	0,03	0,36
Broca 1/8"	1	Unidad	0,80	0,80
Broca N° 8	1	Unidad	0,80	0,80
Transformador 6+6	1	Unidad	7,00	7,00
Remaches POP	12	Unidad	0,02	0,24
DB9 Hembra	1	Unidad	0,50	0,50
Cable Blindado	10	Metros	1,80	18,00
Cable de Alimentacion	0,50	Metros	0,50	0,25
Sistema de Medición Electrónico	1	Unidad	150,00	150,00
Termocupla	1	Unidad	10,00	10,00
			Subtotal. \$	208,81

Elaborado por: Carlos Calderón
Fuente: Costos Directos

Costos Indirectos:

Aquí se incluyen todos los gastos que no se ven reflejados directamente en la elaboración pero que sin ellos no se hubiera podido realizar a cabalidad el proyecto:

Cuadro N° 31

RUBROS	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	P. UNITARI, \$	TOTAL, \$
Papel INEN A4	2	Resma	3,00	6,00
Crtuchos de Impresión	8	Unidad	8,00	64,00
Material de Escritorio	4	Unidad	0,25	1,00
Perfiles	4	Unidad	0,80	3,20
Discos Compactos	4	Unidad	0,40	1,60
Internet	30	Horas	1,00	30,00
Copias	390	Unidad	0,02	7,80
Transporte	50	Unidad	1,00	50,00
Alimentacion	30	Dólar	1,50	45,00
Empastado	3	Unidad	10,00	30,00
Libros	2	Unidad	30,00	60,00
			Subtotal, \$	298,60

Elaborado por: Carlos Calderón
Fuente: Costos Indirectos

Recursos Humanos**Cuadro N° 32**

RUBROS	CANTIDAD	UNIDAD DE MEDIDA	P. UNITARIO, \$	TOTAL, \$
Tutor	1	Dólar	120	120,00
Técnico Electrónico	1	Dólar	100	100,00
			SUBTOTAL, \$	220,00

Elaborado por: Carlos Calderón
Fuente: Recursos Humanos

Costo Total del Proyecto:

En el costo total de este proyecto se incluye los recursos materiales directos e indirectos y los recursos humanos, todos ellos de influencia directa en el gasto total que ha realizado el investigador.

Cuadro N° 33

RUBRO DE GASTO	TOTAL, \$
Recursos Materiales Directos	208,81
Recursos Materiales Indirectos	298,60
Recursos Humanos	220,00
SUBTOTAL, \$	727,41
10% de imprevistos	72,74
TOTAL, \$	800,15

Elaborado por: Carlos Calderón
Fuente: Costo Total del Proyecto

6.6. FUNDAMENTACIÓN

El propuesta presentada se basa en las investigaciones recogidas y descritas en el Capítulo II del proyecto en investigación, aquí se ampliarán los conceptos para comprender el funcionamiento de este sistema y las aplicaciones que este brinda.

Para esto nos basaremos básicamente en los objetivos que se determinan en esta propuesta y así lograremos encaminar los conocimientos en base a lo teórico.

A continuación se fundamentará la selección del sistema en base a las ventajas y características de sus componentes y herramientas principales.

DISPOSITIVO ELECTRÓNICO DE CONTROL

En base a la investigación bibliográfica y adecuándose a las condiciones del horno de mufla y gracias a la observación que se efectuó en el laboratorio de materiales se puede deducir que para realizar un control de tiempos de permanencia adecuado la forma más sencilla y efectiva es la utilización de un hardware especializado a base de microcontroladores para adquirir y transmitir la información a través de una computadora.

Gamas de los PIC

La forma de designación de los PIC en general obedece a la siguiente estructura:

PIC nn LLL xxx

Siendo:

nn: un número propio de la gama del PIC.

LLL: código de letras donde la primera indica la tensión de alimentación y las otras dos el tipo de memoria que utiliza. En el cuadro 11 se puede ver las distintas opciones que se pueden dar.

xxx – número que indica el modelo.

Cuadro N° 34

Nomenclatura de los PIC.

LETRAS	ALIMENTACIÓN	MEMORIA
C	Standard (4.5-6.0 V)	EPROM
CR	Standard (4.5-6.0 V)	ROM
F	Standard (4.5-6.0 V)	FLASH
LC	Extendida (2.5-6.0 V)	EPROM
LCR	Extendida (2.5-6.0 V)	ROM
LF	Extendida (2.0-6.0 V)	FLASH

Fuente: LOS PIC DE LA GAMA MEDIA.
ARQUITECTURA Y TÉCNICAS DE PROGRAMACIÓN.
Santiago Salamanca Miño, David Arroyo Muñoz

Los PIC se clasifican en distintas gamas atendiendo a los recursos disponibles en cada uno de ellos. Las gamas son:

Gama Enana (PIC12Cxxx): La principal característica es que son muy pequeños, con encapsulados de 8 pines, y un juego de 33 instrucciones de 12 bits.

Gama Baja (PIC16C5xx): Los encapsulados son de 18, 20 ó 28 pines. Al igual que en los anteriores el número de instrucciones es de 33 con un ancho de 12 bits. La memoria de programa es de 512 palabras, 1K ó 2K, y la de datos está comprendida entre 25 y 73 bytes. No permite interrupciones.

Gama Media (PIC16Cxxx): Es la gama más variada y completa de los PIC, con encapsulados desde 18 a 68 pines. Tiene un conjunto de 35 instrucciones de 14

bits de ancho. Permite además características importantes que no soportaban los anteriores como son:

- Interrupciones
- Pila de 8 niveles que permite anidamiento de subrutinas.

Esta familia a su vez se puede dividir en subfamilias en función de los recursos de que se dispongan.

Gama Alta (PIC17Cxxx): Tienen unas características muy diferentes a las anteriores, ya que son microcontroladores de arquitectura abierta, es decir, que sacan sus buses al exterior.

El número de instrucciones es de 58 con una anchura de 16 bits. Tienen instrucciones vectorizadas.

Gama Mejorada (PIC18Cxxx): Es la última gama que ha salido. Tiene memoria de programa de hasta 1M palabras. La mayoría de las instrucciones son de 16 bits, aunque las hay también de 32 bits. El número total de instrucciones es de 76.

Esta gama está diseñada para aplicaciones de control. Todos ellos tienen convertidores A/D y, por ejemplo, están en fase de desarrollo algunos modelos que tienen interface para el bus CAN.

MICROCONTROLADOR PIC 18F2550

Así como tuvieron su época de esplendor el 16F84A, el 16F628A, el 16F877A, hoy el 18F2550 se presenta como un microcontrolador muy similar al (también antiguo) 16F876A pero con las grandes ventajas que brinda la familia 18F. Se destacan, entre otras cualidades, un mayor tamaño de memoria disponible para almacenar programas, sumado a la posibilidad de realizar aplicaciones con conectividad USB. Ventajas muy atractivas en la actualidad gracias a la proliferación de ordenadores móviles donde el puerto serie ha dejado su reinado en manos de los puertos USB.

El PIC 18F2550, pertenece a los microcontroladores PIC18 de gama alta. Posee una arquitectura RISC (reduced instruction set computer) de 16 bits longitud de instrucciones y 8 bits de datos. La tabla muestra en resumen las características fundamentales de este microcontrolador.

En la hoja de datos del microcontrolador se encuentran las siguientes características.

Cuadro N° 35 Características PIC18F2550

CARACTERÍSTICAS	PIC18F2550
Frecuencia de Operación	DC - Hasta 48MHz
Memoria de Programa (bytes)	32768
Memoria RAM de Datos (bytes)	2048
Memoria EEPROM Datos (bytes)	256
Interrupciones	19
Líneas de E/S	24
Temporizadores	4
Módulos de Comparación/Captura/PWM (CCP)	2
Módulos de Comparación/Captura/PWM mejorado (ECCP)	0
Canales de Comunicación Serie	MSSP. Enhanced USART
Canal USB	1
Puerto Paralelo de Transmisión de Datos (SPP)	0
Canales de Conversión A/D de 10 bits	10 Canales
Comparadores analógicos	2
Juego de instrucciones	75 (83 ext.)
Encapsulados	PDIP28 pines SOIC28 pines

Elaborado por: Carlos Calderón
Fuente: hoja de datos PIC 18f2550

La distribución de pines del PIC18F2550 es la siguiente:

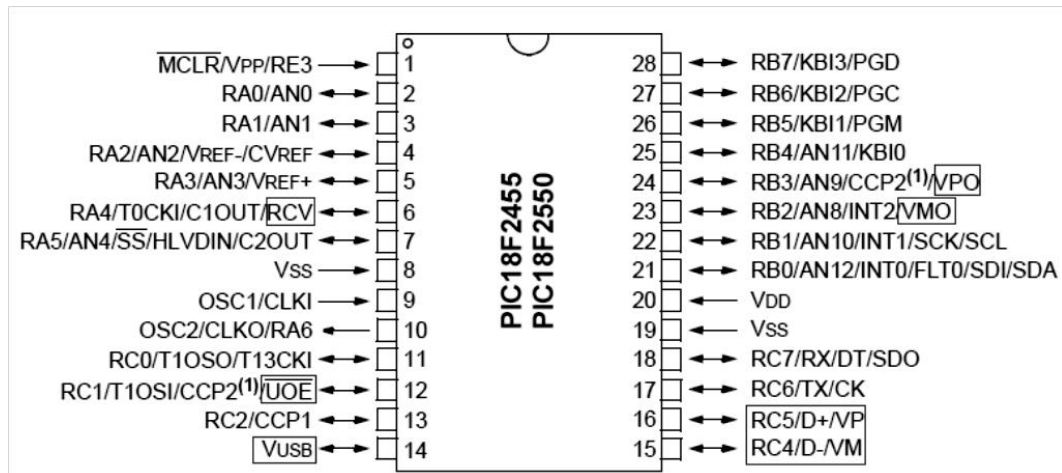


Gráfico Nº 50. DESIGNACION DE PINES 18F2X5X
Fuente: Microchip, datashit. www.microchip.com/pic18f2x5x

ORGANIZACIÓN DE LA MEMORIA

El microcontrolador PIC18F2550 dispone de las siguientes memorias:

Memoria de programa: memoria flash interna de 32.768 bytes. Almacena instrucciones y constantes/datos

Puede ser escrita/leída mediante un programador externo o durante la ejecución programa mediante unos punteros.

Memoria RAM de datos: memoria SRAM interna de 2048 bytes en la que están incluidos los registros de función especial. Almacena datos de forma temporal durante la ejecución del programa Puede ser escrita/leída en tiempo de ejecución mediante diversas instrucciones.

Memoria EEPROM de datos: memoria no volátil de 256 bytes. Almacena datos que se deben conservar aun en ausencia de tensión de alimentación Puede ser escrita/leída en tiempo de ejecución a través de registros.

Pila: bloque de 31 palabras de 21 bits. Almacena la dirección de la instrucción que debe ser ejecutada después de una interrupción o subrutina.

Memoria de configuración: memoria en la que se incluyen los bits de configuración (12 bytes de memoria flash) y los registros de identificación

(2 bytes de memoria de solo lectura). Se trata de un bloque de memoria situado a partir de la posición 30000H de memoria de programa (más allá de la zona de memoria de programa de usuario). En esta memoria de configuración se incluyen:

Bits de configuración: contenidos en 12 bytes de memoria flash permiten la configuración de algunas opciones del uC como:

- Opciones del oscilador.
- Opciones de reset.
- Opciones del watchdog.
- Opciones de la circuitería de depuración y programación.
- Opciones de protección contra escritura de memoria de programa y memoria

EEPROM de datos.

Estos bits se configuran generalmente durante la programación del uC, aunque también pueden ser leídos y modificados durante la ejecución del programa.

Registros de identificación: se trata de dos registros situados en las direcciones 3FFFEH y 3FFFFH que contienen información del modelo y revisión del dispositivo. Son registros de solo lectura y no pueden ser modificados por el usuario.

ARQUITECTURA DEL PIC 18F2550

El micro controlador (uC) PIC18F2550 dispone buses diferentes para el acceso a memoria de programa y memoria de datos (arquitectura Harvard):

Bus de la memoria de programa:

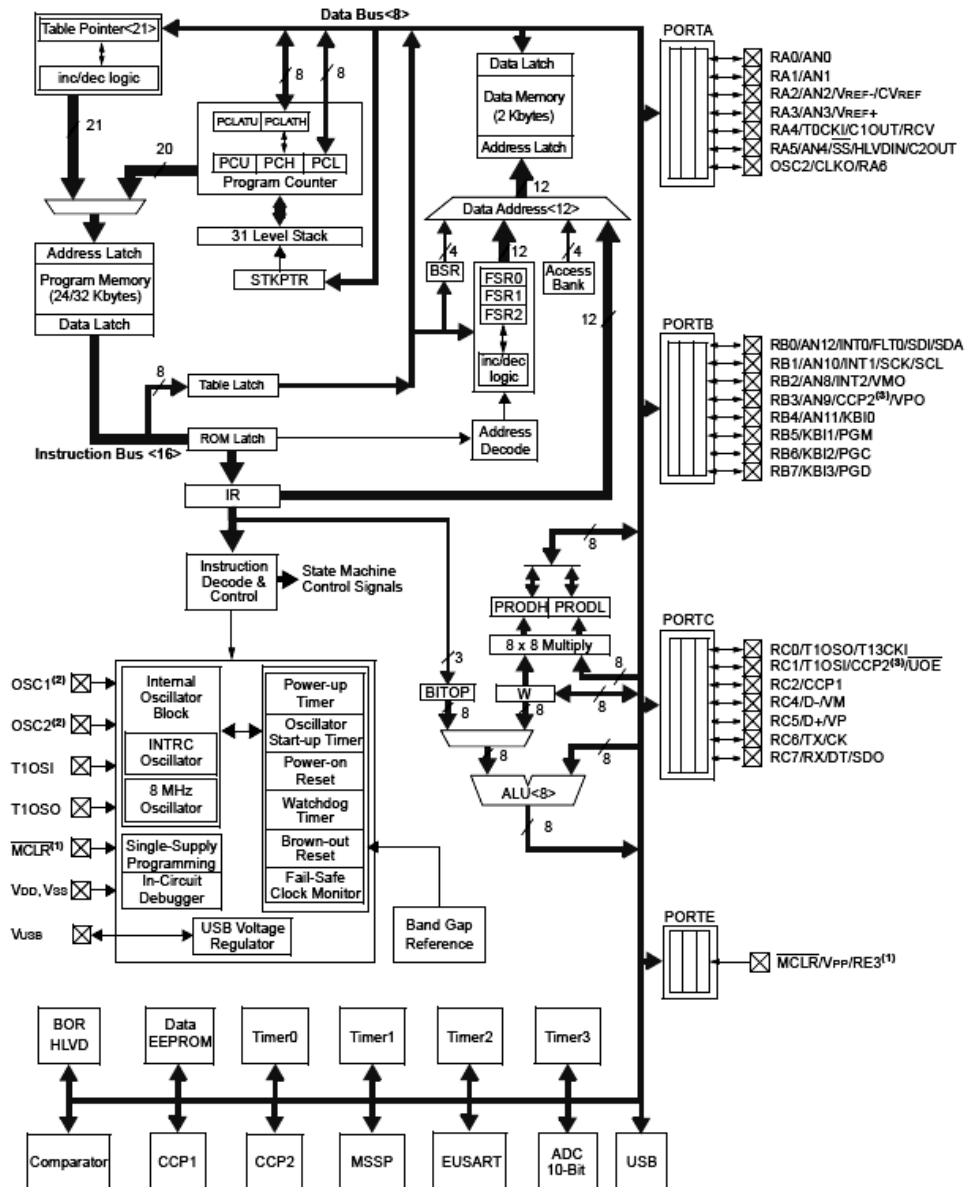
- 21 líneas de dirección
- 16/8 líneas de datos (16 líneas para instrucciones/8 líneas para datos)

Bus de la memoria de datos:

- 12 líneas de dirección
- 8 líneas de datos

Esto permite acceder simultáneamente a la memoria de programa y a la memoria de datos. Es decir se puede ejecutar una instrucción (lo que por lo general requiere acceso a memoria de datos) mientras se lee de la memoria de programa la siguiente instrucción (proceso pipeline).

Por tanto la ejecución completa de 1 instrucción (lectura instrucción + ejecución) se hace en un 1 ciclo de instrucción excepto las instrucciones que modifican el contenido del PC que requieren 2 ciclos de instrucción.



- Note 1:** RE3 is multiplexed with $\overline{\text{MCLR}}$ and is only available when the $\overline{\text{MCLR}}$ Resets are disabled.
Note 2: OSC1/CLKI and OSC2/CLKO are only available in select oscillator modes and when these pins are not being used as digital I/O. Refer to Section 2.0 "Oscillator Configurations" for additional information.
Note 3: RB3 is the alternate pin for CCP2 multiplexing.

Gráfico Nº 51. DIAGRAMA DE BLOQUES FUNCIONALES DEL PIC 18F2550
Fuente: Microchip, hoja de datos. www.microchip.com/pic18f2x5x

SENSOR DE TEMPERATURA

TERMOCUPLA:

También se ha podido ver que bajo los rangos de temperatura que se van a controlar en el horno de mufla y tomando en cuenta la disponibilidad en el mercado, y por sus condiciones técnicas es la termocupla tipo “K” que están disponibles versiones que pueden medir rangos de temperaturas desde -40 °C hasta +1200 °C según IEC 584 parte 1, y en concordancia a esto se seleccionara un acondicionador de termocuplas que cubra las necesidades técnicas.

TERMOCUPLA TIPO K

La termocupla tipo K designa a cualquier termocupla que exhibe, dentro de límites especificados, las características térmicas dadas en la tabla cromel-alumel en el rango de temperatura de -253 a 2505 °F.

El cromel es una aleación compuesta de Ni 90% Cr10%. Su f.e.m. con el platino es más alta que cualquiera otra de las aleaciones comúnmente empleadas, alcanzando un máximo de 35 micro voltios por grado centígrado. Por su composición es resistente a la oxidación a temperaturas altas.

El proceso de fabricación de los sensores a termocupla es muy variado y depende en gran parte de su aplicación. Básicamente se construye la junta medidora (la caliente) soldando los dos alambres de metales distintos. La soldadura en atmósfera inerte previene la oxidación y es altamente recomendable si va a funcionar a temperaturas mayores a los 1000°F. Para temperaturas más bajas puede emplearse soldadura de plata con bórax como flux. Los alambres de la termocupla pueden ser simplemente alambres desnudos o alambres dentro de una vaina metálica llena de un polvo aislante, generalmente óxido de magnesio (MgO). Los alambres desnudos se hacen pasar por aisladores de cerámica de modo que no se toquen entre ellos o con la pared del tubo que los contiene.

ACONDICIONADOR DE TERMOCUPLA

Con lo que se ha podido observar en el cuadro 9 se determino que el acondicionador más idóneo es un integrado de tipo digital, ya que este circuito integrado brinda grandes ventajas porque regula automáticamente la compensación que se debe corregir para termocuplas tipo K. Para ello, de todos los acondicionadores digitales se escogió el circuito integrado MAX6675, ya que es el más idóneo para la utilización en controladores de hornos que manejan elevadas temperaturas y también por su disponibilidad en el mercado.

MAX 6675

El circuito integrado MAX6675 de Maxim/Dallas Semiconductor es un convertidor analógico a digital para termopares tipo K. Este circuito tras su apariencia de un encapsulado SOIC de 8 pines, esconde mucho más que un ADC y nos ahorrará bastante espacio al momento de diseñar un circuito impreso.

Dentro de este pequeño circuito se encuentra la electrónica necesaria para amplificar, compensar y convertir a digital el voltaje generado por el termopar, lo que hace muy sencilla la tarea de conectar un termopar a un microcontrolador.

Características del MAX6675.

Las características más importantes que se deben tomar en cuenta antes de usar este circuito se detallan a continuación:

- Interfaz compatible con SPI solo de lectura.
- Resolución de 12 bits, 0.25 grados centígrados.
- Medición hasta 1024 grados centígrados.
- Alimentación de 3.3 a 5 volts.
- Frecuencia de reloj SPI máxima F_{scl} 4.3 Mhz.
- Tiempo de conversión 0.17 s máximo 0.22 segundos.
- Consumo máximo de 1.5 mA.

Existen más, pero aquí esta lo más importante, para más detalles se debe consultar la hoja de datos que proporciona el fabricante.

Estructura del MAX6675, tomado de la hoja de datos

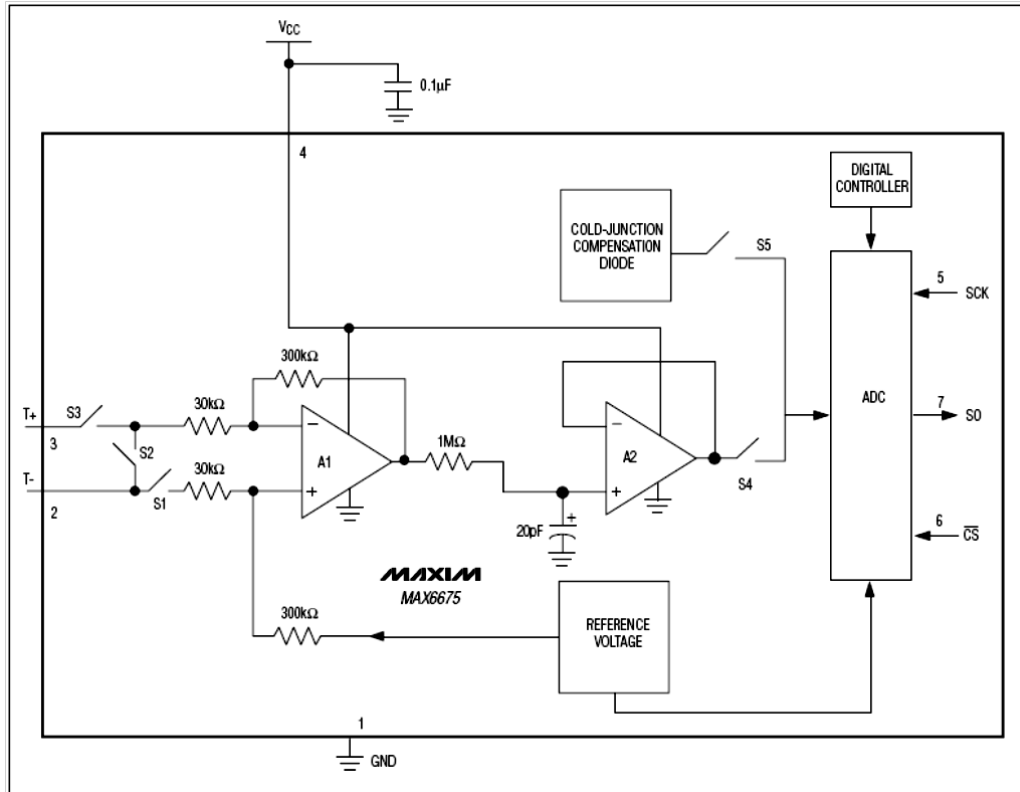


Gráfico N° 52. ESTRUCTURA DEL C.I. MAX6675
Fuente: MAXIM, datashit. www.maxim-ic.com

Formato de Salida.

El MAX6675 se conecta con un microcontrolador mediante una interfaz de 3 líneas compatible con el estándar SPI. El formato en el que el MAX6675 envía datos al microcontrolador es el siguiente.

BIT	DUMMY SIGN BIT	12-BIT TEMPERATURE READING										THERMOCOUPLE INPUT	DEVICE ID	STATE		
		14	13	12	11	10	9	8	7	6	5				4	3
Bit	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
	0	MSB											LSB		0	Three-state

Gráfico N° 53. FORMATO DE ENVÍO DE DATOS DEL C.I. MAX6675
Fuente: MAXIM, datasheet. www.maxim-ic.com

DISTRIBUCIÓN DE PINES Y FORMATO DE CONEXIÓN

Para tener una idea más real se detalla a continuación la distribución de pines y el formato de conexión a un microcontrolador del C.I. MAX6675 de acuerdo a su hoja de datos.

CONFIGURACIÓN DE PINES

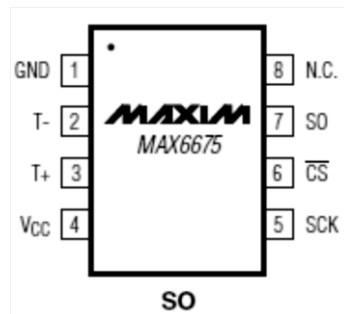


Gráfico N° 54. CONFIGURACIÓN DE PINES DEL C.I. MAX6675
Fuente: MAXIM, datasheet. www.maxim-ic.com

FORMATO DE CONEXIÓN A UN MICROCONTROLADOR

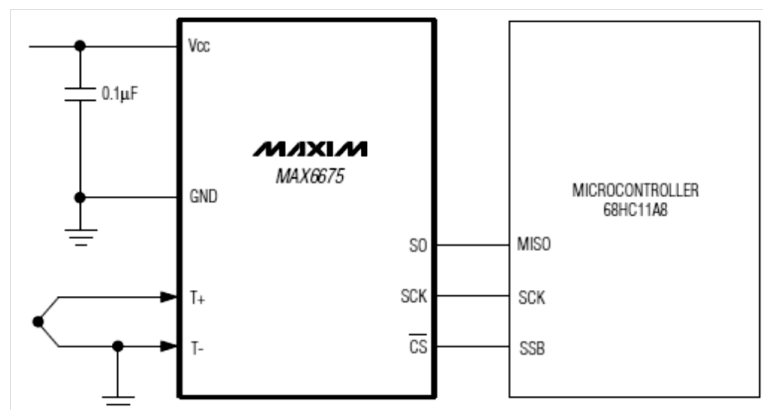


Gráfico N° 55. FORMATO DE CONEXIÓN DEL C.I. MAX6675
Fuente: MAXIM, datasheet. www.maxim-ic.com

COMUNICACIÓN SPI (Serial Peripheral Interface).

Spi es un bus de tres líneas, sobre el cual se transmiten paquetes de información de 8 bits. Cada una de estas tres líneas porta la información entre los diferentes dispositivos conectados al bus. Cada dispositivo conectado al bus puede actuar como transmisor y receptor al mismo tiempo, por lo que este tipo de comunicación serial es full duplex. Dos de estas líneas transfieren los datos (una en cada dirección) y la tercer línea es la del reloj.

Algunos dispositivos solo pueden ser transmisores y otros solo receptores, generalmente un dispositivo que transmite datos también puede recibir.

Un ejemplo podría ser una memoria EEPROM, el cual es un dispositivo que puede transmitir y recibir información.

Los dispositivos conectados al bus son definidos como maestros y esclavos. Un maestro es aquel que inicia la transferencia de información sobre el bus y genera las señales de reloj y control. Un esclavo es un dispositivo controlado por el maestro. Cada esclavo es controlado sobre el bus a través de una línea selectora llamada Chip Select o Select Slave, por lo tanto es esclavo es activado solo cuando esta línea es seleccionada. Generalmente una línea de selección es dedicada para cada esclavo.

En un tiempo determinado T_1 , solo podrá existir un maestro sobre el bus. Cualquier dispositivo esclavo que no esté seleccionado, debe deshabilitarse (ponerlo en alta impedancia) a través de la línea selectora (chip select).

El bus SPI emplea un simple registro de desplazamiento para transmitir la información.

Especificaciones del Bus

Todas las líneas del bus transmiten la información sobre una sola dirección.

La señal sobre la línea de reloj (SCLK) es generada por el maestro y sincroniza la transferencia de datos.

La línea MOSI (Master Out Slave In) transporta los datos del maestro hacia el esclavo.

La línea MISO (Master In Slave Out) transporta los datos del esclavo hacia el maestro.

COMUNICACIÓN I²C

El bus I²C, un estándar que facilita la comunicación entre microcontroladores, memorias y otros dispositivos con cierto nivel de "inteligencia", sólo requiere de dos líneas de señal y un común o masa.

Fue diseñado a este efecto por Philips y permite el intercambio de información entre muchos dispositivos a una velocidad aceptable, de unos 100 Kbits por segundo, aunque hay casos especiales en los que el reloj llega hasta los 3,4 MHz.

La metodología de comunicación de datos del bus I²C es en serie y sincrónica. Una de las señales del bus marca el tiempo (pulsos de reloj) y la otra se utiliza para intercambiar datos.

Descripción de las señales

- SCL (System Clock) es la línea de los pulsos de reloj que sincronizan el sistema.
- SDA (System Data) es la línea por la que se mueven los datos entre los dispositivos.
- GND (Masa) común de la interconexión entre todos los dispositivos "enganchados" al bus.

Las líneas SDA y SCL son del tipo drenaje abierto, es decir, un estado similar al de colector abierto, pero asociadas a un transistor de efecto de campo (o FET). Se deben polarizar en estado alto (conectando a la alimentación por medio de resistores "pull-up") lo que define una estructura de bus que permite conectar en paralelo múltiples entradas y salidas.

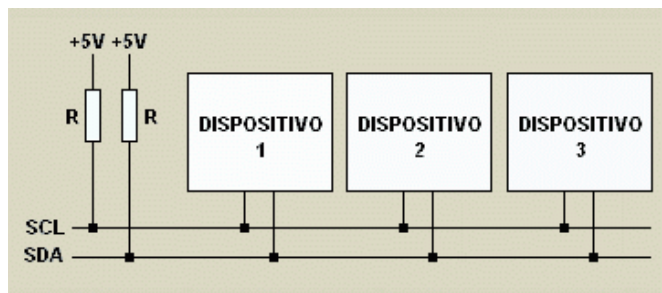


Gráfico N° 56. *FORMATO DE CONEXIÓN I²C*

Fuente: <http://robots-argentina.com.ar/comunicación/busi2c>

Habiendo varios dispositivos conectados sobre el bus, es lógico que para establecer una comunicación a través de él se deba respetar un protocolo. Digamos, en primer lugar, lo más importante: existen dispositivos maestros y dispositivos esclavos. Sólo los dispositivos maestros pueden iniciar una comunicación.

VISUALIZACIÓN

Mediante las investigaciones consultadas se puede deducir que la forma más rápida y fácil de observar una temperatura es a través de su presentación digital de los números en un display led. Y por lo que se ha podido observar en el laboratorio de materiales esto ayudaría en gran medida al control de la temperatura que se presenta en el horno de mufla.

También se ha observado en el laboratorio de materiales que la temperatura que se presenta en el horno de mufla no se aprecia con la facilidad con la que se desearía, por ello se ha consultado en algunos medios y podemos deducir que la presentación digital de los números en displays de matriz led traería mayores beneficios en la lectura de la temperatura y facilidades en la utilización del horno y adicionalmente mejoraría su aspecto.

DISPLAY MATRICIAL

Un display matricial se lo controla básicamente con barrido de señales, lo que quiere decir que las filas de diodos, nunca están activas a la vez, digamos que primero activa la fila 1 enviando los ánodos a VCC y las demás filas están inactivas, porque sus ánodos están sin conexión y los cátodos se envían a tierra, siempre y cuando que se quiera que este encienda.

DISPLAY MATRICIAL.

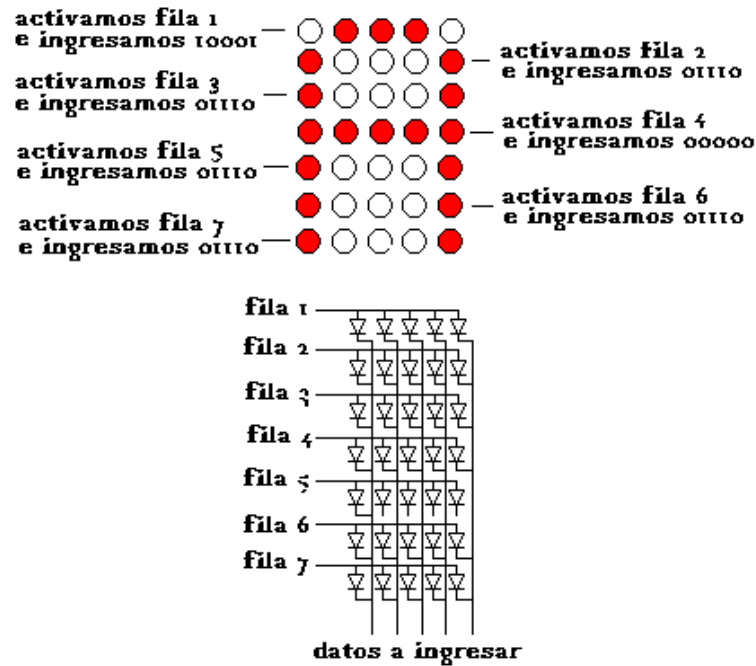


Gráfico N° 57. DISPLAY MATRICIAL DE LED MONOCOLOR
Fuente: www.wikipedia.com/led/matriz

INTERFACE DE COMUNICACIÓN

En referencia al cuadro 11 y basándose en la investigación bibliográfica para determinar la interfaz de comunicación que mejor se adapta a las necesidades requeridas en el proyecto se concluyó que en este sistema responde mejor la comunicación serial RS232 ya que se ha considerado la distancia de transmisión que se requiere para este proyecto y los voltajes que manejan, pero como actualmente no se cuenta con facilidad ordenadores con este tipo de puerto se procedió a agregar un dispositivo con convertidor de RS232 a USB.

Para cumplir con los estándares que se requiere para esta comunicación y evitar fallos en la transmisión de datos se ha implementado al circuito un integrado MAX232.

CIRCUITO DE COMUNICACIÓN - MAX232

El circuito integrado max232, es muy útil para comunicar una computadora con un pic o cualquier otro microcontrolador. La computadora maneja voltajes de 8 a - 8v, por lo tanto no se puede conectar directamente a un microcontrolador que manejan voltajes TTL. Por lo tanto es necesario este conversor de voltajes.

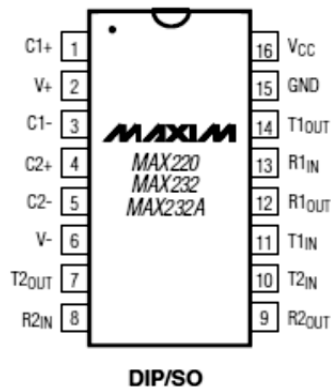
El MAX232 es un circuito integrado que convierte los niveles de las líneas de un puerto serie RS232 a niveles TTL y viceversa. Lo interesante es que sólo necesita una alimentación de 5V, ya que genera internamente algunas tensiones que son necesarias para el estándar RS232. Otros integrados que manejan las líneas RS232 requieren dos voltajes, +12V y -12V.

El MAX232 soluciona la conexión necesaria para lograr comunicación entre el puerto serie de una PC y cualquier otro circuito con funcionamiento en base a señales de nivel TTL/CMOS.

El circuito integrado posee dos conversores de nivel TTL a RS232 y otros dos que, a la inversa, convierten de RS232 a TTL.

Estos conversores son suficientes para manejar las cuatro señales más utilizadas del puerto serie del PC, que son TX, RX, RTS y CTS.

TX es la señal de transmisión de datos, RX es la de recepción, y RTS y CTS se utilizan para establecer el protocolo para el envío y recepción de los datos.



CAPACITANCE (μF)					
DEVICE	C1	C2	C3	C4	C5
MAX220	4.7	4.7	10	10	4.7
MAX232	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
MAX232A	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

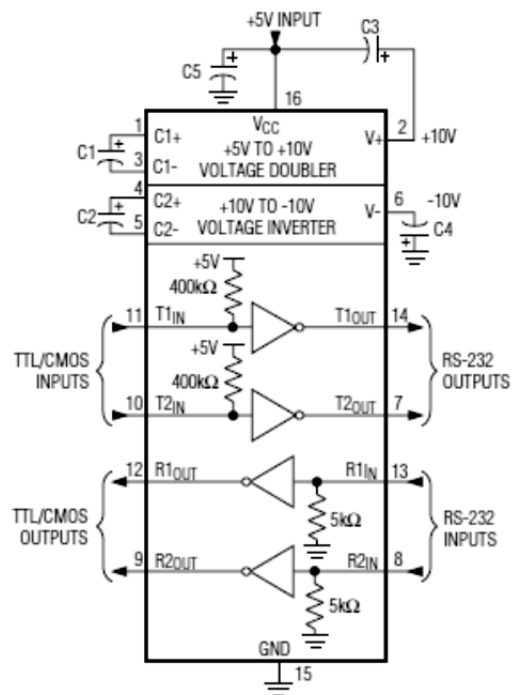


Gráfico N° 58. CONFIGURACIÓN DE PINES Y OPERACIÓN TÍPICA DEL CIRCUITO
Fuente: MAXIM, datashit. www.maxim-ic.com

SOFTWARE DE CONTROL

De acuerdo a la investigación que se ha realizado se puede concluir que el software de control que se utilizaría en la programación, por no necesitar un alto nivel de conocimientos previos, además por tener una programación fácil de alto nivel y grafica y por la socialización que ha tenido entre los estudiantes de la facultad de Ingeniería Mecánica se prefiere la utilización de LabView de National Instruments.

Introducción a LabView de National Instruments

LabView (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) es un lenguaje poderoso de instrumentación y análisis para PCs que corre bajo varios sistemas operativos incluyendo Microsoft Windows. LabView se distingue de la naturaleza secuencial de los lenguajes tradicionales de programación y provee un ambiente de programación gráfico con todas las herramientas necesarias para la adquisición, análisis y presentación de datos.

Con este lenguaje gráfico de programación llamado “G”, se puede programar utilizando una notación de diagramas de bloques, que es la notación de diseño natural para los ingenieros y científicos. Después de que se ha creado el programa con diagrama de bloques, Lab VIEW lo compila en código de máquina.

Lab VIEW integra la adquisición, el análisis y la presentación de datos en un solo sistema. Para adquirir datos y controlar instrumentos, LabVIEW tiene funciones de RS-232 / 485, VISA (Virtual Instrument Software Architecture), y también soporta tarjetas insertables de adquisición de datos, DAQ. Existen librerías de instrumentos que contienen manejadores para cientos de instrumentos y simplifican las aplicaciones de control de instrumentos. Para análisis de datos, la extensa librería de análisis contiene funciones para generación de señales, filtros de procesamiento de señales, ventanas, estadística, regresión, álgebra lineal y aritmética de arreglos.

LabVIEW es una herramienta diseñada especialmente para monitorizar, controlar, automatizar y realizar cálculos complejos de señales analógicas y digitales capturadas a través de tarjetas de adquisición de datos, puertos serie y GPIBs (Buses de Intercambio de Propósito General).

Su principal característica es la facilidad de uso, válido para programadores profesionales como para personas con pocos conocimientos en programación pueden hacer programas relativamente complejos, imposibles para los no profesionales de hacer con lenguajes tradicionales. También es muy rápido hacer programas con LabVIEW y cualquier programador, por experimentado que sea, puede beneficiarse de él. Los programas en LabView son llamados instrumentos virtuales (VIs) Para los amantes de lo complejo, con LabVIEW pueden crearse programas de miles de VIs (equivalente a millones de páginas de código texto) para aplicaciones complejas, programas de automatizaciones de decenas de miles de puntos de entradas/salidas, proyectos para combinar nuevos VIs con VIs ya creados, etc. Incluso existen buenas prácticas de programación para optimizar el rendimiento y la calidad de la programación.

Cada VI consta de dos partes diferenciadas:

- *Panel Frontal*: El Panel Frontal es la interfaz con el usuario, la utilizamos para interactuar con el usuario cuando el programa se está ejecutando. Los usuarios podrán observar los datos del programa actualizados en tiempo real (como van fluyendo los datos). En esta interfaz se definen los controles (los usamos como entradas, pueden ser botones, marcadores etc...) e indicadores (los usamos como salidas, pueden ser gráficas o numéricas).
- *Diagrama de Bloques*: es el programa propiamente dicho, donde se define su funcionalidad, aquí se colocan íconos que realizan una determinada función y se interconectan (el código que controla el programa).

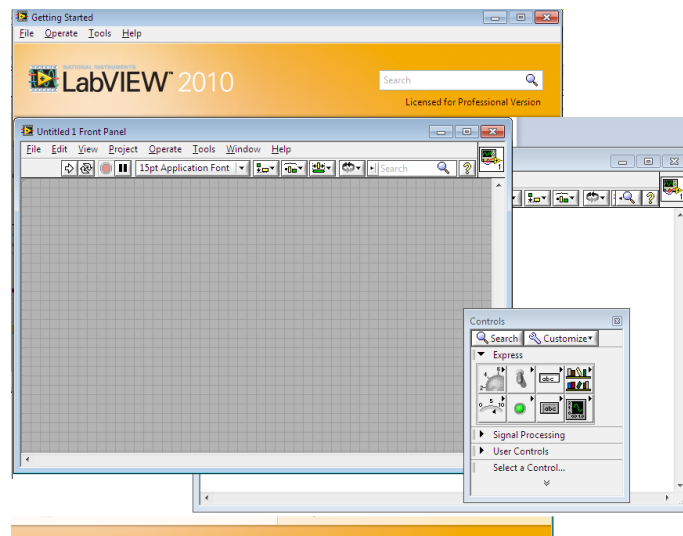


Grafico Nº 59. **PANEL FRONTAL Y DIAGRAMA DE BLOQUES DE LABVIEW**
Fuente: <http://www.ni.com/home>

CONTROL DE TIEMPOS DE OPERACIÓN

Para un control de temperaturas efectivo se ha investigado que el sistema debería operar con un control PID (proporcional integral derivativo), ya que este calcula los tiempos de conexión y desconexión del horno para estabilizar la temperatura a un nivel adecuado.

Funcionamiento del control PID.

La combinación de una acción de control proporcional, una acción de control integral y una acción de control derivativa se denomina PID. Esta acción combinada tiene las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales.

El control PID mejora el transitorio (disminuye el sobrepico) y establece en mejor tiempo el valor de proceso

Para el correcto funcionamiento de un controlador PID que regule un proceso o sistema se necesita, al menos:

1. Un sensor, que determine el estado del sistema (termómetro, caudalímetro, manómetro, etc).
2. Un controlador, que genere la señal que gobierna al actuador.
3. Un actuador, que modifique al sistema de manera controlada (resistencia eléctrica, motor, válvula, bomba, etc).

El sensor proporciona una señal analógica o digital al controlador, la cual representa el *punto actual* en el que se encuentra el proceso o sistema. La señal puede representar ese valor en tensión eléctrica, intensidad de corriente eléctrica o frecuencia. En este último caso la señal es de corriente alterna, a diferencia de los dos anteriores, que son con corriente continua.

El controlador lee una señal externa que representa el valor que se desea alcanzar. Esta señal recibe el nombre de punto de consigna (o punto de referencia), la cual es de la misma naturaleza y tiene el mismo rango de valores que la señal que proporciona el sensor. Para hacer posible esta compatibilidad y que, a su vez, la señal pueda ser entendida por un humano, habrá que establecer algún tipo de interfaz (HMI-Human Machine Interface), son pantallas de gran valor visual y fácil manejo que se usan para hacer más intuitivo el control de un proceso.

El controlador resta la señal de punto actual a la señal de punto de consigna, obteniendo así la señal de error, que determina en cada instante la diferencia que hay entre el valor deseado (consigna) y el valor medido. La señal de error es utilizada por cada uno de los 3 componentes del controlador PID. Las 3 señales sumadas, componen la señal de salida que el controlador va a utilizar para gobernar al actuador. La señal resultante de la suma de estas tres se llama variable manipulada y no se aplica directamente sobre el actuador, sino que debe ser transformada para ser compatible con el actuador que usemos.

Las tres componentes de un controlador PID son: parte Proporcional, acción Integral y acción Derivativa. El peso de la influencia que cada una de estas partes tiene en la suma final, viene dado por la constante proporcional, el tiempo integral y el tiempo derivativo, respectivamente. Se pretende lograr que el bucle de control corrija eficazmente y en el mínimo tiempo posible los efectos de las perturbaciones.

Estructura PID

Consideramos el lazo básico de control de una entrada y una salida

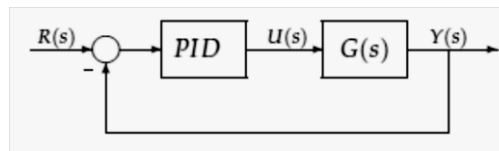


Grafico Nº 60. LAZO BÁSICO DE CONTROL
Fuente: <http://iaci.unq.edu.ar/caut1>

Los miembros de la familia de controladores PID, incluyen tres acciones: proporcional (P), integral (I) y derivativa (D). Estos controladores son los denominados P, I, PI, PD y PID.

P: acción de control proporcional, da una salida del controlador que es proporcional al error, es decir: $u(t) = K_P \cdot e(t)$, que descrita desde su función transferencia queda:

$$C_p(s) = K_p$$

donde K_p es una ganancia proporcional ajustable. Un controlador proporcional puede controlar cualquier planta estable, pero posee desempeño limitado y error en régimen permanente (off-set).

I: acción de control integral: da una salida del controlador que es proporcional al error acumulado, lo que implica que es un modo de controlar lento.

$$u(t) = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \quad C_i(s) = \frac{K_i}{s}$$

La señal de control $u(t)$ tiene un valor diferente de cero cuando la señal de error $e(t)$ es cero. Por lo que se concluye que dada una referencia constante, o perturbaciones, el error en régimen permanente es cero.

PI: acción de control proporcional-integral, se define mediante

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau$$

donde T_i se denomina tiempo integral y es quien ajusta la acción integral.

Con un control proporcional, es necesario que exista error para tener una acción de control distinta de cero. Con acción integral, un error pequeño positivo siempre nos dará una acción de control creciente, y si fuera negativa la señal de control será decreciente. Este razonamiento sencillo nos muestra que el error en régimen permanente será siempre cero.

Muchos controladores industriales tienen solo acción PI. Se puede demostrar que un control PI es adecuado para todos los procesos donde la dinámica es esencialmente de primer orden. Lo que puede demostrarse en forma sencilla, por ejemplo, mediante un ensayo al escalón.

PD: acción de control proporcional-derivativa, se define mediante:

$$u(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

donde T_d es una constante de denominada tiempo derivativo. Esta acción tiene carácter de previsión, lo que hace más rápida la acción de control, aunque tiene la desventaja importante que amplifica las señales de ruido y puede provocar saturación en el actuador.

La acción de control derivativa nunca se utiliza por sí sola, debido a que sólo es eficaz durante períodos transitorios.

Cuando una acción de control derivativa se agrega a un controlador proporcional, permite obtener un controlador de alta sensibilidad, es decir que responde a la velocidad del cambio del error y produce una corrección significativa antes de que la magnitud del error se vuelva demasiado grande. Aunque el control derivativo no afecta en forma directa al error sea estado estacionario, añade amortiguamiento al sistema y, por tanto, permite un valor más grande que la ganancia K , lo cual provoca una mejora en la precisión en estado estable.

PID: acción de control proporcional-integral-derivativa, esta acción combinada reúne las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales. La ecuación de un controlador con esta acción combinada se obtiene mediante:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

En fin la estructura PID ha mostrado empíricamente ofrecer suficiente flexibilidad para dar excelentes resultados en muchas aplicaciones.

Y en resumen el término básico en el controlador PID es el proporcional **P**, que origina una actuación de control correctiva proporcional el error. El término integral **I** brinda una corrección proporcional a la integral del error. Esta acción tiene la ventaja de asegurar que en última instancia se aplicará suficiente acción de control para reducir el error de regulación a cero. Sin embargo, la acción integral también tiene un efecto desestabilizador debido al corrimiento de fase agregado. El término derivativo **D** da propiedades predictivas a la actuación, generando una acción de control proporcional a la velocidad de cambio del error. Tiende dar más estabilidad al sistema pero suele generar grandes valores en la señal de control.

Varios métodos empíricos pueden usarse para determinar los parámetros de un PID para una dada aplicación. Sin embargo, el ajuste obtenido debe tomarse como un primer paso en el proceso de diseño.

Influencia en el acero por el tratamiento térmico.

Básicamente las reacciones que se buscan al tratar térmicamente los aceros son el cambio del tamaño de grano en las fases del acero, consiguiendo así las propiedades mecánicas que se requieren para alguna sollicitación, produciendo éste un cambio en su dureza, tenacidad, resistencia, etc, y para alcanzar estas propiedades mecánicas se debe someter al acero a intervalos definidos de temperatura y tiempos de permanencia

Con lo dicho anteriormente básicamente se busca el cambio del tamaño de grano como su microestructura para poder conseguir las propiedades mecánicas que se requieren para alguna aplicación. Ciertamente los tratamientos térmicos del acero es la base para obtener las propiedades mecánicas requeridas, es por eso que se debe realizar un análisis posterior para determinar si se han transformado las estructuras metalográficas a las que se deseaban y poder estar más seguros de nuestro diseño.

Propiedades físicas del material en función del tamaño del grano:

En términos generales podemos decir que los materiales con una estructura de grano fino presentan mayor tenacidad o resistencia al choque, más dureza y resistencia a la tracción que las estructuras de grano basto o grueso.

Tratamientos térmicos del acero:

El tratamiento térmico del acero es el proceso en que el acero, en estado sólido, es sometido a uno o varios ciclos de calentamiento y enfriamiento para variar alguna o algunas de sus propiedades en la forma deseada.

Los tratamientos térmicos más importantes suponen la transformación o descomposición de la austenita. El primer paso en el tratamiento térmico de un acero consiste en conseguir su austenización, calentándolo por una temperatura igual o superior a la crítica. En la mayoría de los casos la importancia de la velocidad de calentamiento del acero no es tan importante

como los demás factores que intervienen, exceptuando los materiales que han sido previamente deformados en frío, ya que aparecen una serie de tensiones internas, y pueden deformarse.

Como regla general podemos decir que mientras más lento sea el calentamiento del material menor será el daño sufrido por este.

TEMPLE:

Es un tratamiento que consiste en endurecer el estado natural del acero.

El modo de proceder es normalizar el acero si previamente a sido sometido a mecanizados a un precalentamiento de aprox. 400° durante un tiempo especificado y después calentar el acero a una temperatura entre los (850°/950°) aprox. y los tiempos indicados para cada tipo de acero y enfriarlo rápidamente en baños de aceite aprox. a 15° o al aire según conveniencias de las durezas a obtener. Solo se pueden temprar aceros que contengan más de 0,3 % de carbono.

Los defectos más comunes del temple son: falta de dureza, por someterlos a temperaturas demasiado bajas o un enfriamiento demasiado lento. Deformaciones, pueden ser debido a calentamientos o enfriamientos no uniformes. Grietas, debidas a enfriamientos demasiado rápidos.

Hay diferentes tipos de temples según las exigencias del material. Temple Isotérmico, temple Bainítico etc.

Las durezas obtenidas generalmente por estos procedimientos oscilan entre los 50-62 Rc. Para obtener mayores durezas actualmente se están empleando recubrimientos especiales

Formación atómica:

Cuando el enfriamiento se realiza a temperaturas bajas o moderadas, los átomos de carbono pueden salir, por difusión, de la estructura de la austenita, reagrupándose los átomos de hierro en la estructura de BCC.

Esta transformación de ferrita gamma en ferrita alfa se realiza por un proceso de nucleación y crecimiento en función del tiempo. Si la velocidad de enfriamiento aumenta, el carbono no tiene suficiente tiempo para emigrar, por difusión, de la solución, y aunque los átomos de hierro se desplazan ligeramente, no pueden llegar a alcanzar la estructura de BCC, porque parte del carbono queda retenido en la solución. La estructura resultante, denominada martensita, es una solución sólida sobresaturada de carbono retenido en una estructura tetragonal de BCC. Por consiguiente la celdilla unidad, queda con dos lados iguales y un tercero mayor debido al carbono retenido. Esta distorsión es la causa de la elevada dureza de la martensita.

Como la celdilla de ésta es menos compacta que la de la austenita, esta transformación lleva consigo un aumento de volumen, el cual crea una serie de tensiones internas localizadas que dan lugar a la deformación plástica de la matriz. Después de un enfriamiento brusco (temple), la martensita observada aparece en forma de agujas blancas o estructura acicular, que a veces se describe como un "montón de paja". En la mayor parte de los aceros la martensita aparece de forma difusa, mientras que en las aleaciones altas de carbono la estructura acicular de la martensita está definida con mayor claridad.

Entre las características de este proceso destacan:

- En esta transformación no se presenta el fenómeno de la difusión, realizándose sin variación en la composición química. La transformación consiste en el cambio brusco de la estructura cristalina de pequeñas cantidades de austenita, provocado por dos acciones de cizallamiento.
- La transformación se realiza solamente mientras dura el enfriamiento, cesando al interrumpirse éste. Por tanto, la transformación depende solamente de la temperatura, siendo independiente del tiempo, además la cantidad de martensita que se forma no guarda una relación lineal con el descenso de temperatura. Así, al principio el número de agujas es pequeño, después aumenta, para luego disminuir acabando la transformación.

- La temperatura martensita de una aleación determinada no se interrumpe, ni la temperatura de comienzo de la transformación se modifica, al variar la velocidad de enfriamiento. Esta temperatura parece ser solo función de la composición química.

- La martensita no está probablemente nunca en equilibrio, aunque su estructura se conserve indefinidamente a la temperatura ambiente, o a temperaturas muy próximas a esta. Se puede considerar como una estructura de transición entre la fase austenita metaestable y la ferrita que aparece en el equilibrio final.

- Aunque la martensita tiene más dureza que la austenita de la que procede, las durezas elevadas solo se consiguen en los aceros con un contenido en carbono suficiente, siendo la dureza máxima que se obtiene en un acero en estado martensítico función solamente del contenido en carbono. Antes se pensaba que la transformación martensita era exclusivamente de los aceros. Posteriormente se demostró que también puede aparecer en aleaciones no ferreas y también en metales puros y compuestos químicos.

Con el temple lo que se pretende es conseguir una estructura totalmente martensítica, y se realiza a la velocidad mínima de enfriamiento que impida la formación de productos de transformación más blandos. Esta velocidad se denomina velocidad crítica de temple, constituye una propiedad importante del acero, puesto que indica la rapidez con que debe enfriarse para que se forme solo martensita. Esta velocidad es función de la composición química del acero y del tamaño de grano austenítico.

- Homogeneidad de la austenita (control de la formación de la martensita):

En el temple, los granos de austenita más pobres en carbono, como tienen una velocidad crítica elevada, tenderán a transformarse en estructuras no martensíticas, mientras que los de mayor contenido en carbono, al poseer una velocidad crítica de temple pequeña, se transformarán en martensita. Esto da lugar a que la estructura formada no sea uniforme y posea una dureza

variable. Este inconveniente puede evitarse calentando el material muy lentamente, con lo cual el carbono se difunde obteniéndose en el temple una microestructura uniforme. No obstante, la excesiva duración de este proceso hace que industrialmente no sea aplicable. Resulta más adecuado mantener el material durante un cierto tiempo a la temperatura de austenización, ya que a esta temperatura el carbono se difunde más rápidamente, y la uniformidad se logra al cabo de un breve periodo de tiempo

INFLUENCIA DEL TRABAJO EN FRÍO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS METALES

Todas las características de los metales que dependen de su estructura cristalina son afectadas por las deformaciones plásticas o trabajo en frío.

Así, la resistencia a la tracción, el límite de elasticidad práctico y la dureza aumentan, mientras que la ductilidad, expresada por el porcentaje de alargamiento, disminuye. Sin embargo no todas varían en la misma medida.

Así, por ejemplo, la dureza aumenta por lo general con mayor rapidez en el primer 10 %, de reducción, mientras que el aumento de resistencia a la tracción es sensiblemente lineal.

La distorsión de las estructuras cristalinas obstaculiza el movimiento de los electrones, por lo que la conductividad eléctrica disminuye. Esta disminución es pequeña en los metales puros, aunque en las aleaciones adquiere cierta importancia.

El aumento de energía interna, principalmente en los contornos de grano, trae como consecuencia una disminución de la resistencia del material a la corrosión, al hacerlo más susceptible a la corrosión intergranular.

REVENIDO:

Es un tratamiento complementario del temple, que generalmente sigue a éste. Al conjunto de los dos tratamientos también se le denomina "bonificado".

Este tratamiento consiste en calentar el material sin exceder la temperatura crítica inferior, después de lo cual se procede a enfriar las piezas, generalmente al aire.

La temperatura del revenido influye en el sentido de que la dureza y la fragilidad son tanto menores, cuando mayor es la temperatura de calentamiento.

El ablandamiento de la martensita se produce como consecuencia de un fenómeno de precipitación de cementita a partir de la martensita. La estructura así obtenida, que puede presentar diversos aspectos al microscopio, según el grado de precipitación alcanzado, se denomina martensita revenida. En el límite, con revenidos a temperaturas próximas a A_1 , la martensita se transforma en ferrita y cementita, alcanzándose una estructura de tipo globular equivalente a las obtenidas por reconocidos de globalización.

La martensita tiene estructura tetragonal centrada, y puede considerarse como una ferrita sobresaturada de carbono (la sobresaturación es la responsable de deformar la estructura cúbica en tetragonal). El revenido, al permitir la reducción del carbono disuelto en la martensita, hace que ésta tienda hasta la ferrita.

Los fines que se consiguen con este tratamiento son los siguientes:

- Mejorar los efectos del temple, llevando al acero a un estado de mínima fragilidad.
- Disminuir las tensiones internas de transformación, que se originan en el temple.
- Modificar las características mecánicas, en las piezas templadas.
- Disminuir la resistencia a la rotura por tracción, el límite elástico y la dureza.
- Aumentar las características de ductilidad; alargamiento estiración y las de tenacidad; resistencia.

6.7. METODOLOGÍA

6.7.1. Modelo Operativo (Cuadro N° 36)

OBJETIVOS	CONTENIDOS	ACTIVIDADES	RECURSOS	RESPONSABLES	TIEMPO	EVALUACIÓN
Selección del Sistema de Control Automático	Investigaciones y Selecciones de Componentes de Control	Socialización en el laboratorio	Internet Computador Libros de texto Laboratorios	Carlos Calderón	1 mes	Autoevaluación de aceptación de la propuesta
		Selección de instrumentos adecuados				
Definición y Tecnicificación de la Propuesta	Diseño y construcción del Sistema de control	Selección de materiales idóneos	Computador Material electrónico Programador Textos	Técnico Electrónico Investigador	1 mes	Pruebas de funcionamiento
		Toma de decisiones				
		Construcción de la propuesta				
		Presentación				
Implementación del Sistema de Control de Tiempos y Temperaturas	Ejecución de la Propuesta	Puesta en marcha de la propuesta de acuerdo a las fases programadas	Equipo de cómputo Equipo desarrollado	Carlos Calderón	1 trimestre	Control de tiempos
		Corrección de posibles fallas e instrucciones de utilización	Textos, equipo de control			
Evaluación de la Propuesta	Pruebas de Funcionamiento y Programación			Carlos Calderón Técnico electrónico	1 trimestre	Control de tiempos

Elaborado por: Carlos Calderón

El sistema de control de tiempos implementado contiene dos actuadores tipo relés los cuales respectivamente encienden o apagan un contactor y el sistema de control anterior. El hardware funciona a un voltaje de 110v o 220v según la conveniencia, y toma su temperatura a través de una termocupla tipo k para luego presentarla en un display matricial led, y al mismo tiempo transmitirlo a un software de control por computadora; a continuación se describe en detalle el proceso completo para la construcción, programación y pruebas de funcionamiento que se han realizado.

Funcionamiento del sistema de control.

La función específica que cumple en su conjunto el sistema se detalla a continuación mediante un diagrama de bloques.

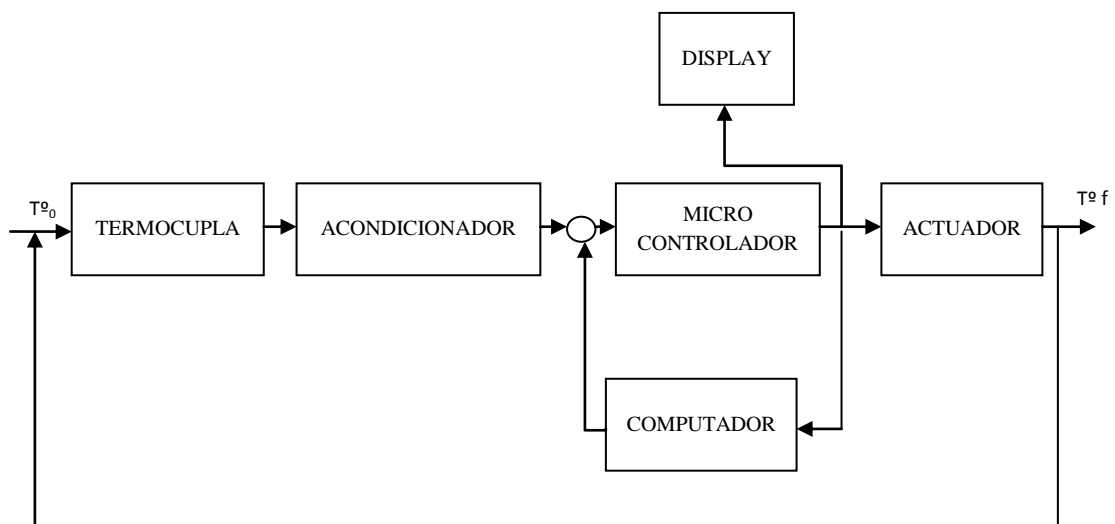


Gráfico N° 61. **Diagrama de Bloques del Sistema de Control**
 Elaborado por: Carlos Calderón

En el diagrama anterior se describe el funcionamiento del sistema cerrado del controlador de tiempos para el horno de mufla. Luego de esta ilustración se detalla paso a paso el funcionamiento y construcción de cada uno de los elementos que conforman el sistema.

Hardware de control

El hardware de interfaz de control que se realizó, fue construido de acuerdo a diferentes criterios de selección de implementos que cumplan con las necesidades que presenta el sistema basándose en la teoría de diferentes autores y en el criterio personal del autor de este proyecto con la ayuda de especialistas en este tema; a continuación se presentan las siguientes etapas en la construcción del proyecto.

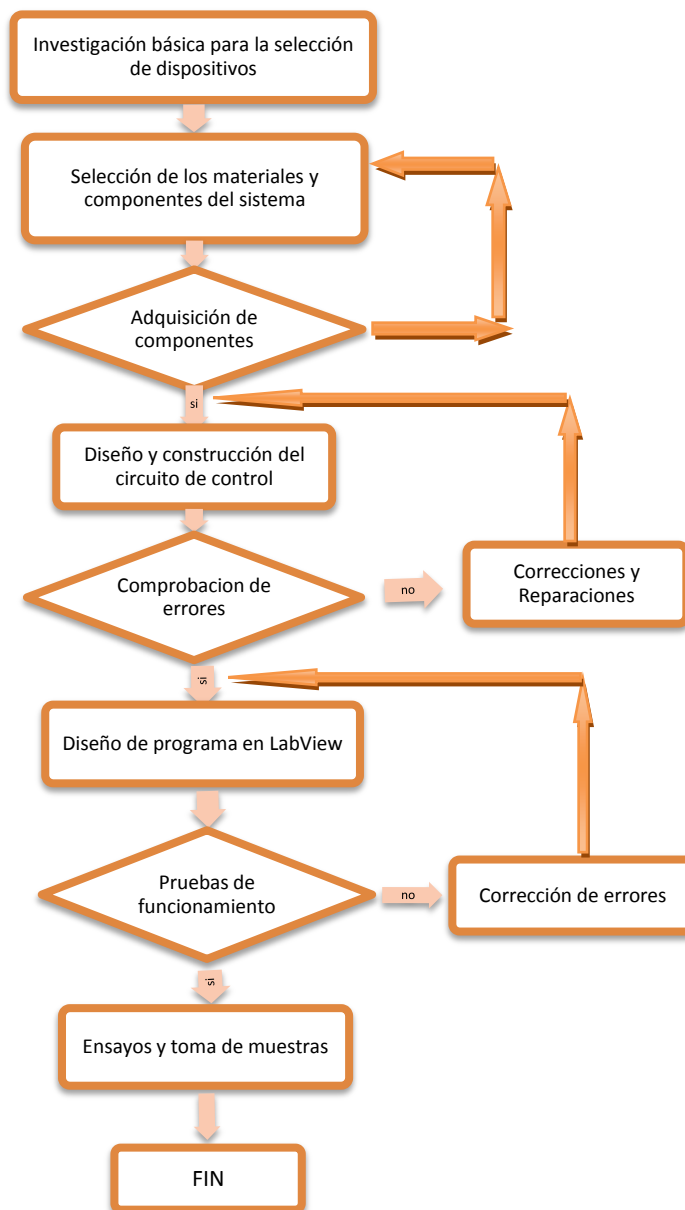


Gráfico N° 62. *Diagrama de flujo de la realización del sistema de control*
Elaborado por: Carlos Calderón

Circuito de control

El circuito de control contiene varias etapas por la que se debe transformar y procesar la información para poder ser utilizada; en primera instancia el circuito debe transformar la energía disponible a energía utilizable por medio de un transformador eléctrico, rectificadores de onda, reguladores de voltaje, capacitores, etc.

Luego de esto el circuito tiene que procesar y transformar a un dato utilizable la fuerza electro motriz expresada en milivoltios proveniente de la termocupla tipo “k”, que luego será utilizada por el microcontrolador para formular la temperatura enviándola luego a un display y también por medio de comunicación RS232 a la computadora designada para su control, cuyo programa cumple con los parámetros necesarios para un manejo eficiente de la temperatura en el horno.

En el gráfico número 53 se visualiza a manera general todas las partes del circuito para un mejor entendimiento de lo que se ha expresado.



Gráfico N° 63. *Sistema de Control Eléctrico*
Elaborado por: Carlos Calderón

Etapa de transformación de la energía

Esta etapa es necesaria para transformar la energía disponible, en este caso 220V, a la tensión con la que trabaja este circuito electrónico, que es de 12V para la activación de algunos dispositivos y de 5V para el funcionamiento de la mayoría de sus componentes.

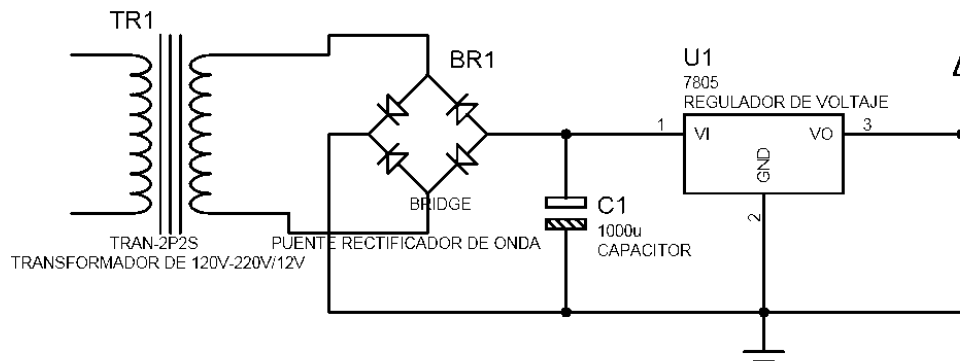


Gráfico Nº 64. *Diagrama de Transformación de Energía*
Elaborado por: Carlos Calderón

En este circuito primario la tensión alterna de 220V disponible pasa por el devanado primario del transformador hacia el secundario para reducirse a 12 voltios, luego de esto se coloca un puente de diodos para rectificar la onda eléctrica transformándola de corriente alterna a corriente directa. Finalmente se ubica un capacitor o filtro de 1000 µf luego del puente de diodos para obtener una señal continua. Esto servirá para la activación de algunos dispositivos que funcionan a 12 V como son los relés y el ventilador; finalmente para el funcionamiento de los demás componentes es necesario colocar un regulador de voltaje, en este caso el 7805, que sirve para reducir y estabilizar la tensión a 5VDC, con lo que se completa esta etapa para el funcionamiento total del circuito.

Integración del acondicionador de termocupla MAX6675 con el circuito

El acondicionador de termocupla MAX6675 es el encargado de recibir la fem producida por el termopar y en el interior de éste se encuentra la electrónica necesaria para amplificar, compensar y convertir a digital el voltaje generado por la termocupla tipo “k”, lo que a su vez gracias a que tiene comunicación SPI de solo lectura, que es un tipo de comunicación serial entre dispositivos, hace muy

sencilla la tarea de conectar la termocupla al acondicionador para que lo procese un microcontrolador.

Existen algunas consideraciones que se tomaron en cuenta para la utilización de este dispositivo, como es el voltaje de funcionamiento que va desde 3.3 a máximo 5 voltios, con un consumo máximo de 1.5mA

Además se utilizó este encapsulado porque es capaz de medir y transformar temperaturas de hasta 1024 °C con una resolución de 12 bits o 0.25 grados centígrados, y tiene compensación de temperatura de junta fría.

Lo único que se debe tomar en cuenta es que al MAX6675 le toma alrededor de 220 milisegundos como máximo completar una conversión, por lo que como máximo se leerá el valor de la temperatura unas 4 o 5 veces por segundo.

Para un mejor entendimiento de la estructura interna de este encapsulado se hace referencia el gráfico N° 39 de este documento, en el cual se describe sus componentes internos con detalle para evidenciar las ventajas de la utilización de este dispositivo.

A continuación se presenta una imagen real del dispositivo implementado en el circuito de control.

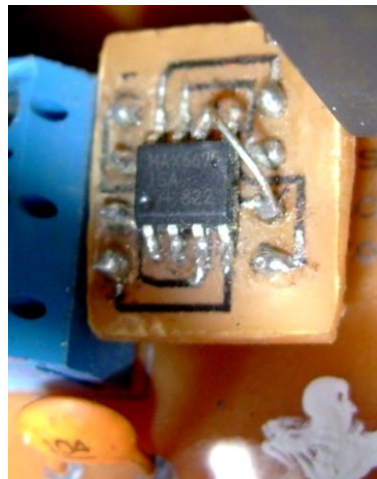


Gráfico N° 65. *Circuito Integrado MAX6675*
Fuente: Sistema de control electrónico

Etapa de utilización y procesamiento de datos

En esta etapa del circuito electrónico se utiliza un microcontrolador PIC 18F2550, que es en si el encargado de procesar, transmitir y comandar los datos para el control del horno con la utilización de un software de control por computadora.

Esto se lo realiza luego de la adquisición y transformación del dato transmitido del encapsulado MAX 6675 proveniente de la termocupla tipo “k”, que de acuerdo a su hoja de datos se debe colocar un condensadores de 0.1 μ f entre la entrada de voltaje y tierra para su buen funcionamiento.

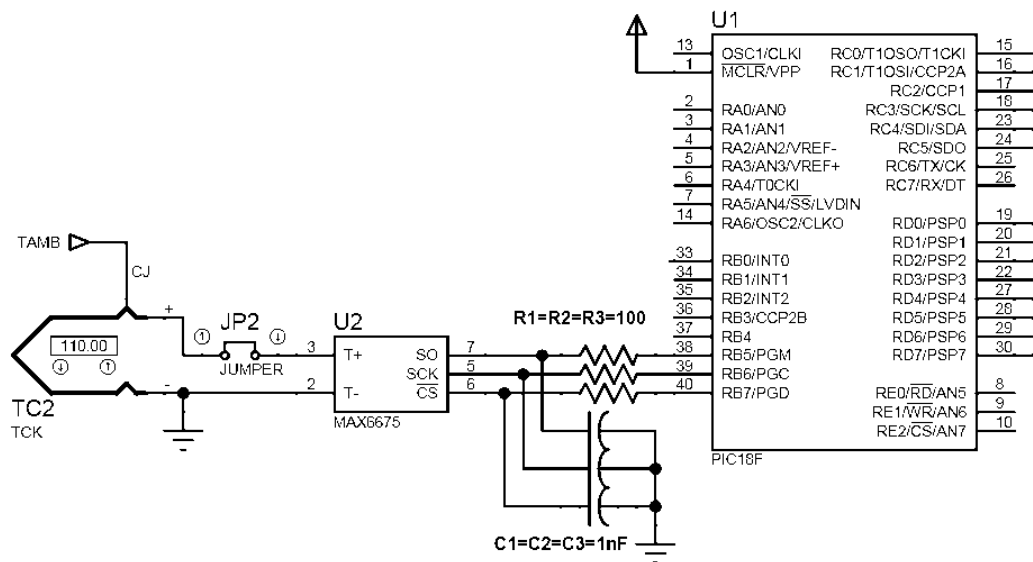


Gráfico N° 66. *Esquema de Conexión Termocupla- MAX6675-PIC*
Elaborado por: Carlos Calderón

Luego de acondicionar la señal es transmitida mediante comunicación SPI (serial peripheral interface) al microcontrolador antes mencionado, que procesa los bits de entrada y los transmite a una pantalla matricial led mediante comunicación I2C (que es otro sistema de comunicación serial) para su observación directa en el horno, y adicionalmente a la computadora mediante comunicación RS232 ubicada a 8 metros de distancia.

Esta comunicación se lo garantiza mediante un circuito integrado MAX232 que es el encargado de transformar a las tensiones necesarias para asegurar que no exista interferencia o ruido en la comunicación con la computadora.

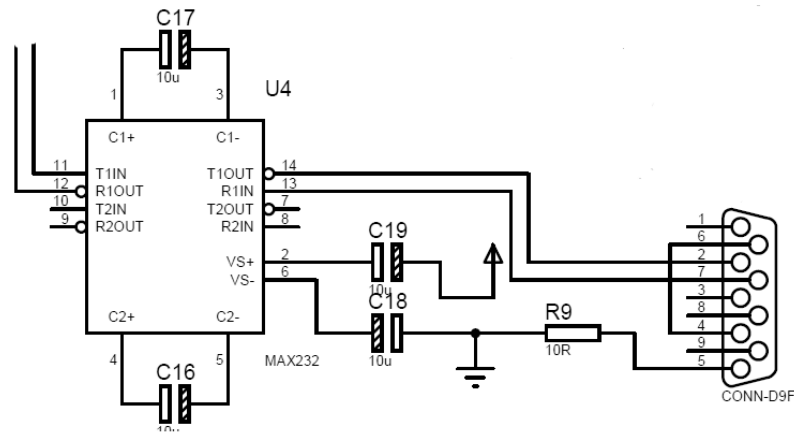


Grafico Nº 67. **Diagrama de Conexión MAX232**
Fuente: Diagrama de Control. Carlos Calderón

Adicionalmente se ubicó un pequeño parlante que servirá para dar una señal sonora al momento que el proceso que se quiere realizar haya terminado, este se activa mediante un transistor por el envío de una frecuencia específica de pulsos que genera el microcontrolador que van desde 0 Hz a los 32767 Hz.

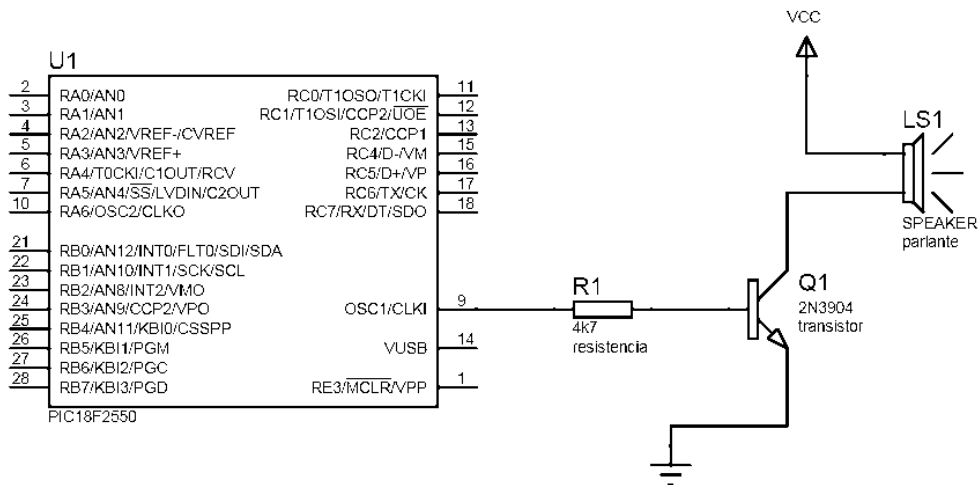


Grafico Nº 68. **Diagrama de Conexión del parlante**
Elaborado por: Carlos Calderón

Luego de esto se pasa a la etapa de control electromecánico en el que se utilizó dos relés de 12V, que se activan respectivamente por un transistor al recibir la señal que envía el microcontrolador; el primer relé sirve para prender o apagar el modulo de control original del horno de mufla, y el segundo relé tiene la función de activar o desactivar el contactor que maneja el encendido de las resistencias eléctricas del horno.

Finalmente se instaló un ventilador de 12 voltios que fue ubicado a un costado de la caja, con la finalidad de mantener a un nivel adecuado la temperatura interna de la caja para que la medición y transformación de la temperatura del horno a cargo del MAX6675 no varíe en gran medida, ya que este tiene un compensador interno de temperatura ambiente.



Gráfico Nº 69. *Ventilador del Sistema*
Fuente: Sistema de Control Electrónico

Presentación de la Temperatura en el Horno

Para la presentación de la temperatura que se encuentra en el interior del horno de mufla se ha dispuesto la utilización de display`s matriciales que mejora de gran manera su visualización en comparación con el actual sistema.

Los display`s que se utilizaron son matrices de 5x8 leds de color rojo y para el despliegue de los caracteres correspondientes los controla el microcontrolador pic18f2550 por los puertos c6 y c7, mediante comunicación serial síncrona I²C.



Gráfico N° 70. **Display Matricial**
 Fuente: Sistema de Control Digital

El circuito electrónico funciona en su totalidad de la manera descrita anteriormente y ha sido construido con la ayuda de un tecnólogo electrónico para garantizar su buen funcionamiento de acuerdo a las necesidades que el investigador lo ha expresado. A continuación se presenta un diagrama del diseño del dispositivo, en él se indica en detalle los componentes utilizados con sus respectivos valores.

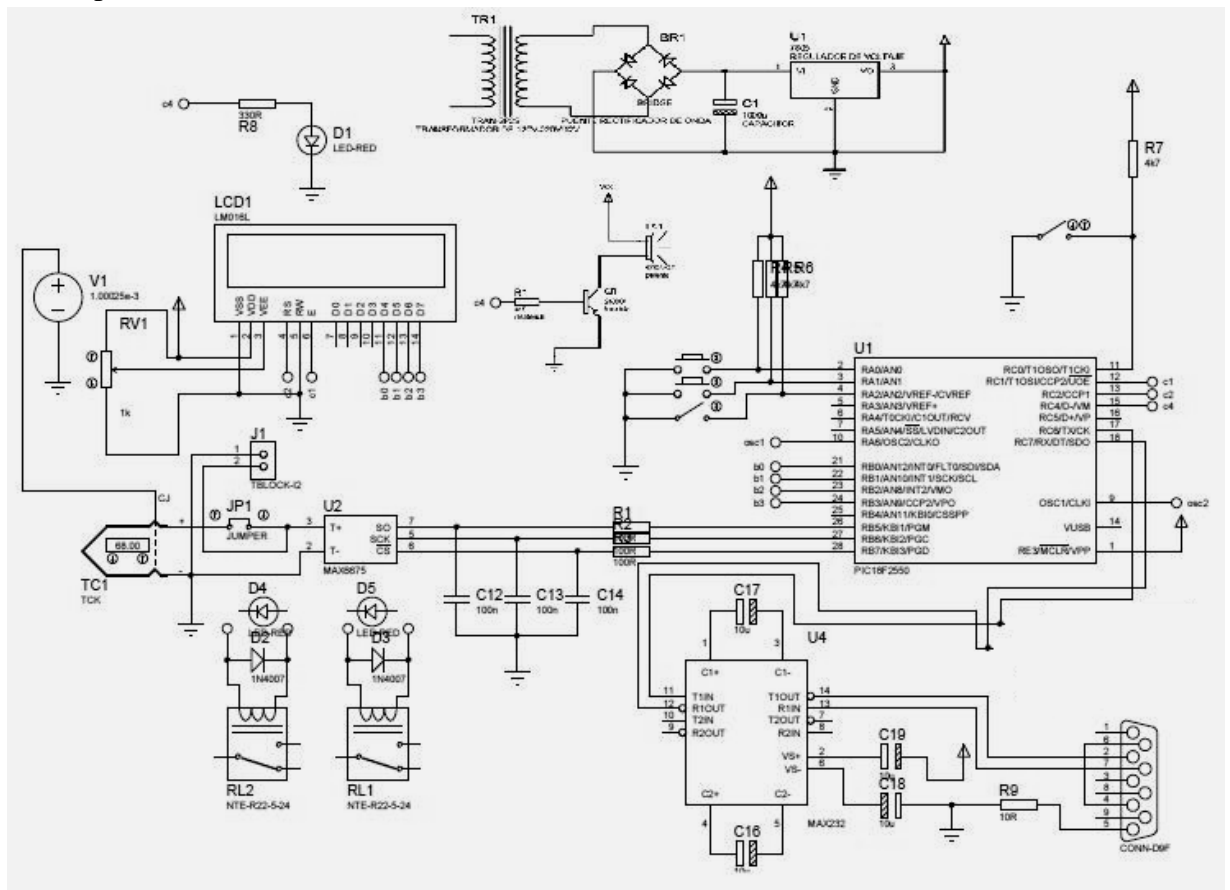


Gráfico N° 71. **Diagrama del Circuito Electrónico de Control**
 Fuente: Sistema de Control Digital
 Elaborado por: Liberman Freire

La siguiente imagen hace referencia al dispositivo electrónico ya construido y se puede apreciar todos sus componentes en su forma real para una mejor comprensión.

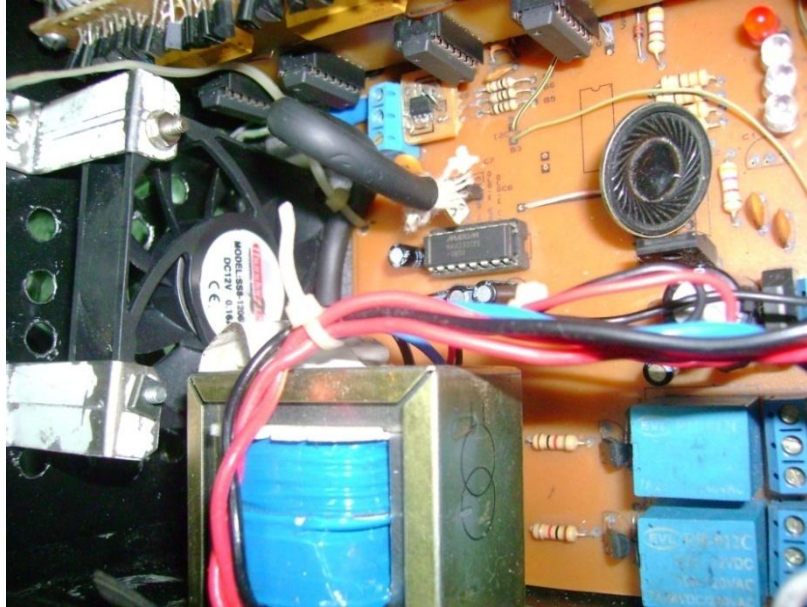


Gráfico N° 72. **Circuito Electrónico de Control**
Fuente: Sistema de Control Electrónico
Elaborado por: Líberman Freire

Como se ha podido observar el sistema de control electrónico es un instrumento compacto, fácil de instalar y se lo puede controlar de una manera muy sencilla a través de una computadora utilizando un software de control, en este caso se utiliza LabView, además que presenta una excelente visualización de la temperatura en su display. En el siguiente gráfico se presenta el dispositivo para el manejo de la temperatura en el horno de mufla terminado y funcionando.



Gráfico N° 73. **Sistema de Control Electrónico manejado por Computadora**
Diseñado por: Carlos Calderón
Elaborado por: Líberman Freire

Software de la interfaz de control

El software de interfaz de control se encuentra grabado en el microcontrolador PIC 18F2550 en código hexadecimal, ya que es el código compilable para grabarlo en el PIC, pero el desarrollo del programa se lo hizo en lenguaje de alto nivel tipo Basic el cual resulta mucho más comprensible y sencillo de realizarlo.

El programa de interfaz de control realizado para comandar el dispositivo electrónico a través de las señales emitidas por el programa de control en la computadora se procesa y funciona de la siguiente forma.

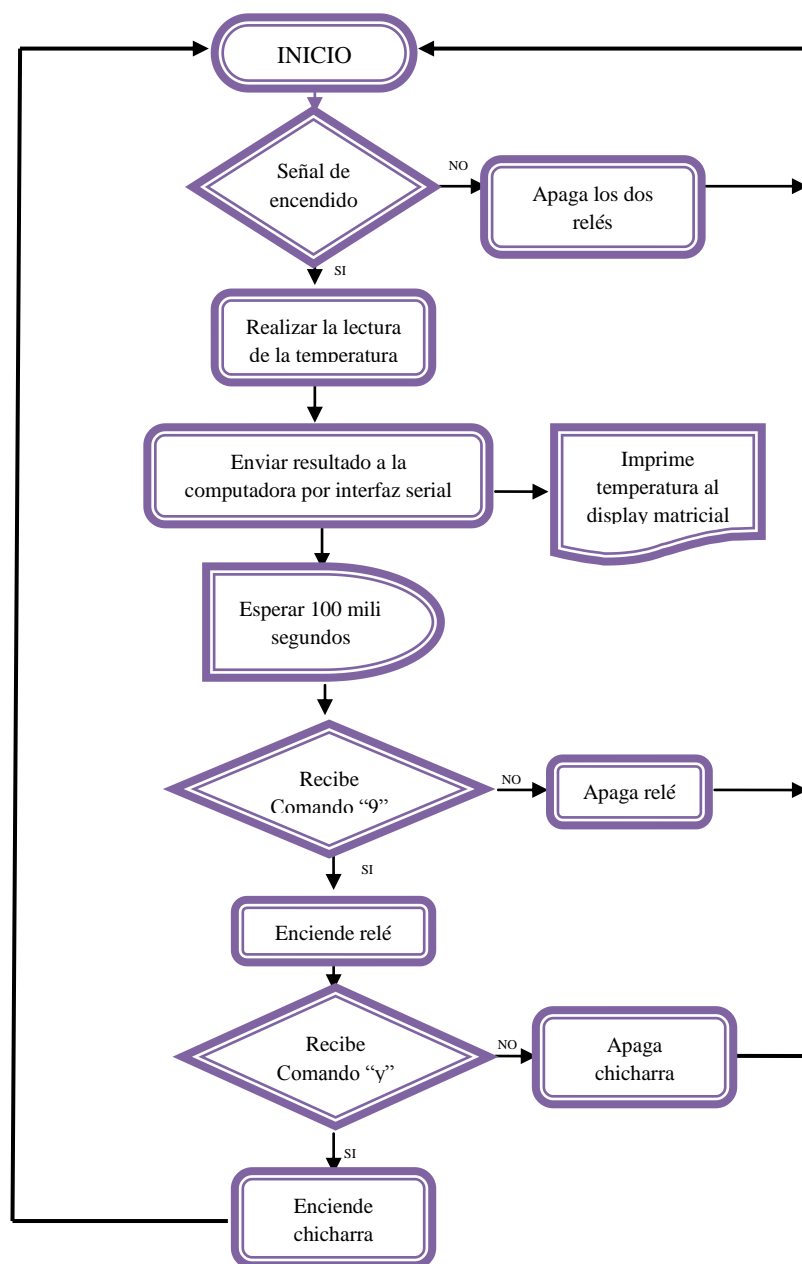


Gráfico N° 74. *Diagrama de Flujo del programa en el microcontrolador*
Elaborado por: Carlos Calderón

El programa que se ejecuta en el microcontrolador controla el encendido de dos relés de 12V, envió de la temperatura leída a la computadora por interfaz RS232, envió del dato de la temperatura leída al display matricial, y lo más importante, la lectura de la temperatura del horno de mufla tomada por el termopar tipo “k” y procesada por el acondicionador de termocupla MAX6675; adicionalmente se controla tres leds como indicadores para verificar el funcionamiento de los respectivos procesos ejecutados.

En la programación en lenguaje Basic que se realizó para el control del PIC se puede distinguir algunos comandos que en si son la base para el funcionamiento del circuito electrónico, como es la lectura del acondicionador MAX6675 que se lo realiza con el comando

```
SERIN port b.0, N2400, datos
```

Que quiere decir que lee el valor serial que está enviando el dispositivo por un puerto especificado a 2400 baudios, a 8 bits de datos con 1 bit de parada en dato invertido y lo guarda en la variable de almacenamiento llamada “datos”

Una vez que esto ha sucedido se procesa el valor y se envía el dato por comunicación I²C a la pantalla matricial de la siguiente manera

```
DEFINE I2C_SCLOUT 1 ; para que no necesite resistencia pull-up en SCL  
I2CWRITE portb.6, potb.7, %10100000, 0, [dato];
```

En la instrucción anterior **I2CWRITE** habilita la escritura en el formato I²C, las demás instrucciones hacen referencia a:

pin dato, pin reloj, control, posición memoria, variable.

Adicionalmente este dato procesado se lo envía a una computadora para su control mediante la norma RS232 con la ayuda de un CI MAX232. Como la comunicación con la computadora es de escritura y lectura se utilizan dos comandos para la programación del PIC los cuales son:

```
SERIN portc. 6, T9600, datoingreso
```

```
SEROUT portc. 7, T9600, dato
```

Que quiere decir que envía o recibe el dato serial por los pines especificados (portc. 6 y portc. 7) a 9600 baudios (bits/s) con 8 bits de datos y 1 bit de parada en dato verdadero.

Una vez procesado el dato en la computadora el microcontrolador espera la respuesta para poder encender o apagar los relés y el parlante, respectivamente, dependiendo la variable que reciba en este caso “0” enciende el primer relé, “9” enciende el segundo relé y el comando “y” enciende la chicharra.

Para esto se utilizan básicamente las siguientes líneas de comando:

```
SERIN portc. 6, T9600, entrada  
IF entrada= “0” THEN HIGH portb.1  
ELSE  
LOW portb.1  
ENDIF  
RETURN
```

Todo esto significa que el microcontrolador recibe el dato serial por el puerto especificado a dato verdadero a 9600 baudios 8T1 y lo guarda en la variable “entrada”. Si la entrada es igual a “0” entonces enciende el rele1, caso contrario lo apaga y luego retorna el subcomando para realizar otras funciones y volver a realizar la instrucción.

Software de control por computadora

El software de control por computadora que se utilizó en la realización del proyecto es LabView, debido a su fácil programación y su intuitiva utilización. Para esta programación se utilizó la versión estudiantil de prueba 2010 de labview, por lo que se recomienda que la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica actualice su licencia de la versión 7 a la versión 2010.

Para el control de temperatura en el horno se utilizó bloques del sistema que ayudan a programar de una manera más exacta y rápida.

Estos bloques deben ser configurados de tal manera para que las variables que ingresan se procesen y realicen las instrucciones que el usuario necesita.

En éste programa es donde prácticamente se realizan todas las operaciones para el control del horno y la generación de reportes. A continuación se presenta un diagrama de flujo en donde se explica el proceso que se realiza en el programa.

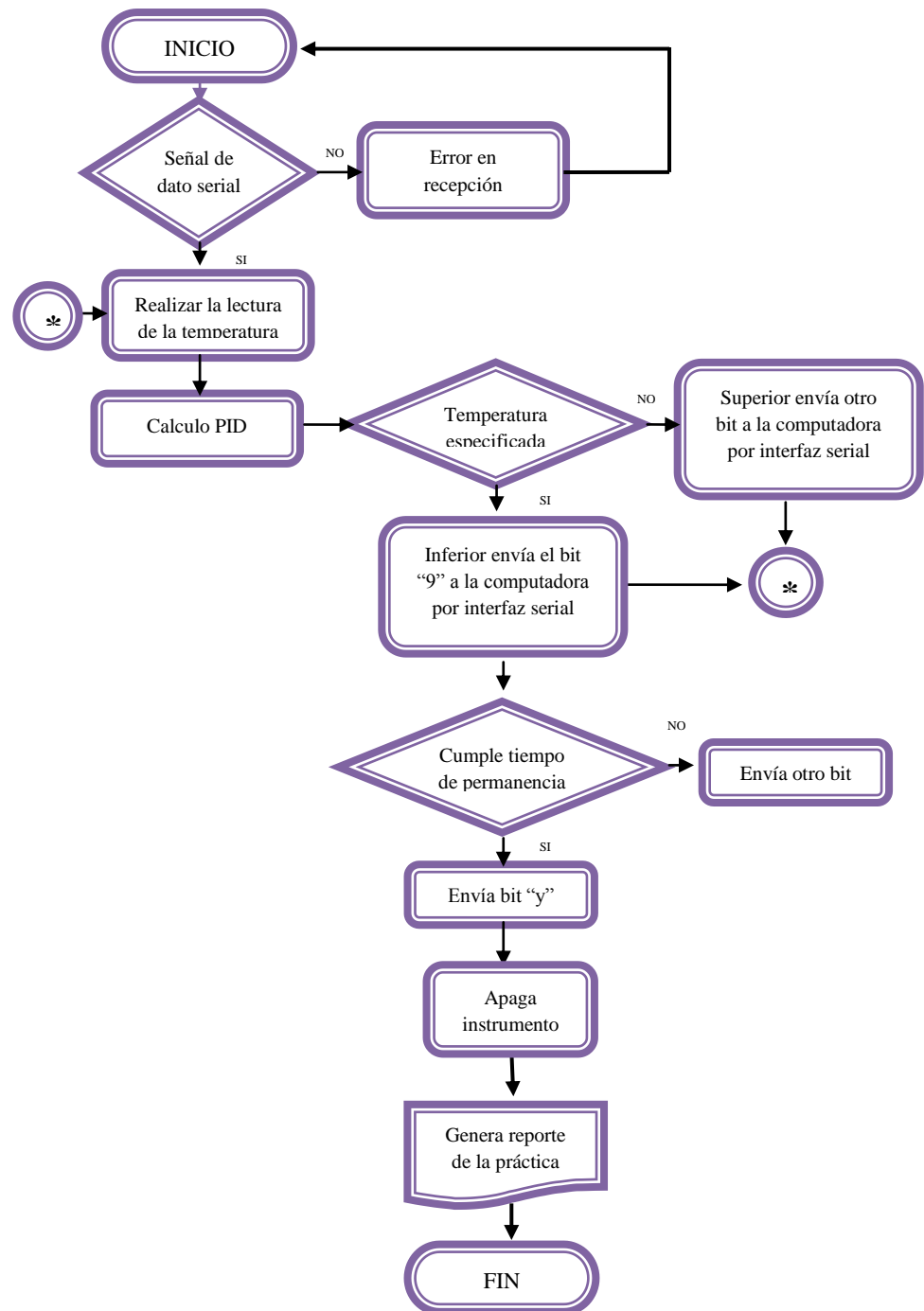


Gráfico N° 75. **Diagrama de Flujo del programa en LabView**
 Elaborado por: Carlos Calderón

Panel frontal

En el panel frontal del VI creado se encuentran todos los instrumentos para el control del horno entre los que se ubica un botón para el encendido o apagado del horno, la ventana para el ingreso de la temperatura deseada, un controlador numérico para ingresar el tiempo de permanencia deseado, un indicadores de la temperatura que se encuentra en el horno, un indicador de gráficos donde se dibuja un diagrama temperatura vs tiempo, y adicionalmente una pestaña en cuyo interior se encuentran diversos tratamientos térmicos con valores pre establecidos para las prácticas.

El funcionamiento del programa es el siguiente:

Antes de iniciar el programa es necesario seleccionar el nombre del puerto serial que está asignado en la computadora. Al momento de hacer funcionar el programa se envía el digito “0” para activar el primer relé, y con esto desconectar el sistema de control analógico del horno de mufla, si no estuviera conectado el cable de comunicación de datos se produce un error en el cual indica que no existe recepción ni envío de datos, similar al siguiente.

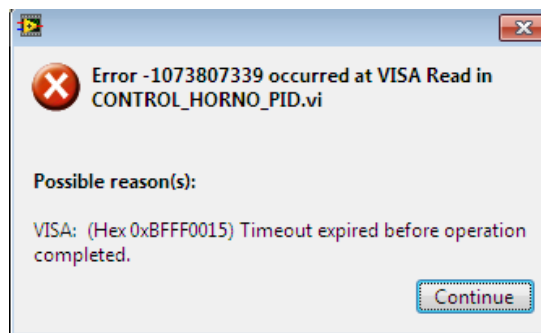


Gráfico N° 76. *Mensaje de Error de Lectura*
Fuente: Nacional Instruments

En este caso se debe verificar la conexión y volver a correr el programa. Adicionalmente se debe ingresar los valores de temperatura y tiempo de permanencia en los espacios designados, al hacer todo esto el programa compara el valor de temperatura deseado y el valor real y comienza a estabilizar la temperatura mediante cálculos del margen de error con los métodos proporcional, integral y derivativo.

A la vez se comienza a graficar una curva de temperatura vs tiempo, para poder apreciar de mejor manera el proceso que se realiza.

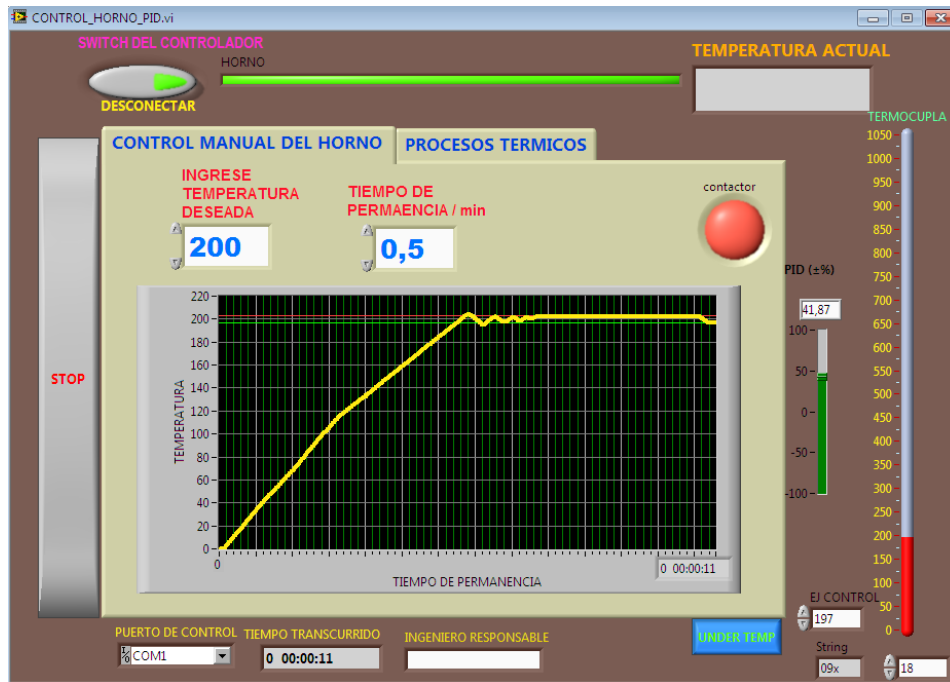


Gráfico N° 77. *Panel Frontal Programa de Control de Temperatura*
Elaborado por: Carlos Calderón

En la segunda pestaña se encuentra un selector donde se puede escoger el tratamiento térmico que se quiere realizar, en este caso para este selector las temperaturas y tiempos de permanencia se han registrado de acuerdo a las probetas usualmente utilizadas en el laboratorio. Adicionalmente también se muestra una gráfica de temperatura vs tiempo.



Gráfico N° 78. *Panel Frontal Sección de Tratamientos Térmicos*
 Elaborado por: Carlos Calderón

Diagrama de bloques

Dentro del diagrama de bloques es donde se organiza todas las instrucciones para que se realicen en el programa y posteriormente en el sistema de control.

Al programa realizado lo contiene en su totalidad un While Loop que básicamente es el lazo que da el inicio y el final al programa, dentro de este lazo se encuentran varios secuenciadores de casos en los cuales se compara, se selecciona o se da paso a otras sub rutinas para que cumplan el trabajo encomendado.

El programa comienza con dos Case Structure en donde se da la instrucción del paso o no del dato que se va a leer y escribir en el circuito de control además de la detección de error por falta de este dato; esta sección es esencial, ya que conecta toda la parte virtual con los procesos reales que ocurren en el horno.

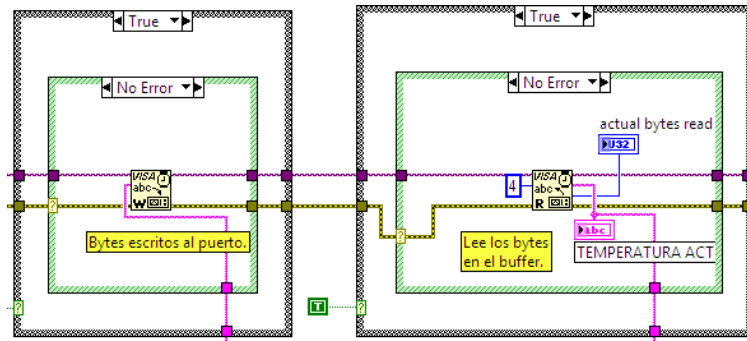


Gráfico N° 79. *Estructura de Decisión para Lectura y Escritura del Puerto*
 Elaborado por: Carlos Calderón

Luego de haber leído el buffer se procede a las comparaciones del dato que ingresa con el que se quiere obtener y así regular hasta la temperatura deseada, además del cálculo del tiempo de permanencia de la probeta en el horno como se muestra de manera detallada en el siguiente gráfico.

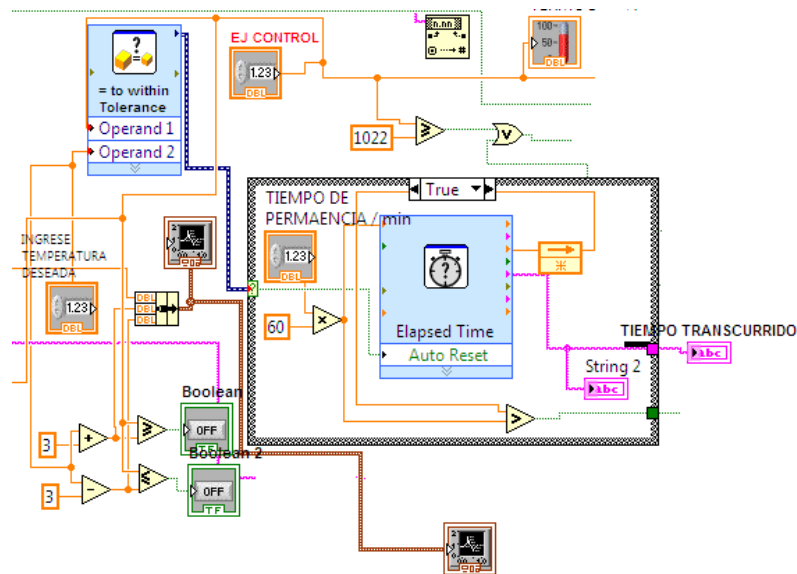


Gráfico N° 80. *Bloques de Cálculo tiempo de permanencia y comparaciones*
 Elaborado por: Carlos Calderón

Adicionalmente para obtener la precisión que se requiere en el control de las temperaturas del horno se utilizó bloques de la librería de diseño de control y simulación de labview que entre algunos otros procesos básicamente se consigue regular la temperatura mediante la aplicación de un cálculo proporcional, integral y derivativo con la ayuda de los VI's que facilitan este cálculo matemático y luego utilizando este resultado de forma booleana para en el proceso real encender o

apagar un relé, como se muestra en el siguiente gráfico tomado del diagrama de bloques del programa realizado.

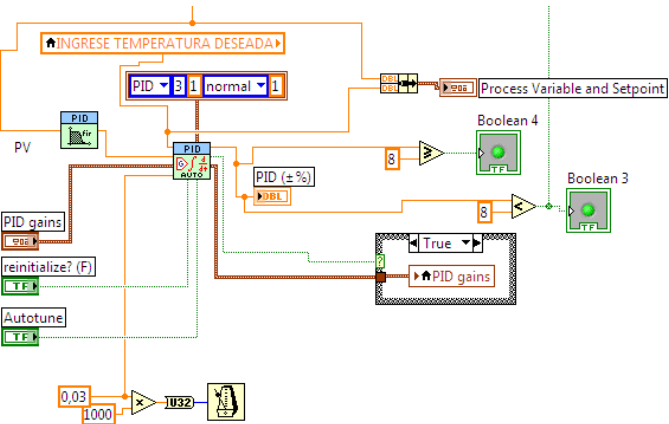


Gráfico N° 81. VI's para el Cálculo PID
Elaborado por: Carlos Calderón

Para poder regular la temperatura en el horno de mufla, se enciende o apaga un relé el cual activa un contactor que está conectado directamente a las resistencias eléctricas, las mismas que generan calor al inducirse. Para la activación del relé que se encuentran en el circuito de control, el programa realizado envía el bit “9” vía puerto serial para que el circuito lo lea, cuando esto sucede el microcontrolador procesa la información y realiza la instrucción para la que ha sido programado, en este caso activar el relé, y cuando recibe otro bit éste se apaga.

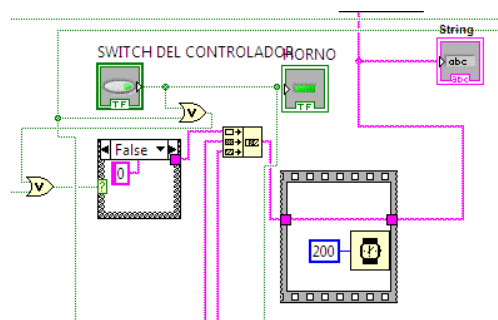


Gráfico N° 82. Envío de bits para el procesamiento en el microcontrolador
Elaborado por: Carlos Calderón

Posteriormente comienza el conteo del tiempo de permanencia de las probetas en el horno de mufla por medio de un cronometro interno; además de la realización de la gráfica de temperatura vs tiempo con el proceso que se indicó anteriormente.

Una vez completado el tiempo de permanencia al que ha sido asignado, el programa de control envía el bit “y” para que el circuito de control genere una señal sonora para indicar que el tiempo de permanencia en el interior del horno de mufla para el tratamiento térmico especificado ha terminado.

Finalmente el programa genera un reporte de la práctica en Microsoft Office con la fecha y hora de la realización del tratamiento térmico y adicionalmente una gráfica temperatura vs tiempo, para posteriormente enviar las señales para apagar el equipo o seguir utilizándolo.

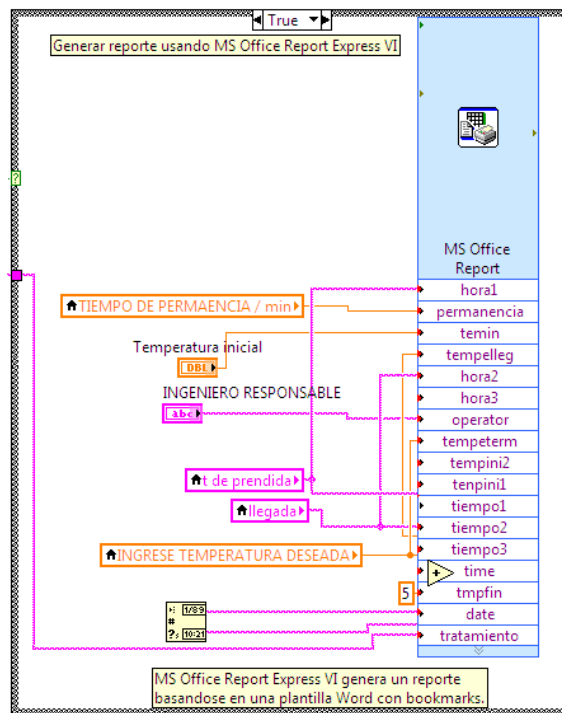


Gráfico N° 83. **Generación de reporte en Word**
 Elaborado por: Carlos Calderón

A continuación se muestra en la siguiente imagen todo lo que corresponde al diagrama total de bloques que se realizó para programar en LabView y controlar el horno de mufla.

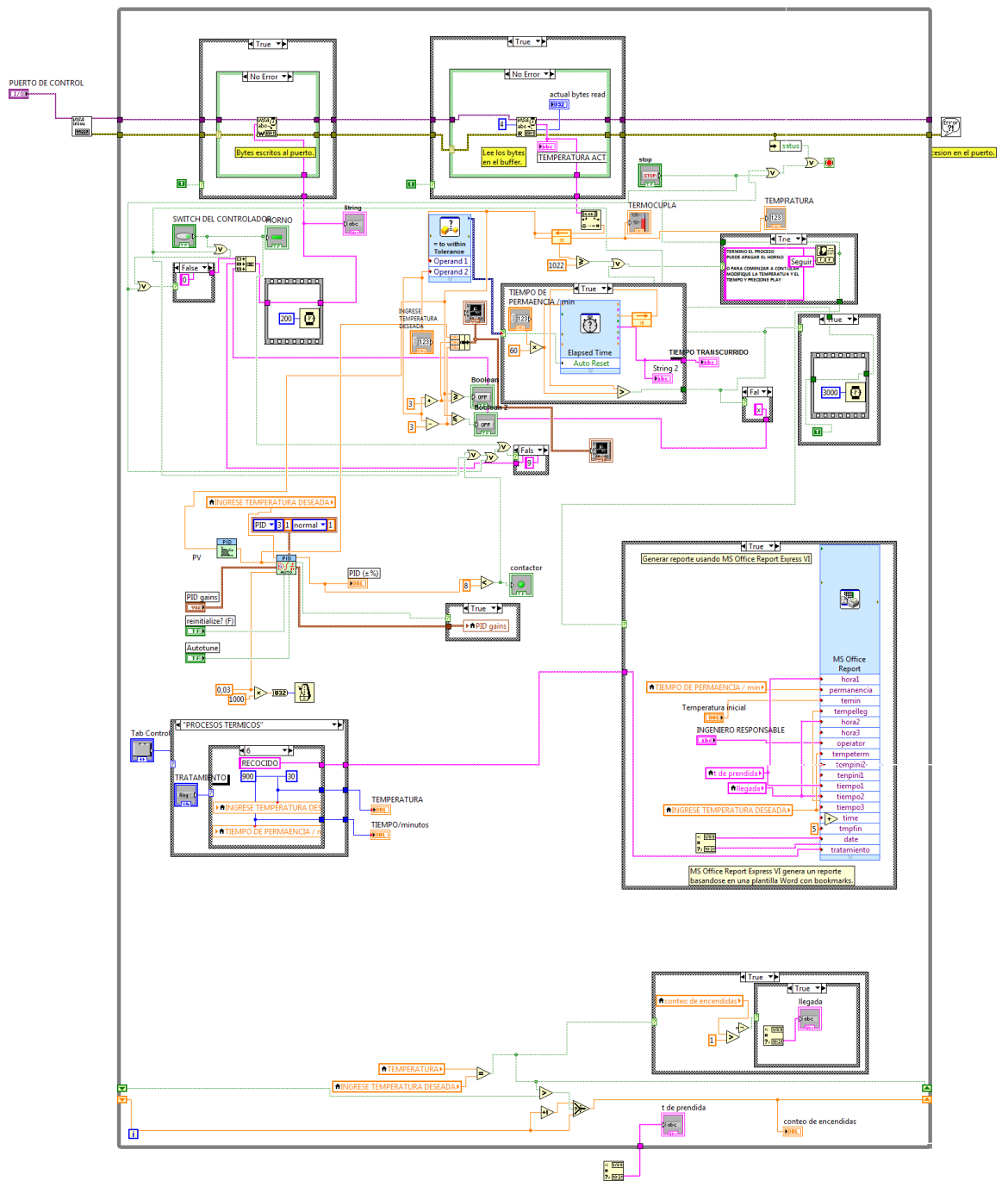


Gráfico N° 84. *Diagrama de Bloques del Programa de Control*
 Elaborado por: Carlos Calderón

Ubicación del sistema.

Se ha observado que por comodidad tanto en la lectura como en el control y facilidad de instalación, así como en condiciones ambientales el lugar más indicado para la ubicación de un nuevo sistema de control es en la parte inferior-frontal del horno de mufla en estudio.

Fundamentando esto, para la instalación de un nuevo aparato de control en el horno de mufla del laboratorio de materiales se seleccionó la parte inferior-frontal de éste debido al espacio disponible que existe, ya que es un espacio hueco y por la facilidad para la lectura de la temperatura que despliega el aparato de control del horno por estar en un lugar accesible, como también por las condiciones ambientales que se presentan ya que al estar aislado y separado del hogar del horno se mantiene a una temperatura que posibilita un buen trabajo, y por otra parte para mantener la estética del laboratorio.



Gráfico N°85. *Sección inferior del Horno de Mufla*
Elaborado por: Carlos Calderón

Instalación del Instrumento de Control

Antes del procedimiento de instalación del instrumento de control se realizaron diferentes pruebas para verificar el buen funcionamiento y así poder remediar cualquier falla encontrada.

Para esto se procedió a calibrar el horno a diferentes temperaturas para luego medirlas con el instrumento de control y su termocupla y así comprobar que se presentan las mismas temperaturas.



Gráfico Nº 86. *Medición de temperatura en el Horno de Mufla*
Elaborado por: Carlos Calderón

Posteriormente luego de regular algunos parámetros se procedió a la colocación de la segunda termocupla dentro del hogar del horno de mufla, la misma que será utilizada en el nuevo sistema de control. Para esto se procedió a realizar un agujero en el ladrillo refractario de la pared posterior del horno con los mismos parámetros del agujero existente de la termocupla anterior.



Gráfico Nº 87. *Termocupla tipo k en el Horno de Mufla*
Elaborado por: Carlos Calderón

Luego de esto se procedió a la colocación del instrumento de control en la parte inferior del horno de mufla sin comprometer de ninguna manera el sistema de control existente, para esto simplemente se realizó un corte rectangular en la plancha frontal para poder observar la temperatura que se despliega en el display del nuevo instrumento de control.



Gráfico N° 88. **Corte de la Plancha Frontal del Horno**
Elaborado por: Carlos Calderón

Siguiendo a este procedimiento se colocó el instrumento con la ayuda de remaches de expansión para asegurarlos en el lugar destinado.



Gráfico N° 89. **Colocación del Instrumento de Control**
Elaborado por: Carlos Calderón

Finalmente se realizaron las conexiones eléctricas respectivas para el funcionamiento de este instrumento, el cual fue conectar la línea de alimentación hacia la entrada del sistema, y desde su respectiva terminal conectarlo al contactor que es el encargado de encender las resistencias eléctricas del horno, además se conectó el cable de la termocupla teniendo en cuenta de situar los terminales a donde corresponda, sea este positivo o negativo.



Gráfico N° 90. *Conexión Eléctrica del Instrumento de Control.*
Elaborado por: Carlos Calderón

El resultado de este trabajo se puede apreciar en el siguiente gráfico en donde se muestra el aspecto total del horno luego de haber sido instalado el sistema de control digital.



Gráfico N° 91. *Sistema de Control Digital del Horno de Mufra.*
Elaborado por: Carlos Calderón

Pruebas de Funcionamiento del Sistema de Control Digital

Para comprobar el correcto funcionamiento del sistema de control se realizó varias pruebas después de la instalación del dispositivo a una temperatura seleccionada de 100 °C por cuestiones de seguridad y facilidades de manipulación, estas mediciones se realizaron con el instrumento de control digital instalado.

Y para comprobar los beneficios que está brindando este sistema se puede comprobar con los datos que se encuentran indicados en la verificación de la hipótesis.

A continuación se presentan los resultados de las pruebas realizadas.

MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA CON EL SISTEMA DE CONTROL POR COMPUTADORA A UN SET POINT DE 100 °C.

Cuadro N° 37 primera medición

Lugar: Laboratorio de Materiales		
Fecha:15/01/2011		
Investigador: Carlos Calderón		
Objeto de Evaluación: Horno de Mufla		
	TIEMPO DE MEDICIÓN [min]	TEMPERATURA MEDIDA [°C]
1	02	90
2	04	95
3	06	101
4	08	104
5	10	104
6	12	102
7	14	102
8	16	100
9	18	99
10	20	98
11	22	99
12	24	99
13	26	96
14	28	96
15	30	97

Elaborado por: Carlos Calderón

A continuación se puede observar gráficamente los datos obtenidos para evidenciar de mejor manera la estabilidad de la temperatura en el horno en relación con el otro sistema y adicionalmente se puede obtener una media de la temperatura lo que corresponde a 98.8 °C.

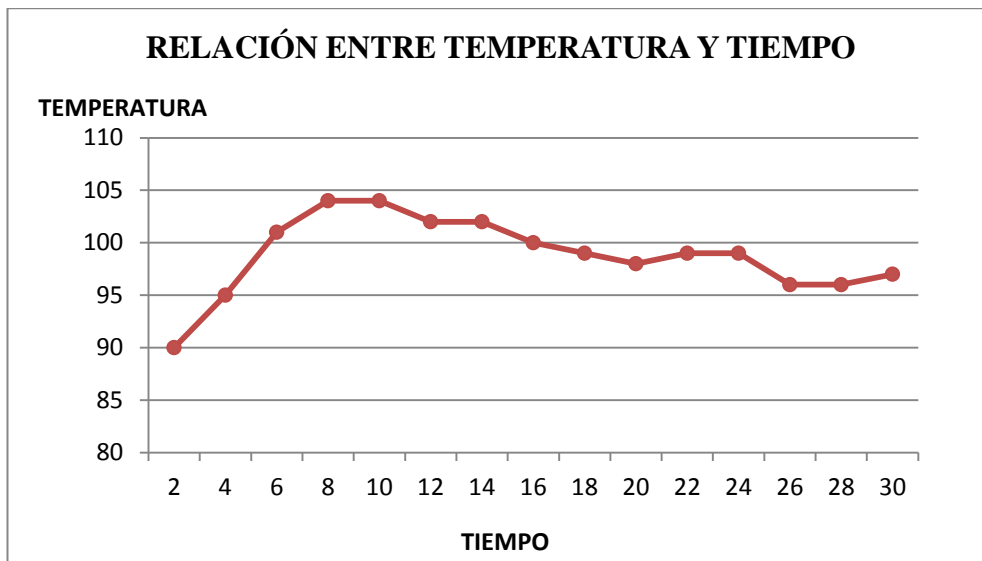


Gráfico Nº 92. Datos de la primera medición con el sistema de control digital
Elaborado por: Carlos Calderón

En la segunda medición realizada para ayudar a sustentar de mejor manera los datos obtenidos se logro obtener los siguientes resultados

Cuadro N° 38 segunda medición

Lugar: Laboratorio de Materiales		
Fecha:15/01/2011		
Investigador: Carlos Calderón		
Objeto de Evaluación: Horno de Mufla		
	TIEMPO DE MEDICIÓN [min]	TEMPERATURA MEDIDA [°C]
1	02	98
2	04	98
3	06	101
4	08	101
5	10	106
6	12	107
7	14	107
8	16	105
9	18	101
10	20	99
11	22	99
12	24	99
13	26	97
14	28	96
15	30	97

Elaborado por: Carlos Calderón

A continuación se puede observar gráficamente los datos obtenidos para evidenciar de mejor manera la estabilidad de la temperatura en el horno en relación con el otro sistema y adicionalmente se puede obtener una media de la temperatura lo que corresponde a 100.73 °C.

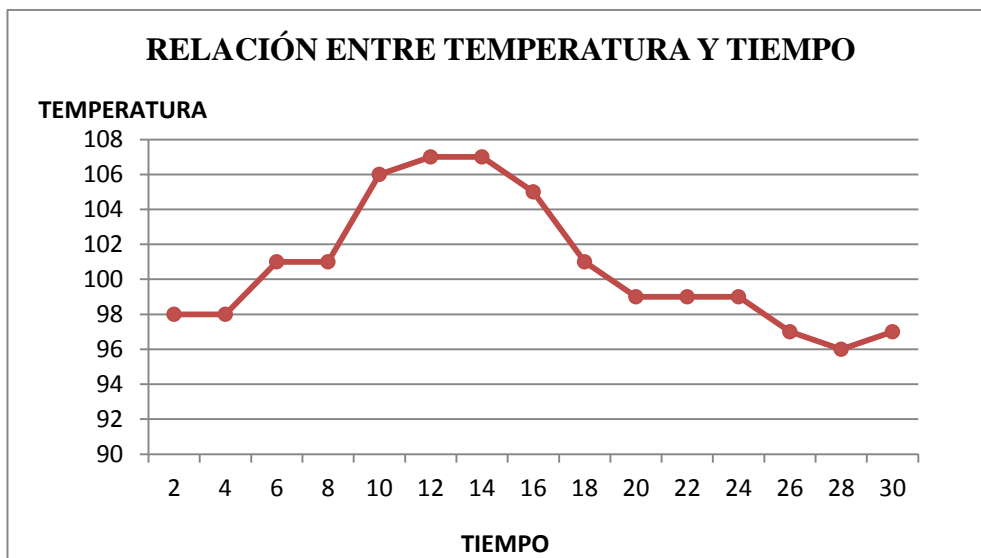


Gráfico N° 93. Datos de la segunda medición con el sistema de control digital
Elaborado por: Carlos Calderón

Finalmente se registró los siguientes datos para tener una mejor base de comparación entre los dos sistemas, obteniendo los siguientes resultados:

Cuadro N° 39 tercera medición

Lugar: Laboratorio de Materiales		
Fecha: 15/01/2011		
Investigador: Carlos Calderón		
Objeto de Evaluación: Horno de Mufla		
	TIEMPO DE MEDICIÓN [min]	TEMPERATURA MEDIDA [°C]
1	02	96
2	04	97
3	06	96
4	08	99
5	10	106
6	12	107
7	14	110
8	16	111
9	18	110
10	20	111
11	22	107
12	24	107
13	26	102
14	28	101
15	30	102

Elaborado por: Carlos Calderón

Gráficamente se observa los datos obtenidos para tener una mejor idea de la regulación de temperatura que se produjo y adicionalmente se puede obtener una media de la temperatura lo que corresponde a 104.13 °C.

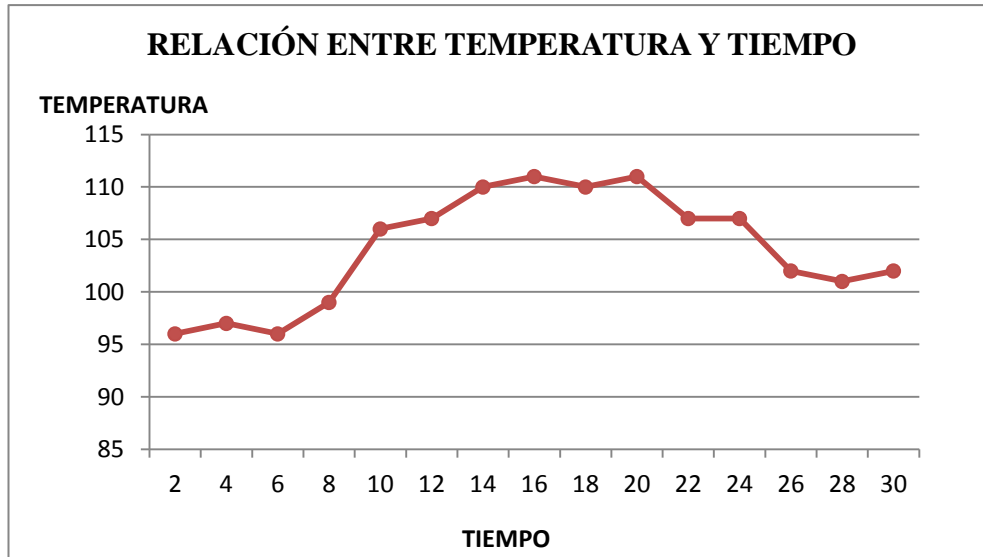


Gráfico N° 94. Datos de la tercera medición con el sistema de control digital
Elaborado por: Carlos Calderón

Como se puede observar se produjo una mejora en la estabilidad térmica del horno en los tres datos tomados de un promedio de 101.22 °C, logrando reducir el error con respecto a los datos tomados en la sección de verificación de hipótesis en 14.92 °C y adicionalmente como se dijo anteriormente se facilitó el control pudiendo regular la temperatura con mayor exactitud en el horno de mufla del laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Pruebas de Tratamientos Térmicos del Acero.

Una vez comprobado el funcionamiento del sistema de control y realizando las inspecciones necesarias se procedió a efectuar tratamientos térmicos para comprobar las facilidades de utilización.

Es así que para comprobar el buen funcionamiento de todo el sistema de control y del horno se procede a realizar básicamente dos tratamientos térmicos del acero para poder verificar sus beneficios y afianzar la investigación realizada.

Dentro de los tratamientos térmicos que se realizaron esta el temple de un acero AISI 1045 y luego un revenido; a continuación se detallan cada uno de estos tratamientos.

Previamente de los tratamientos térmicos se procedió a sacar muestras de la composición y propiedades del acero AISI 1045 tal como se lo adquirió de la acerería.

Para esto se tomó una muestra de acero AISI 1045 de $\frac{3}{4}$ de pulgada de diámetro por 20 centímetros de alto al que se le realizó un ensayo metalográfico y adicionalmente un ensayo de dureza.

En el siguiente grafico se puede observar la probeta utilizada.



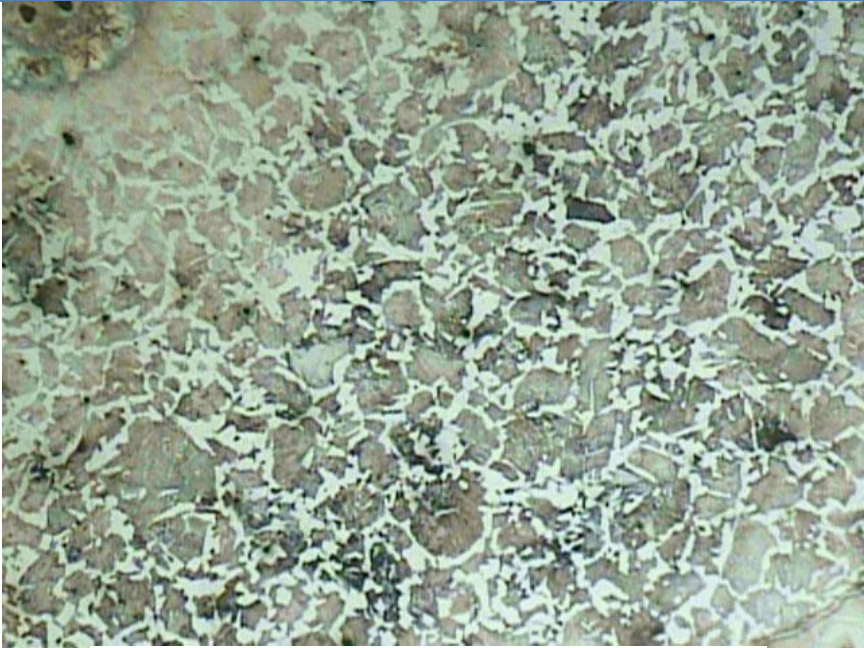
Gráfico Nº 95. Probeta de Acero AISI 1045 sin Modificación
Elaborado por: Carlos Calderón

A continuación se detallan los resultados obtenidos en las pruebas realizadas a esta probeta, ya que será de gran ayuda para distinguir los cambios que existen luego de los tratamientos térmicos que se realizaron.

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

ENSAYO METALGRÁFICO ACERO AISI 1045

CUADRO N° 40

DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo N°	05
Identificación del Componente de estudio:			Probeta N° 03
Material Analizar:	Acero AISI 1045	Dimensiones:	Diámetro: 19,5mm, Alto: 20mm
Solicitado por:	UTA – FICM	Fecha:	2011/06/29
Centro de Análisis:	Laboratorio de Materiales UTA- FICM		
Lugar:	Campus Universitario UTA / sector Huachi Chico		
Realizado por:	Carlos R. Calderón		
PARÁMETROS PARA EL ENSAYO METALGRÁFICO:			
Acondicionamiento de la Superficie:			Pulido
Tratamiento Térmico realizado:	Ninguno	Temperatura ambiente:	17 °C
Ataque químico de la superficie:	NITAL 4	Tiempo ataque:	6 segundos
RESULTADO:			
MICROESTRUCTURA ACERO AISI 1045 AUMENTO 100 X			
			
<p>Gráfico N° 96. Acero AISI 1045 (100X)</p> <p>Fuente: lab. Metalografía UTA-FICM</p>			

Elaborado por: Carlos Calderón

DETERMINACIÓN DE LOS COMPONENTES MICROESTRUCTURALES

CUADRO N° 41

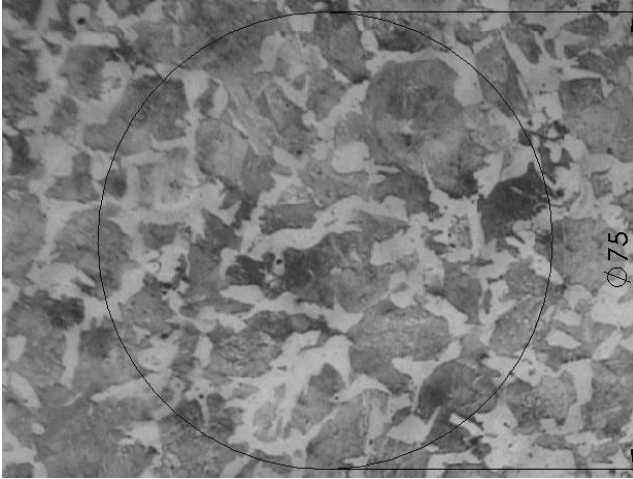
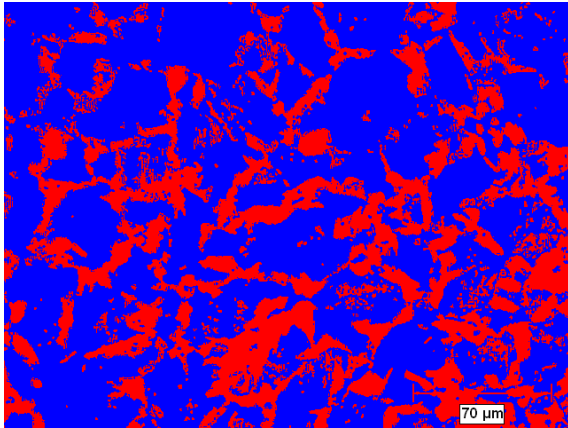
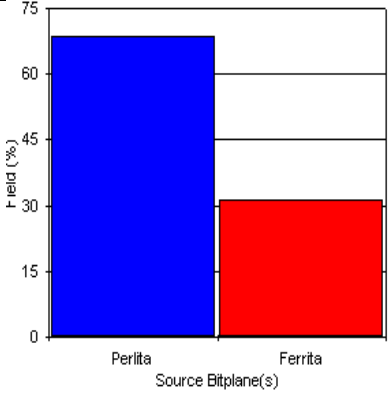
EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:									
Estipulación del tamaño de grano:	MICROESTRUCTURA:								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%; padding: 5px;">Procedimiento (ASTM E 112):</td> <td style="padding: 5px;">Planimétrico</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 5px;">Cálculo método jeffries:</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 5px;"> Para área de 500mm² $f = 0.0002 * M^2$; $f = 8$ $NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right)$ $NA = 8 \left(21 + \frac{10}{2} \right)$; NA= 208 $G = 3.321918 * \log NA - 2.954$ $G = 4.74$ </td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Tamaño de grano:</td> <td style="padding: 5px;">4.74</td> </tr> </table>	Procedimiento (ASTM E 112):	Planimétrico	Cálculo método jeffries:		Para área de 500mm ² $f = 0.0002 * M^2$; $f = 8$ $NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right)$ $NA = 8 \left(21 + \frac{10}{2} \right)$; NA= 208 $G = 3.321918 * \log NA - 2.954$ $G = 4.74$		Tamaño de grano:	4.74	
Procedimiento (ASTM E 112):	Planimétrico								
Cálculo método jeffries:									
Para área de 500mm ² $f = 0.0002 * M^2$; $f = 8$ $NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right)$ $NA = 8 \left(21 + \frac{10}{2} \right)$; NA= 208 $G = 3.321918 * \log NA - 2.954$ $G = 4.74$									
Tamaño de grano:	4.74								
Componentes:	Porcentajes:								
	 <p style="text-align: center;">Perlita= 67.5% ; Ferrita= 32.5%</p>								

Gráfico N° 97. Porcentaje de constituyentes acero AISI 1045 (200X)

Fuente: lab. Metalografía UTA-FICM

Elaborado por Carlos Calderón

CALCULO DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN APROXIMADA (RTA):
$R.T.A. = \frac{28 * (\% Ferrita) + 84 * (\% perlita)}{100} = \frac{28 * 67.5 + 84 * 32.5}{100}$
$R.T.A = 46.2 \text{ Kg}f / \text{mm}^2$
Resultados:
Tamaño de grano: 4.74μ Ferrita: 32.5% Perlita: 67.5% R.T.A.: 46.2 $\text{Kg}f / \text{mm}^2$
Interpretación:
El análisis fue realizado en el laboratorio de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, a un acero AISI 1045 de la fábrica BHÖLER a una magnificación de 200x. Para posteriormente hacer referencia en comparación del mismo acero al realizarse la bonificación.

ENSAYO DE DUREZA

CUADRO N° 42

ESTIMACIÓN DE LA DUREZA ROCKWELL C	
	
RESULTADOS:	
Medición de dureza Rockwell C= 25.5, 22, 21, 23, 25, 22.5, 22.5, 23.5, 22.5, 24	
HRC= 23.15	

Gráfico N° 98. Medición de dureza Rockwell C acero AISI 1045

Fuente: lab. Metalografía UTA-FICM

Elaborado por: Carlos Calderón

Para la realización de los diferentes tratamientos térmicos del acero que se llevaron a cabo en el horno de mufla del laboratorio de materiales de la carrera de Ingeniería Mecánica es necesario especificar las condiciones y normalizaciones a las que están sujetas las probetas que se trataron.

Para la obtención de los resultados metalográficos realizados se basaron en las siguientes normas, especialmente para la medición de grano:

- ASTM E-3 Preparing of Metallographic Specimens.
- ASTM E-407 Method For Microetching Metals and Alloys.
- ASTM E-112 Test Methods For Determining Average Grain Size.

Las probetas utilizadas son de acero AISI 1045 de 20mm de diámetro (3/4 in) por 20mm de alto. Las dimensiones de estas probetas se han reglamentado para la utilización en el laboratorio para la realización de las diferentes pruebas de tratamientos térmicos. Para la determinación del tamaño de grano se utilizará la norma ASTM E 112.

TEMPLE

Como nos dice la teoría primero se encendió el horno viendo que para el Temple la temperatura es de 30 °C más la temperatura crítica superior en este caso la temperatura crítica superior es la AC3 es de 800°C para esto calibramos el horno a 827°C.



Gráfico Nº 99. Calentamiento del Acero AISI 1045 para el temple
Fuente: lab. Metalografía UTA-FICM
Realizado por: Carlos Calderón

La teoría nos dice que deben quedarse las probetas a esa temperatura una media hora por cada pulgada de espesor o diámetro en la práctica seguimos el mismo procedimiento. Luego sacamos la probeta con mucho cuidado utilizando las pinzas y la introducimos en unos envases con agua la temperatura ambiente, en ese momento a 20 °C.



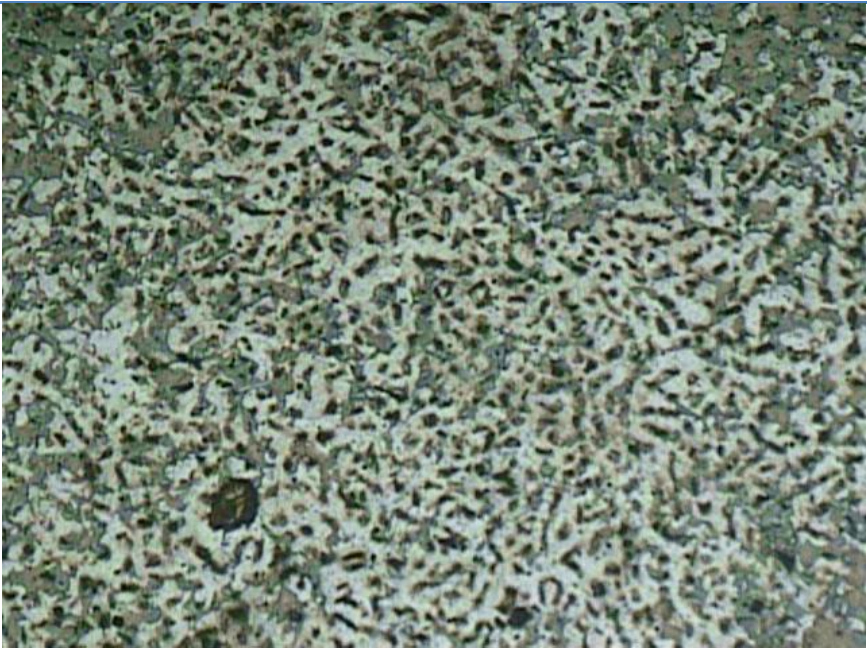
Gráfico Nº 100. Proceso de temple del Acero AISI 1045
Fuente: lab. Metalografía UTA-FICM
Realizado por: Carlos Calderón

Luego de que el líquido y la probeta este fría procedemos a sacarla y preparar la muestra para observar su microestructura en el microscopio y adicionalmente la determinación de su dureza en el durómetro perteneciente a la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Para el ataque químico se utilizó Pycral 10gr de ácido pícrico 100 ml de etanol al 95% recomendado para aceros templados

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

ENSAYO METALOGRAFICO ACERO AISI 1045 TEMPLADO

CUADRO N° 43

DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo N°	06
Identificación del Componente de estudio:			Probeta N° 04
Material Analizar:	Acero AISI 1045	Dimensiones:	Diámetro: 19,5mm, Alto: 20mm
Solicitado por:	UTA – FICM	Fecha:	2011/06/29
Centro de Análisis:	Laboratorio de Materiales UTA- FICM		
Lugar:	Campus Universitario UTA / sector Huachi Chico		
Realizado por:	Carlos R. Calderón		
PARÁMETROS PARA EL ENSAYO METALOGRAFICO:			
Acondicionamiento de la Superficie:			Pulido
Tratamiento Térmico realizado:	Templado	Temperatura temple:	850 °C
Ataque químico de la superficie:	PICRAL	Tiempo permanencia:	30 minutos
RESULTADO:			
MICROESTRUCTURA ACERO AISI 1045 TEMPLADO AUMENTO 100 X			
			
Gráfico N° 101. Acero AISI 1045 templado (100X)			
Fuente: lab. Metalografía UTA-FICM			

Elaborado por: Carlos Calderón

DETERMINACIÓN DE LOS COMPONENTES MICROESTRUCTURALES

CUADRO N° 44

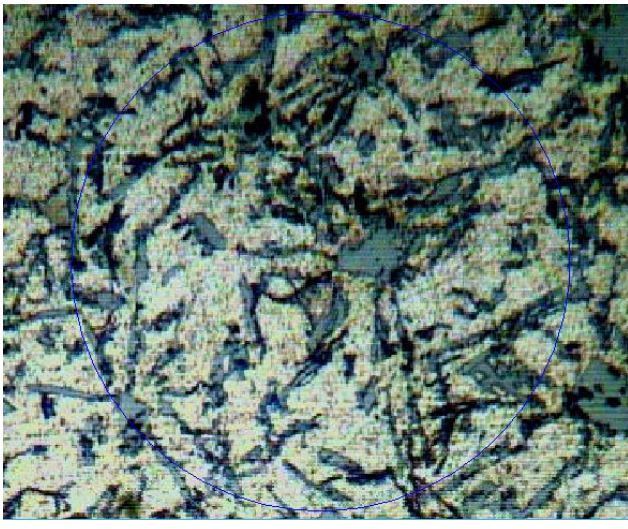
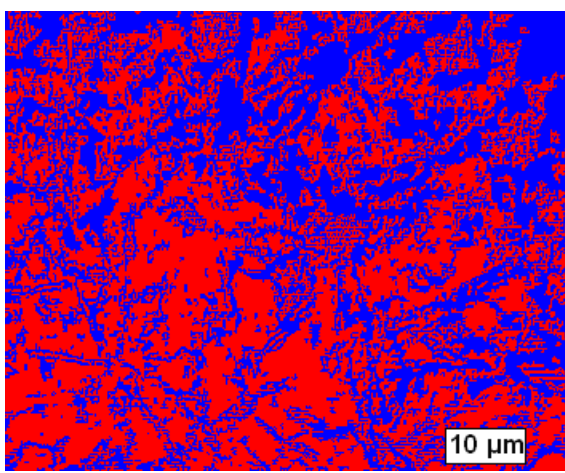
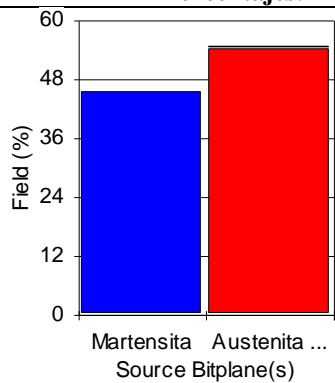
EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:									
Estipulación del tamaño de grano:	MICROESTRUCTURA:								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%; padding: 5px;">Procedimiento (ASTM E 112):</td> <td style="padding: 5px;">Planimétrico</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 5px;">Cálculo método jeffries:</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="padding: 5px;"> Para área de 500mm² $f = 0.0002 * M^2$; $f = 32$ $NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right)$ $NA = 32 \left(19 + \frac{25}{2} \right)$; NA= 1008 $G = (3.321918 * \log NA) - 2.954$ $G = 7.02$ </td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Tamaño de grano:</td> <td style="padding: 5px; text-align: center;">7.02</td> </tr> </table>	Procedimiento (ASTM E 112):	Planimétrico	Cálculo método jeffries:		Para área de 500mm ² $f = 0.0002 * M^2$; $f = 32$ $NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right)$ $NA = 32 \left(19 + \frac{25}{2} \right)$; NA= 1008 $G = (3.321918 * \log NA) - 2.954$ $G = 7.02$		Tamaño de grano:	7.02	
Procedimiento (ASTM E 112):	Planimétrico								
Cálculo método jeffries:									
Para área de 500mm ² $f = 0.0002 * M^2$; $f = 32$ $NA = f \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right) = 8 \left(Ni + \frac{Nint}{2} \right)$ $NA = 32 \left(19 + \frac{25}{2} \right)$; NA= 1008 $G = (3.321918 * \log NA) - 2.954$ $G = 7.02$									
Tamaño de grano:	7.02								
Componentes:	Porcentajes:								
	 <p style="text-align: center;">Martensita= 45.8% ; Austenita retenida= 54.4%</p>								

Gráfico N° 102. Porcentaje de constituyentes acero AISI 1045 Templado (400X)

Fuente: lab. Metalografía UTA-FICM

Realizado por: Carlos Calderón

RESULTADOS:

Tamaño de grano: 7.02μ Austenita retenida: 54,4% Martensita: 45.8%

Interpretación:

El análisis realizado a un acero templado AISI 1045 de la fábrica BHÖLER en el laboratorio de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, a una magnificación de 400x reveló la formación de las agujas de la martensita manifestada en toda la estructura, y se puede notar en la estructura acircular presentada en los gráficos anteriores.

ENSAYO DE DUREZA

CUADRO N° 45

ESTIMACION DE LA DUREZA ROCKWELL C	
	
RESULTADOS:	
Medición de dureza Rockwell C= 61, 66, 55, 66, 64.5, 68, 64, 65, 61, 66	
HRC= 64.65	

Gráfico N° 103. Medición de dureza Rockwell C acero AISI 1045 Templado
Fuente: lab. Metalografía UTA-FICM
Elaborado por: Carlos Calderón

La dureza promedio obtenida mediante el análisis realizado en el durómetro perteneciente a la Facultad de Ingeniería Mecánica es de 64.65 RC, lo que concuerda a cabalidad con las tablas de dureza realizadas por el fabricante del acero; las mismas que se presentan a continuación.

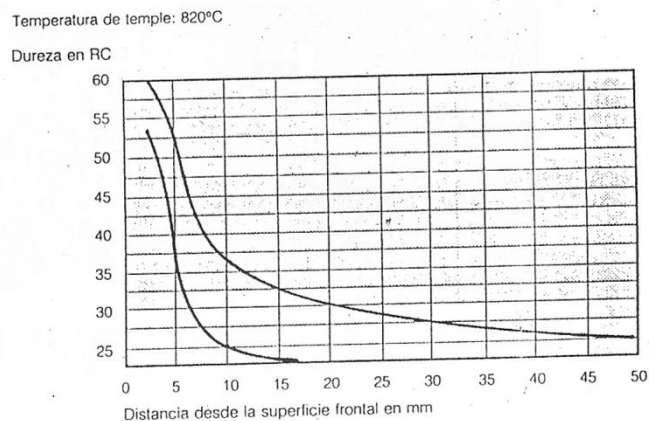


Gráfico N° 104. Ensayo de dureza Rockwell C acero AISI 1045 Templado
Fuente: Catalogo de Aceros para la Construcción Mecánica de BÖHLER

Y para reforzar esta conclusión se indica también la tabla de durezas presentada en el libro de Introducción a la Metalurgia Física del autor Sidney Avner; donde indica en general el promedio de la dureza de los aceros al ser templados

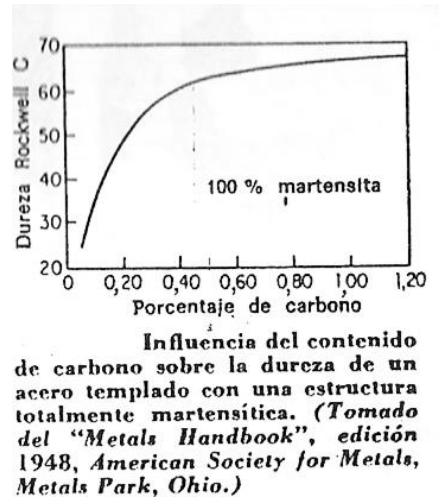


Gráfico Nº 105. Influencia del contenido de Carbono en la dureza del acero Templado
Fuente: Introducción a la Metalurgia Física, Sidney-Avner

Y finalmente se puede hacer una comparación entre la dureza de la probeta de acero que antes de ser templada fue de 23.15 RC y después del temple resulto de 64.65 RC.

REVENIDO:

Luego de haber analizado las probetas en el microscopio para identificar la microestructura que se presenta en el temple y posteriormente su análisis de dureza, procedemos finalmente a realizar el revenido.

Ya que previamente el material ha sido preparado para la observación en el microscopio a causa del temple, no realizamos ningún otro procedimiento y simplemente llevamos a la probeta al horno para ser calentada a 400 °C, durante un periodo de 30 minutos. Esto se hace para reducir la fragilidad del material y eliminar tensiones internas.



Gráfico Nº 106. Calentamiento del Acero AISI 1045 para el revenido
Fuente: lab. Metalografía UTA-FICM
Elaborado por: Carlos Calderón

En el revenido dejamos que se enfríe la probeta en el mismo horno hasta una temperatura en la que ya no cambie su microestructura y finalmente la sacamos del horno para enfriarlo a temperatura ambiente.

Cuando ya haya alcanzado la temperatura ambiente procedemos a los pasos de lijado, pulido y ataque químico con picral (*10gr de ácido pícrico-100 ml de etanol al 95%*).




Gráfico Nº 107. Ataque químico del Acero AISI 1045 revenido
Fuente: lab. Metalografía UTA-FICM
Elaborado por: Carlos Calderón

Finalmente procedemos a observar en el microscopio su microestructura y posteriormente su análisis de dureza.

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

ENSAYO METALOGRAFICO ACERO AISI 1045 REVENIDO

CUADRO N° 46

DATOS INFORMATIVOS:			
Tipo de estudio:	De Laboratorio	Ensayo N°	07
Identificación del Componente de estudio:			Probeta N° 05
Material Analizar:	Acero AISI 1045	Dimensiones:	Diámetro: 19,5mm, Alto: 20mm
Solicitado por:	UTA – FICM	Fecha:	2011/06/29
Centro de Análisis:	Laboratorio de Materiales UTA- FICM		
Lugar:	Campus Universitario UTA / sector Huachi Chico		
Realizado por:	Carlos R. Calderón		
PARÁMETROS PARA EL ENSAYO METALOGRAFICO:			
Acondicionamiento de la Superficie:			Pulido
Tratamiento Térmico realizado:	Revenido	Temperatura revenido:	400 °C
Ataque químico de la superficie:	PICRAL	Tiempo permanencia:	45 minutos
RESULTADO:			
MICROESTRUCTURA ACERO AISI 1045 BONIFICADO AUMENTO 100 X			
			
Gráfico N° 108. Acero AISI 1045 BONIFICADO (100X)			
Fuente: lab. Metalografía UTA-FICM			

Elaborado por: Carlos Calderón

DETERMINACIÓN DE LOS COMPONENTES MICROESTRUCTURALES

CUADRO N° 47

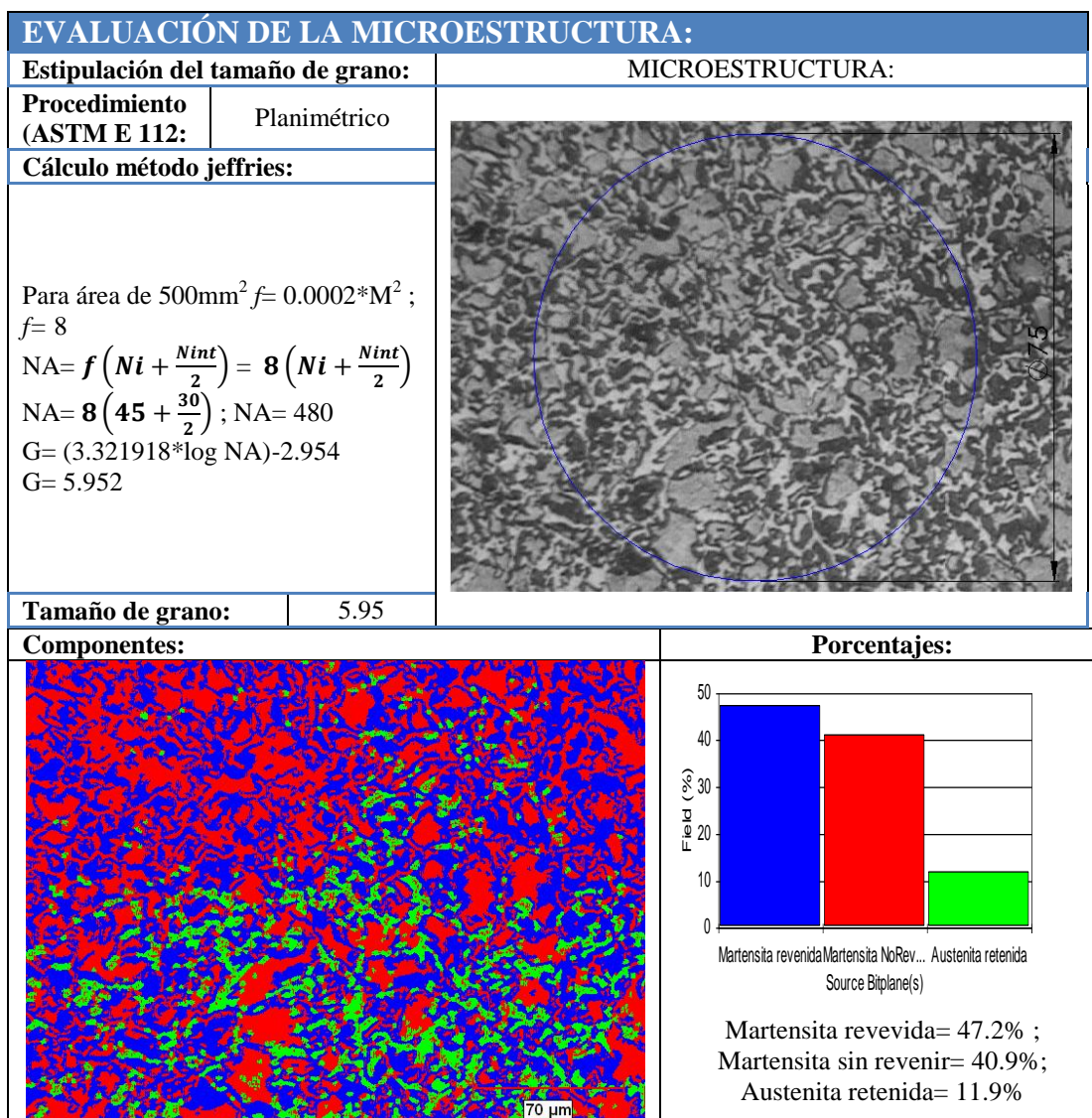


Gráfico N° 109. Porcentaje de constituyentes acero AISI 1045 Bonificado (200X)

Fuente: lab. Metalografía UTA-FICM

Realizado por: Carlos Calderón

RESULTADOS:

Tamaño de grano: 5.95μ Austenita retenida: 47,2% Martensita revenida: 40,9%
 Martensita sin revenir= 11.9%

Interpretación:

Al analizar el acero bonificado AISI 1045 de la fábrica BHÖLER realizado en el laboratorio de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, se logra observar la imagen a una magnificación de 200x la martensita revenida en un color oscuro, la martensita sin revenir en un gris más claro y en algunas zonas y en pequeñas cantidades se observa algo de austenita retenida

ENSAYO DE DUREZA

CUADRO N° 48

ESTIMACIÓN DE LA DUREZA ROCKWELL C	
	
RESULTADOS:	
Medición de dureza Rockwell C= 32, 32, 28, 28.5, 29, 29, 30, 36.5, 32.5, 33.5	
HRC= 31.1	

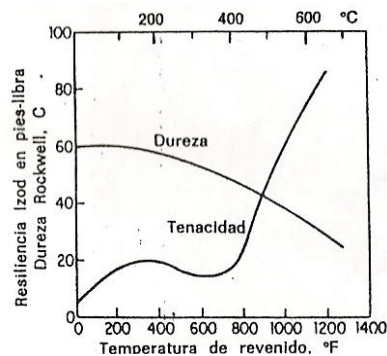
Gráfico N° 110. Medición de dureza Rockwell C acero AISI 1045 Bonificado

Fuente: lab. Metalografía UTA-FICM

Elaborado por: Carlos Calderón

En el análisis realizado en el durómetro perteneciente a la Facultad de Ingeniería Mecánica la dureza promedio obtenida es de 31.1 RC, lo que demuestra que se ha reducido la dureza como consecuencia del revenido que se realizó para reducir las tensiones internas y aumentar su tenacidad.

Esto también se lo puede comprobar en el siguiente gráfico donde indica la influencia del revenido en la dureza y la tenacidad del acero.



Influencia de un revenido de una hora a distintas temperaturas sobre la dureza y la resiliencia de un acero 4140. (Tomado de "Suiting the Heat Treatment to the Job", U. S. Steel Corporation.)

Gráfico N° 111. Influencia del revenido en la tenacidad y dureza del acero

Fuente: Introducción a la Metalurgia Física, Sidney-Avner

Para realizar una comparación final las durezas de las probetas de acero AISI 1045 tomadas son: De fábrica= 23.15 RC; temple= 64.65 RC; revenido= 31.1 RC.

6.8. ADMINISTRACIÓN

Análisis del costo del proyecto.- Para analizar el costo del proyecto y su factibilidad de realización se detallan a continuación la inversión que se ha realizado en cada etapa de la elaboración del proyecto.

Para esto se destacan las actividades que básicamente se realizaron antes y después de la construcción y realización de pruebas de funcionamiento de la interfaz de control.

Cuadro N° 49 Administración del proyecto

ACTIVIDAD	RESPONSABLE	PRESUPUESTO	FINANCIAMIENTO
Investigaciones y Selecciones de Componentes	Carlos Calderón	\$208.81	AUTOFINANCIAMIENTO
Construcción de la propuesta	Técnico Electrónico Carlos Calderón	\$298.60	
Presentación			
Puesta en marcha de la propuesta de acuerdo a las fases programadas	Carlos Calderón	\$200.00	
Corrección de fallas e instrucciones de utilización	Carlos Calderón Técnico Electrónico	\$20.00	

Elaborado por: Carlos Calderón
Fuente: Costos administrativo

Planeación:

Con el fin de alargar la vida útil principalmente del instrumento de control y posteriormente del horno de mufla es necesario tomar en cuenta ciertos concejos de seguridad y operación que se enuncian a continuación:

Instrucciones de seguridad y operación

- Mantener el instrumento alejado de ambientes demasiado húmedos para no causar daños eléctricos inhabilitantes.
- Tener los cuidados necesarios para no cortar o alterar los cables de alimentación, control o comunicación del instrumento.
- No manipular el instrumento cuando el horno esté en funcionamiento.
- No utilizar este instrumento para otros usos o actividades.
- Cuidar de no dejar caer o introducir objetos extraños dentro del instrumento de control.
- Bajo ninguna circunstancia trate de modificar o manipular los componentes en el interior del instrumento de control sin la aprobación del técnico responsable de su construcción.
- En caso de desperfectos comuníquese con un técnico calificado para su reparación o con el responsable del proyecto.

Dirección:

A razón de una adecuada utilización del ayudante de laboratorio y una monitorización continua del profesor encargado del laboratorio de materiales se logrará dar el uso adecuado y el respectivo mantenimiento preventivo a este instrumento y al horno en su conjunto para evitar daños inhabilitantes o funcionamientos erróneos.

Organización:

Con el fin de evitar daños y prevenir la duración del instrumento y su conjunto es recomendable seguir en las instrucciones de la guía de operación y guiarse por las instrucciones proporcionadas por el personal a cargo del laboratorio.

Control:

A través de los datos obtenidos de las pruebas y ensayos realizados se debe llevar un control de funcionamiento para verificar que el instrumento este operando bajo los parámetros establecidos y no exista alteraciones causados por distintos aspectos físicos propios de la utilización y vida útil del mismo; en caso de existir alguna anomalía es necesario comentar al profesor o ayudante encargado del laboratorio para que se busque su respectiva solución.

6.9. PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

En el sistema automatizado para el control de tiempos en los procesos térmicos que se realizan en el horno de mufla se deja la puerta abierta para seguir en el continuo perfeccionamiento del software por parte de cualquier persona interesada, ya que su panel de programación está abierto para observar su código y si se desea realizar cambios conforme crezca las necesidades del laboratorio, siempre y cuando respetando su estructura de funcionamiento.

Como un ejemplo se puede sugerir en un futuro el cambio de su estructura cableada para la transmisión de datos a una de tipo inalámbrica para dar un mejor aspecto y una mayor movilidad de los instrumentos.

En base al estudio realizado para la evaluación de la propuesta en los resultados de las pruebas se presentan los reportes generados por el sistema donde indica todos los factores que intervinieron en los ensayos realizados.

En el cual se indica el informe generado en LabView con los datos tomados durante el tratamiento térmico seleccionado y luego transformado a formato de texto para Word; todo esto hecho por el mismo código del programa.

En el primer informe se puede observar el reporte generado para el tratamiento térmico del temple y posteriormente en el siguiente informe se presentan los datos del revenido.

REPORTE DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS DEL ACERO EN EL HORNO DE MUFLA FICM

<i>Información del Reporte</i>	<i>Meteorological Information</i>
Día de práctica: 26/07/2011	Tiempo de permanencia: 30,000 minutos
Hora de práctica: 02:20 PM	Tratamiento Térmico: TEMPLE
Ing. Encargado: Ing.	Temperatura inicial: 18,000 °C

Datos de Temperatura y Tiempo

TIEMPO / 12h	TEMPERATURA / °C
09:30 AM	18,000
01:52 PM	832,000
02:20 PM	827,000



Acero tratado: AISI 1045

Medio de enfriamiento: AGUA

REPORTE DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS DEL ACERO EN EL HORNO DE MUFLA FICM

<i>Información del Reporte</i>	<i>Meteorological Information</i>
Día de práctica: 02/08/2011	Tiempo de permanencia: 30,000 minutos
Hora de práctica: 12:20 PM	Tratamiento Térmico: REVENIDO
Ing. Encargado: Ing. CARLOS CALDERON	Temperatura inicial: 18,000 °C

Datos de Temperatura y Tiempo

TIEMPO / 12h	TEMPERATURA / °C
11:49 AM	18,000
12:01 PM	243,000
12:20 PM	240,000



Acero tratado: AISI 1045

Medio de enfriamiento: aire

En la observación técnica realizada al sistema de control de tiempos para la realización de tratamientos térmicos se indica los siguientes puntos a manera de instructivo para un buen manejo y conservación de sus componentes.

INSTRUCCIONES:

- Procure mantener el área de trabajo en orden para evitar accidentes.
- Mantenga el computador lo suficientemente alejado del horno de mufla con el propósito de brindar movilidad y evitar desperfectos futuros.
- Tenga precaución de no aplastar, doblar, o colocar directamente en el calor el cable de transmisión de datos, ya que éste es primordial para el funcionamiento del sistema.
- No trate de manipular los componentes internos del sistema de control de tiempos. Si existe algún desperfecto consulte con un técnico especializado.
- No introduzca objetos extraños ni derrame líquidos dentro del aparato de control.
- Revisar periódicamente que todos los cables estén correctamente conectados y en buen estado.
- Asegúrese de conectar correctamente el terminal del cable de transmisión RS232 al adaptador de USB; y a su vez éste a la computadora a través de un puerto USB 2.0.
- Antes de conectar el cable USB, se recomienda instalar el driver proporcionado para ésta tarea, el mismo que es entregado a los ayudantes de laboratorio y son los encargados de precautelar los bienes a ellos confiados. En caso de no encontrarlo se dejara un respaldo junto con el programa para el control del horno en el CD solicitado por biblioteca.

Una vez verificado todos estos pasos se procede a la utilización del software para el control de los tiempos en los tratamientos térmicos realizados en el horno de mufla.

- El código del programa fue realizado en LabView 2010, por lo que se recomienda utilizar ésta versión o una superior en caso de contarla.

- Antes de encender el programa para el control del horno verifique que la perilla del sistema de control anterior se encuentra situado en cero; esto para evitar que cuando termine el proceso el horno permanezca prendido.
- Una vez realizado los pasos anteriores coloque los valores correspondientes en sus respectivos cuadros de control o seleccione el tratamiento térmico deseado para las probetas estandarizadas y posterior a esto presione dando un click en el botón de play.
- Finalmente al cumplirse el tiempo especificado para el tratamiento térmico indicado, el programa apaga temporalmente el horno y manda una señal para que se reproduzca un aviso sonoro y al mismo tiempo despliega un mensaje donde indica si se desea seguir utilizando el horno con la misma configuración inicial o si se desea terminar y generar el informe del proceso correspondiente.
- Al finalizar todas las prácticas asegúrese de apagar el horno para evitar accidentes o daños posteriores.
- Para las posteriores prácticas revise que todos los parámetros y especificaciones dadas se encuentren en orden, además de no omitir ninguna recomendación para asegurar que el sistema funcione de acuerdo a lo establecido.

MATERIALES DE REFERENCIA:

1. BIBLIOGRAFÍA

- ACOSTA, Luis, (1972). **“Guía Práctica para la Investigación Científica”**. Paidós. Buenos Aires. Argentina.
- ALCARAZ RODRÍGUEZ, Rafael Eduardo. **“Elaboración de Proyectos”**. Primera Edición. Editorial McGraw-Hill. México-Ecuador
- **ASHBY, M.F. (1999)**. **“Materials selection in mechanical design”**. **Butterworth-Heinemann**
- **ASM Handbook. (1997), vol. 20, Materials Selection and Design, ASM International, Metals Park, OH**
- ASTIGARRAGA, Juan. **“Hornos industriales de resistencia”** Primera Edición. Editorial McGraw-Hill. México
- **CHARLES, J.A., CRANE, F.A.A and FURNESS, J.A.G. (1997)**. **“Selection and use of engineering materials”**. **Butterworth-Heinemann**
- WARNOCK G., (1988), **“Programmable Controllers: Operation and Application”**, Prentice Hall.
- GREY G. Albert. **“Introducción a la metalurgia física”**
- CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR, aprobada en Referéndum por el pueblo ecuatoriano
- JARRÍN, Pedro Pablo. (2000). **“Guía Práctica de Investigación Científica”**. Tercera Edición. Editorial I.S.B.N. Quito-Ecuador
- Ley de Educación Superior de la República del Ecuador dado en el Palacio Nacional, en Quito, a 23 de octubre del año 2000.

- MURRAY, R. Spingel. (1973), **“Teoría y Problemas de Estadística”**. Segunda Edición. Libros McGraw-Hill. Cali. Colombia.
- REYES, Carlos, (2006). **“Microcontroladores PIC Programación en Basic”**. Segunda Edición. Rispergraf. Quito-Ecuador.
- R. W. Lewis, (1998), **“Programming industrial control systems using IEC 1131-1, IEE Press”**.
- SÁNCHEZ, Ma. Elena. (2010), **“Tecnología de Materiales”**. Primera edición. Editorial Trillas. México.
- SMITH, W.F. (1994). **“Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales”**. 2ª Edición en Castellano. McGraw-Hill. Madrid
- Salamanca, Santiago, (2003). **“Los PIC de la Gama Media. Arquitectura y Técnicas de Programación.”**. Universidad de Extremadura.
- Sidney AVNER. (1987), **“Introducción a la Metalurgia Física”**. 2º Edición. Editorial McGraw-Hill. Mexico.

REFERENCIA DE INTERNET:

- <http://hamd.galeon.com> - Henry Mendiburu Díaz [consulta: 07 febrero 2009]
- <http://www.festo-usa.com/pneu/plcs.html> [consulta: 15 septiembre 2009]
- www.microchip.com [consulta: 15 septiembre 2009]
- http://freescale.com/files/microcontrollers/doc/data_sheet/MC9S08QE32.pdf. [consulta: 15 septiembre 2009]
- http://es.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface [consulta: 25 octubre 2009]
- <http://tech-freaks.net/?p=582> [consulta: 25 octubre 2009]

- www.datasheetcatalog.com [consulta: 09 diciembre 2009]
- www.maxim-ic.com [consulta: 09 diciembre 2009]
- <http://eya.swin.net/auto/plctut.htm> [consulta: 15 septiembre 2009]
- <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/25> [consulta: 16 abril 2010]
- <http://bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/handle/123456789/525> [consulta: 16 abril 2010]
- http://www.sapiensman.com/control_automatgico.htm [consulta: 20 febrero 2010]
- <http://www.parallaxinc.com> y <http://www.stampsenclase.com> [consulta: 17 julio 2010]
- <http://es.wikipedia.org/wiki/termocuplas> [consulta: 17 julio 2010]
- http://www.omega.com/toc_esp/subsectionSC.asp?subsection=a&book=Temperature&all=1 [consulta: 17 julio 2010]
- <http://www.ni.com> [consulta: 20 octubre 2010]
- <http://robots-argentina.com.ar/comunicación/busi2c> [consulta: 19 junio 2011]
- <http://www.monografias.com/trabajos11/micro/micro.shtml> [consulta: 19 junio 2011]
- <http://iaci.unq.edu.ar/caut1> [consulta: 19 junio 2011]
- <http://blog.utp.edu.co/metalografia/files/2010/10/diagrama-Fe-C1.png>

2. ANEXOS

ANEXO I.

ENTREVISTA DIRIGIDA A DOCENTES Y AYUDANTE DE
LABORATORIO DE MATERIALES

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

ENTREVISTA DIRIGIDA A DOCENTES Y AYUDANTE DEL LABORATORIO DE MATERIALES

Investigador: **Carlos Calderón**

PREGUNTA N° 1

¿Cómo cree usted que se podrá recoger mejor los datos generados con un sistema de control de tiempos?

Manualmente ____

Por computadora ____

PREGUNTA N° 2

¿Qué datos se necesita visualizar en la pantalla del software de control durante o después del proceso realizado?

Temperatura, tiempo de permanencia, proceso.

PREGUNTA N° 3

¿Qué tipos de tratamientos térmicos del acero se realiza en el horno de mufla?

Temple ___ Revenido ___ Normalizado ___ Cementado ___
Austempering ___ Ensayo Jominy ___

PREGUNTA N° 4

¿Cuáles son las temperaturas utilizadas regularmente en las probetas para tratamientos térmicos en el horno de mufla?

PREGUNTA N° 5

¿Bajo qué especificaciones o normas se sustenta la realización de tratamientos térmicos?

PREGUNTA N° 6

¿Qué tipos de aceros se utilizan en los tratamientos térmicos en el laboratorio de materiales?

AISI 1018 ___ AISI 1020 ___ AISI 1040 ___ AISI 1045 ___
AISI 4337 ___ AISI 4340 ___

PREGUNTA N° 7

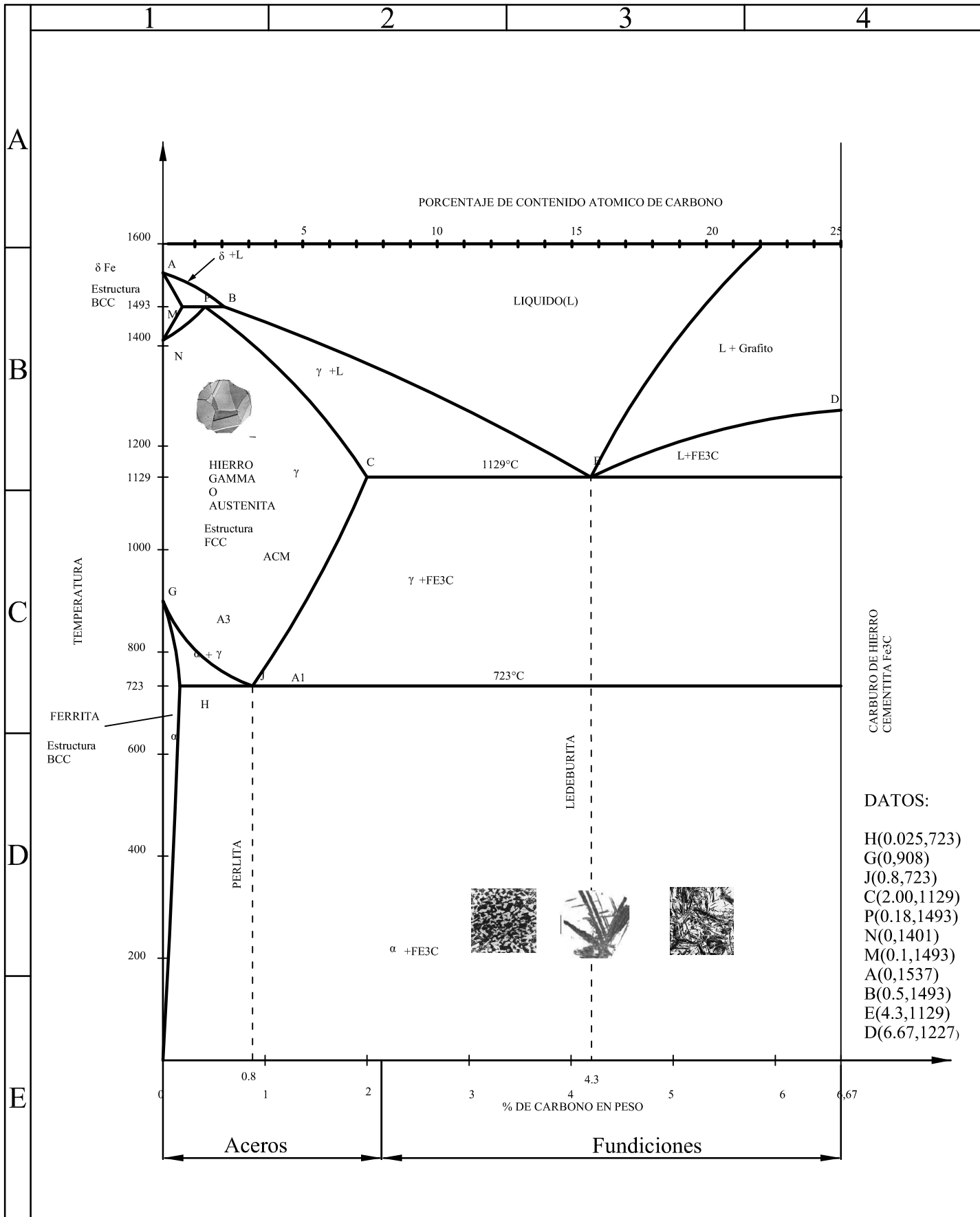
¿Qué dimensión tienen las probetas usadas comúnmente para ensayos de tratamientos térmicos en el horno de mufla?

PREGUNTA N° 8

¿Cuántos ensayos de tratamientos térmicos se realizan durante el semestre en el laboratorio de materiales?

ANEXO II.

DIAGRAMA HIERRO – CARBONO



					Acero
				Tolerancias (peso)	
				fecha Nombre	
			Dib.	2011 05 26	CALDERON C.
			Rev.	2011 05 26	
			Apro.	2011 05 26	
				UTA	Numero del dibujo: 01
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	MECANICA - INGENIERIA	ANEXO
					Escala 1:1

ANEXO III.

CATALOGO DEL ACERO AISI 1045 DE LA FÁBRICA BOHLER



V 945 NB
AISI 1045

**ACERO PARA
CONSTRUCCION MECANICA
RECOCIDO, PARA
BONIFICACION O TEMPLE**

V 945 NB - AISI 1045



Tipo de aleación %	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	Co
	0.45	0.3	0.7	-	-	-	-	-	-

Normas	No. Mat.	1.1191	DIN	CK 45
	AISI	1042/1045	BS	080 M46
	AFNOR	XC 45	SIS	1660
	JIS	S 45C	UNI	C 45
	GOST	45		

Propiedades Acero para construcciones mecánicas, no aleado, de bonificación.

Aplicaciones Parte y piezas de pequeña sección de baja resistencia así como grandes piezas de función en estado normalizado. En general para fabricación de repuestos para máquinas, motores y automóviles, tales como ejes, partes de acople, árboles, partes para troqueles, bielas y cremalleras.

Instrucciones para el tratamiento térmico

Forjar: 1100 - 850°C, enfriamiento lento en el horno o en material termoaislante.

Normalizar: 840 - 870°C, enfriamiento al aire.

Recocer: 650 - 700°C, enfriamiento regulado en el horno. Dureza después del recocido: máx. 190 Brinell.

Destensionar: en estado bonificado aprox. 30 - 50°C por debajo de la temperatura de revenido. En estado recocido, aprox. 600 - 650°C. Mantenimiento de temperatura, mín. 1 hora.

Templar: 820 - 850°C. Enfriamiento en agua.
830 - 860°C. Enfriamiento en aceite. Para piezas delgadas y complicadas.

Revenido: 550 - 660°C, enfriamiento en el aire. El revenido se debe efectuar inmediatamente después del temple. Tiempo de mantenimiento a temperatura mín. 1 hora. Véase diagrama de bonificación.

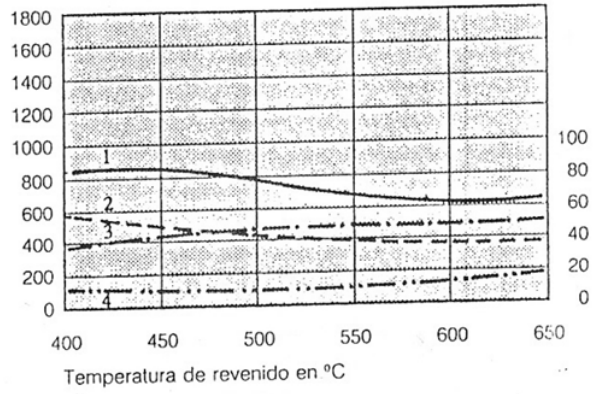
Propiedades físicas (a temperatura ambiente)	Densidad, g/cm ³	7.85					
	Módulo de elasticidad, 10 ³ N/mm ²	210.0					
	Conductibilidad térmica, W/m °C	42.0					
	Resistencia eléctrica específica Ωmm ² /m	0.19					
	Calor específico, J/g °C	0.46					
	Dilatación térmica entre 20°C y °C	100.0	200.0	300.0	400.0	500.0	600.0
	10 ⁻⁶ m/m °C	11.1	12.1	12.9	13.5	13.9	14.1
Módulo de elasticidad a °C							
10 ³ N/mm ²	205.0	195.0	185.0	175.0	165.0	155.0	

Diagrama de bonificación

Temperatura de temple: 850°C
 Sección de la probeta: Ø 60 mm

- 1) resistencia a la tracción
N/mm²
- 2) límite de elongación
N/mm²

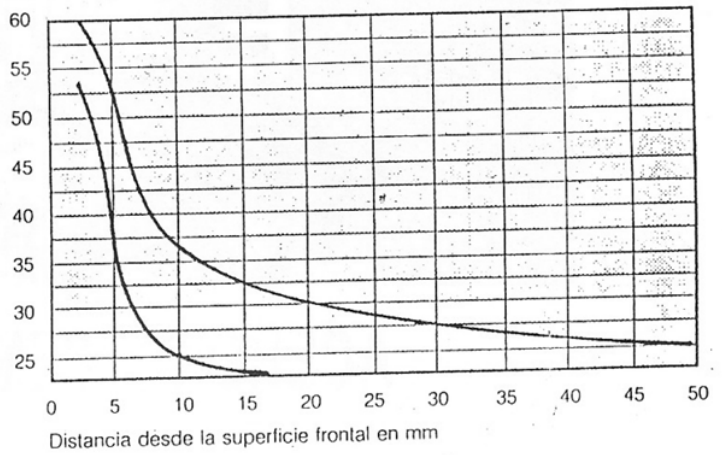
- 3) estricción en %
- 4) dilatación (Lo = 5do) %
- 5) Resistencia DVM
en J



Ensayo Jominy

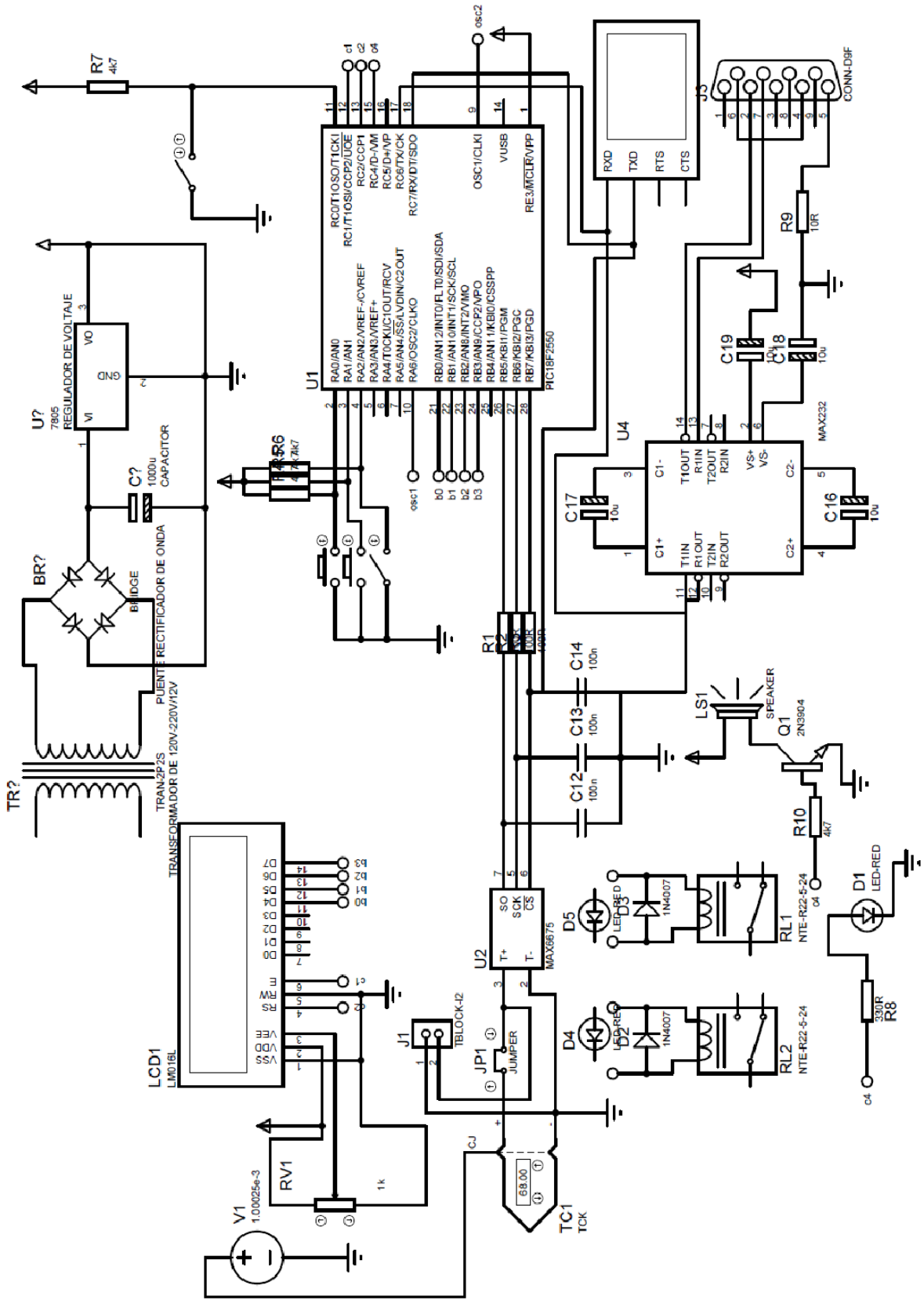
Temperatura de temple: 820°C

Dureza en RC



ANEXO IV.

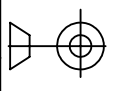
DIAGRAMA DEL CIRCUITO ELECTRÓNICO DEL SISTEMA DE CONTROL



A
B
C
D
E

1 2 3 4

		TOLERANCIA:		PESO:		MATERIAL:	
		FECHA		NOMBRE		TÍTULO:	
DIBUJO:		2010 09 01	Calderón C			DIAGRAMA ELECTRICO DEL SISTEMA DE CONTROL	
REVISO:		2010 09 01	Tlg. Liberman Freire				
APROBO:		2010 09 01	Tlg. Liberman Freire				
EDICION MODIFICACION		FECHA	NOMBRE		INGENIERIA MECANICA		NUMERO DE LAMINA 1 DE 1
				U.T.A.		SUSTITUCIÓN:	
				INGENIERIA MECANICA		ESCALA:	



ANEXO V.

HOJA DE DATOS DEL CIRCUITO INTEGRADO
ACONDICIONADOR DE TERMOCUPLAS MAX6675



Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

MAX6675

General Description

The MAX6675 performs cold-junction compensation and digitizes the signal from a type-K thermocouple. The data is output in a 12-bit resolution, SPI™-compatible, read-only format.

This converter resolves temperatures to 0.25°C, allows readings as high as +1024°C, and exhibits thermocouple accuracy of 8LSBs for temperatures ranging from 0°C to +700°C.

The MAX6675 is available in a small, 8-pin SO package.

Features

- ◆ Direct Digital Conversion of Type -K Thermocouple Output
- ◆ Cold-Junction Compensation
- ◆ Simple SPI-Compatible Serial Interface
- ◆ 12-Bit, 0.25°C Resolution
- ◆ Open Thermocouple Detection

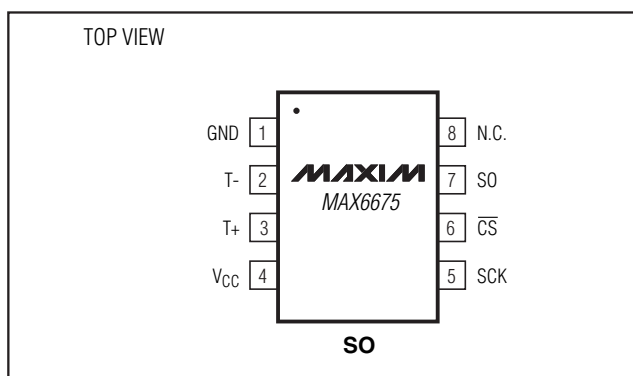
Ordering Information

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
MAX6675ISA	-20°C to +85°C	8 SO

Applications

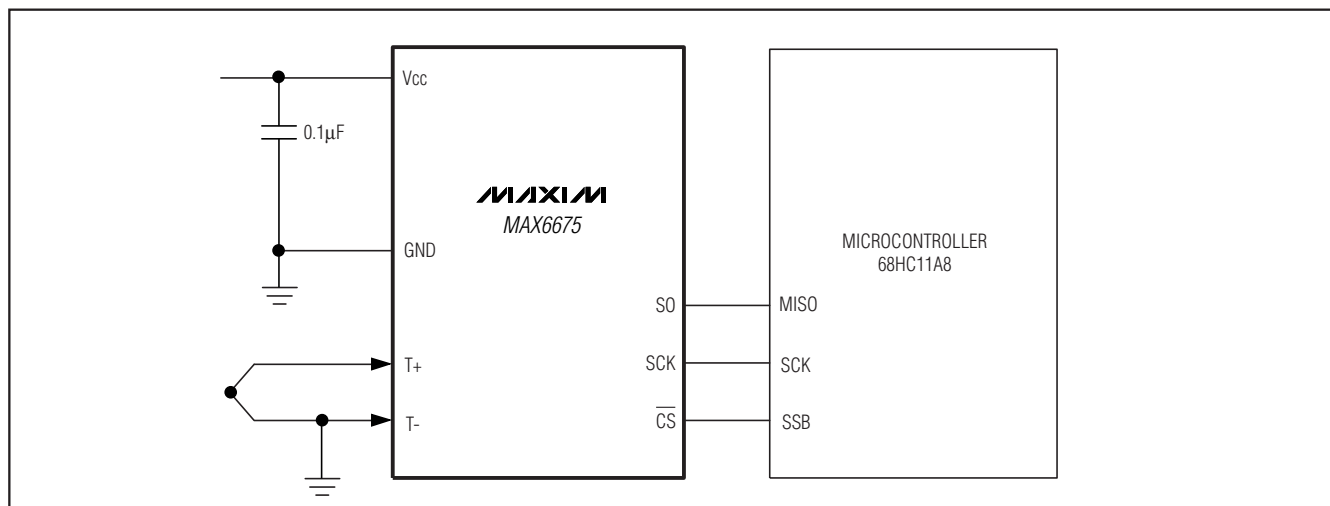
Industrial
Appliances
HVAC
Automotive

Pin Configuration



SPI is a trademark of Motorola, Inc.

Typical Application Circuit



Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage (V_{CC} to GND) -0.3V to +6V
 SO, SCK, CS, T-, T+ to GND -0.3V to V_{CC} + 0.3V
 SO Current 50mA
 ESD Protection (Human Body Model) ±2000V
 Continuous Power Dissipation (T_A = +70°C)
 8-Pin SO (derate 5.88mW/°C above +70°C) 471mW
 Operating Temperature Range -20°C to +85°C

Storage Temperature Range -65°C to +150°C
 Junction Temperature +150°C
 SO Package
 Vapor Phase (60s) +215°C
 Infrared (15s) +220°C
 Lead Temperature (soldering, 10s) +300°C

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(V_{CC} = +3.0V to +5.5V, T_A = -20°C to +85°C, unless otherwise noted. Typical values specified at +25°C.) (Note 1)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
Temperature Error		T _{THERMOCOUPLE} = +700°C, T _A = +25°C (Note 2)	V _{CC} = +3.3V	-5		+5	LSB
			V _{CC} = +5V	-6		+6	
		T _{THERMOCOUPLE} = 0°C to +700°C, T _A = +25°C (Note 2)	V _{CC} = +3.3V	-8		+8	
			V _{CC} = +5V	-9		+9	
		T _{THERMOCOUPLE} = +700°C to +1000°C, T _A = +25°C (Note 2)	V _{CC} = +3.3V	-17		+17	
			V _{CC} = +5V	-19		+19	
Thermocouple Conversion Constant					10.25		μV/LSB
Cold-Junction Compensation Error		T _A = -20°C to +85°C (Note 2)	V _{CC} = +3.3V	-3.0		+3.0	°C
			V _{CC} = +5V	-3.0		+3.0	
Resolution					0.25		°C
Thermocouple Input Impedance					60		kΩ
Supply Voltage	V _{CC}			3.0		5.5	V
Supply Current	I _{CC}				0.7	1.5	mA
Power-On Reset Threshold		V _{CC} rising		1	2	2.5	V
Power-On Reset Hysteresis					50		mV
Conversion Time		(Note 2)			0.17	0.22	s
SERIAL INTERFACE							
Input Low Voltage	V _{IL}					0.3 x V _{CC}	V
Input High Voltage	V _{IH}			0.7 x V _{CC}			V
Input Leakage Current	I _{LEAK}	V _{IN} = GND or V _{CC}				±5	μA
Input Capacitance	C _{IN}				5		pF

Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

($V_{CC} = +3.0V$ to $+5.5V$, $T_A = -20^\circ C$ to $+85^\circ C$, unless otherwise noted. Typical values specified at $+25^\circ C$.) (Note 1)

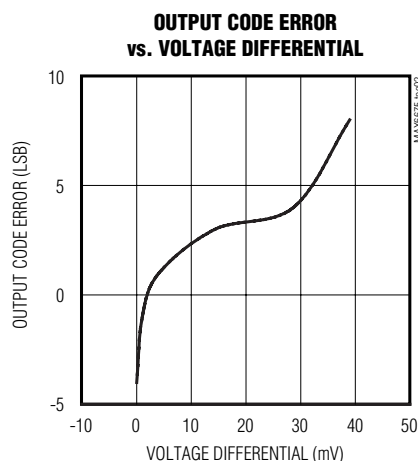
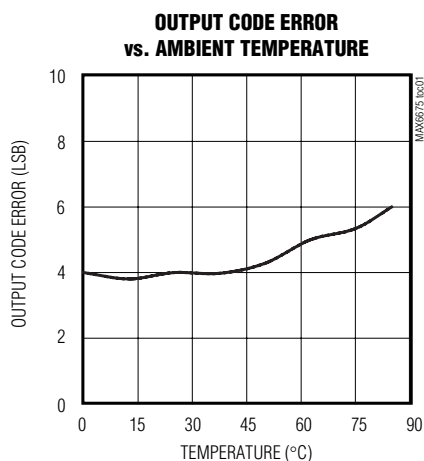
PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Output High Voltage	V_{OH}	$I_{SOURCE} = 1.6mA$	$V_{CC} - 0.4$			V
Output Low Voltage	V_{OL}	$I_{SINK} = 1.6mA$			0.4	V
TIMING						
Serial Clock Frequency	f_{SCL}				4.3	MHz
SCK Pulse High Width	t_{CH}		100			ns
SCK Pulse Low Width	t_{CL}		100			ns
CSB Fall to SCK Rise	t_{CSS}	$C_L = 10pF$	100			ns
CSB Fall to Output Enable	t_{DV}	$C_L = 10pF$			100	ns
CSB Rise to Output Disable	t_{TR}	$C_L = 10pF$			100	ns
SCK Fall to Output Data Valid	t_{DO}	$C_L = 10pF$			100	ns

Note 1: All specifications are 100% tested at $T_A = +25^\circ C$. Specification limits over temperature ($T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX}) are guaranteed by design and characterization, not production tested.

Note 2: Guaranteed by design. Not production tested.

Typical Operating Characteristics

($V_{CC} = +3.3V$, $T_A = +25^\circ C$, unless otherwise noted.)



Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

Pin Description

PIN	NAME	FUNCTION
1	GND	Ground
2	T-	Alumel Lead of Type-K Thermocouple. Should be connected to ground externally.
3	T+	Chromel Lead of Type-K Thermocouple
4	V _{CC}	Positive Supply. Bypass with a 0.1μF capacitor to GND.
5	SCK	Serial Clock Input
6	\overline{CS}	Chip Select. Set \overline{CS} low to enable the serial interface.
7	SO	Serial Data Output
8	N.C.	No Connection

Detailed Description

The MAX6675 is a sophisticated thermocouple-to-digital converter with a built-in 12-bit analog-to-digital converter (ADC). The MAX6675 also contains cold-junction compensation sensing and correction, a digital controller, an SPI-compatible interface, and associated control logic.

The MAX6675 is designed to work in conjunction with an external microcontroller (μC) or other intelligence in thermostatic, process-control, or monitoring applications.

Temperature Conversion

The MAX6675 includes signal-conditioning hardware to convert the thermocouple's signal into a voltage compatible with the input channels of the ADC. The T+ and T- inputs connect to internal circuitry that reduces the introduction of noise errors from the thermocouple wires.

Before converting the thermoelectric voltages into equivalent temperature values, it is necessary to compensate for the difference between the thermocouple cold-junction side (MAX6675 ambient temperature) and a 0°C virtual reference. For a type-K thermocouple, the voltage changes by 41μV/°C, which approximates the thermocouple characteristic with the following linear equation:

$$V_{OUT} = (41\mu V / ^\circ C) \times (T_R - T_{AMB})$$

Where:

V_{OUT} is the thermocouple output voltage (μV).

T_R is the temperature of the remote thermocouple junction (°C).

T_{AMB} is the ambient temperature (°C).

Cold-Junction Compensation

The function of the thermocouple is to sense a difference in temperature between two ends of the thermocouple wires. The thermocouple's hot junction can be read from 0°C to +1023.75°C. The cold end (ambient temperature of the board on which the MAX6675 is mounted) can only range from -20°C to +85°C. While the temperature at the cold end fluctuates, the MAX6675 continues to accurately sense the temperature difference at the opposite end.

The MAX6675 senses and corrects for the changes in the ambient temperature with cold-junction compensation. The device converts the ambient temperature reading into a voltage using a temperature-sensing diode. To make the actual thermocouple temperature measurement, the MAX6675 measures the voltage from the thermocouple's output and from the sensing diode. The device's internal circuitry passes the diode's voltage (sensing ambient temperature) and thermocouple voltage (sensing remote temperature minus ambient temperature) to the conversion function stored in the ADC to calculate the thermocouple's hot-junction temperature.

Optimal performance from the MAX6675 is achieved when the thermocouple cold junction and the MAX6675 are at the same temperature. Avoid placing heat-generating devices or components near the MAX6675 because this may produce cold-junction-related errors.

Digitization

The ADC adds the cold-junction diode measurement with the amplified thermocouple voltage and reads out the 12-bit result onto the SO pin. A sequence of all zeros means the thermocouple reading is 0°C. A sequence of all ones means the thermocouple reading is +1023.75°C.

Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

Applications Information

Serial Interface

The *Typical Application Circuit* shows the MAX6675 interfaced with a microcontroller. In this example, the MAX6675 processes the reading from the thermocouple and transmits the data through a serial interface. Force \overline{CS} low and apply a clock signal at SCK to read the results at SO. Forcing \overline{CS} low immediately stops any conversion process. Initiate a new conversion process by forcing \overline{CS} high.

Force \overline{CS} low to output the first bit on the SO pin. A complete serial interface read requires 16 clock cycles. Read the 16 output bits on the falling edge of the clock. The first bit, D15, is a dummy sign bit and is always zero. Bits D14–D3 contain the converted temperature in the order of MSB to LSB. Bit D2 is normally low and goes high when the thermocouple input is open. D1 is low to provide a device ID for the MAX6675 and bit D0 is three-state.

Figure 1a is the serial interface protocol and Figure 1b shows the serial interface timing. Figure 2 is the SO output.

Open Thermocouple

Bit D2 is normally low and goes high if the thermocouple input is open. In order to allow the operation of the open thermocouple detector, T- must be grounded. Make the ground connection as close to the GND pin as possible.

Noise Considerations

The accuracy of the MAX6675 is susceptible to power-supply coupled noise. The effects of power-supply noise can be minimized by placing a 0.1 μ F ceramic bypass capacitor close to the supply pin of the device.

Thermal Considerations

Self-heating degrades the temperature measurement accuracy of the MAX6675 in some applications. The magnitude of the temperature errors depends on the thermal conductivity of the MAX6675 package, the

mounting technique, and the effects of airflow. Use a large ground plane to improve the temperature measurement accuracy of the MAX6675.

The accuracy of a thermocouple system can also be improved by following these precautions:

- Use the largest wire possible that does not shunt heat away from the measurement area.
- If small wire is required, use it only in the region of the measurement and use extension wire for the region with no temperature gradient.
- Avoid mechanical stress and vibration, which could strain the wires.
- When using long thermocouple wires, use a twisted-pair extension wire.
- Avoid steep temperature gradients.
- Try to use the thermocouple wire well within its temperature rating.
- Use the proper sheathing material in hostile environments to protect the thermocouple wire.
- Use extension wire only at low temperatures and only in regions of small gradients.
- Keep an event log and a continuous record of thermocouple resistance.

Reducing Effects of Pick-Up Noise

The input amplifier (A1) is a low-noise amplifier designed to enable high-precision input sensing. Keep the thermocouple and connecting wires away from electrical noise sources.

Chip Information

TRANSISTOR COUNT: 6720

PROCESS: BiCMOS

Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

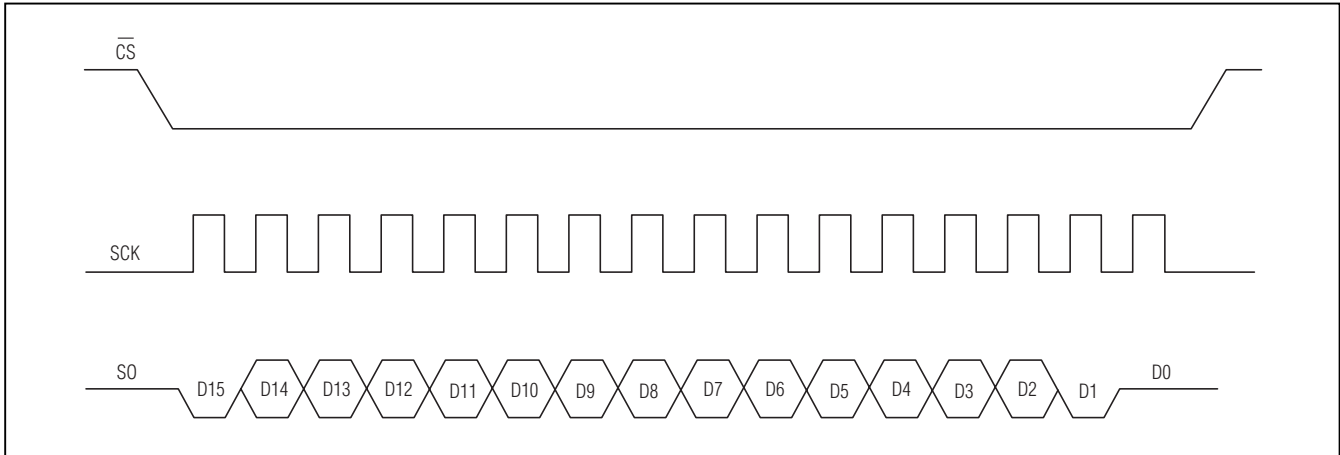


Figure 1a. Serial Interface Protocol

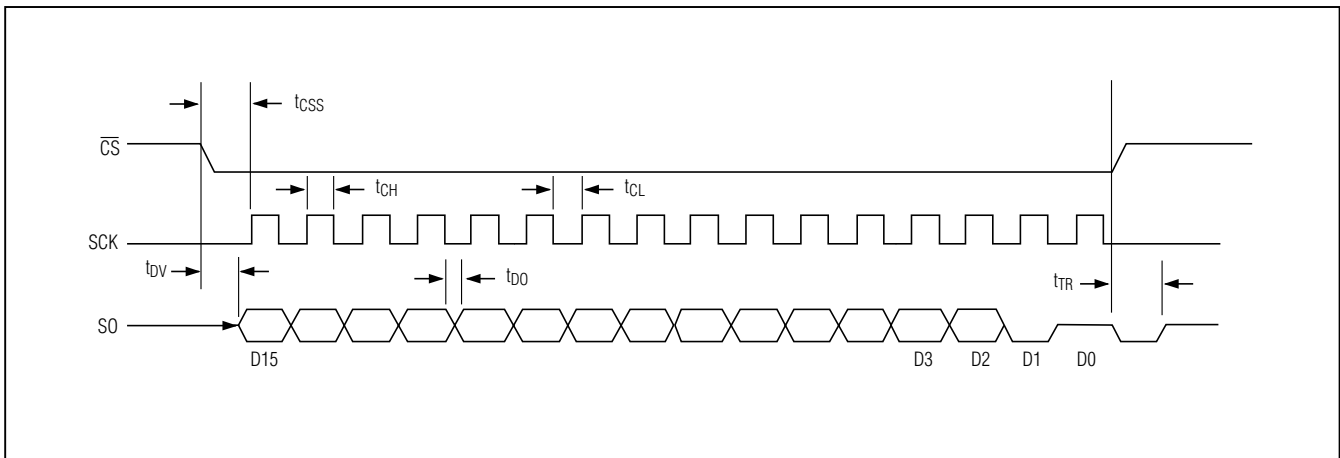


Figure 1b. Serial Interface Timing

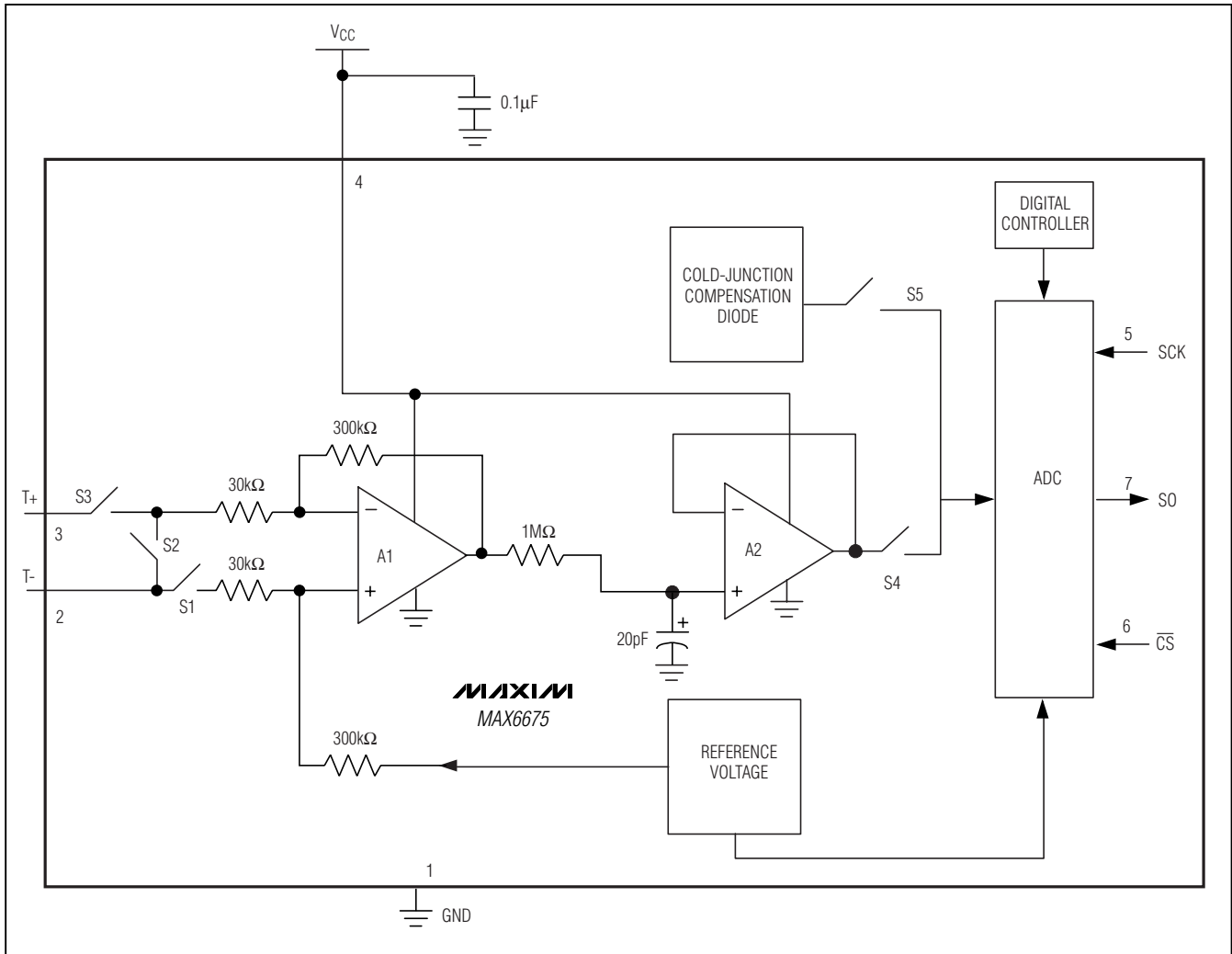
BIT	DUMMY SIGN BIT	12-BIT TEMPERATURE READING											THERMOCOUPLE INPUT	DEVICE ID	STATE	
		14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4				3
Bit	15													2	1	0
	0	MSB											LSB		0	Three-state

Figure 2. SO Output

Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

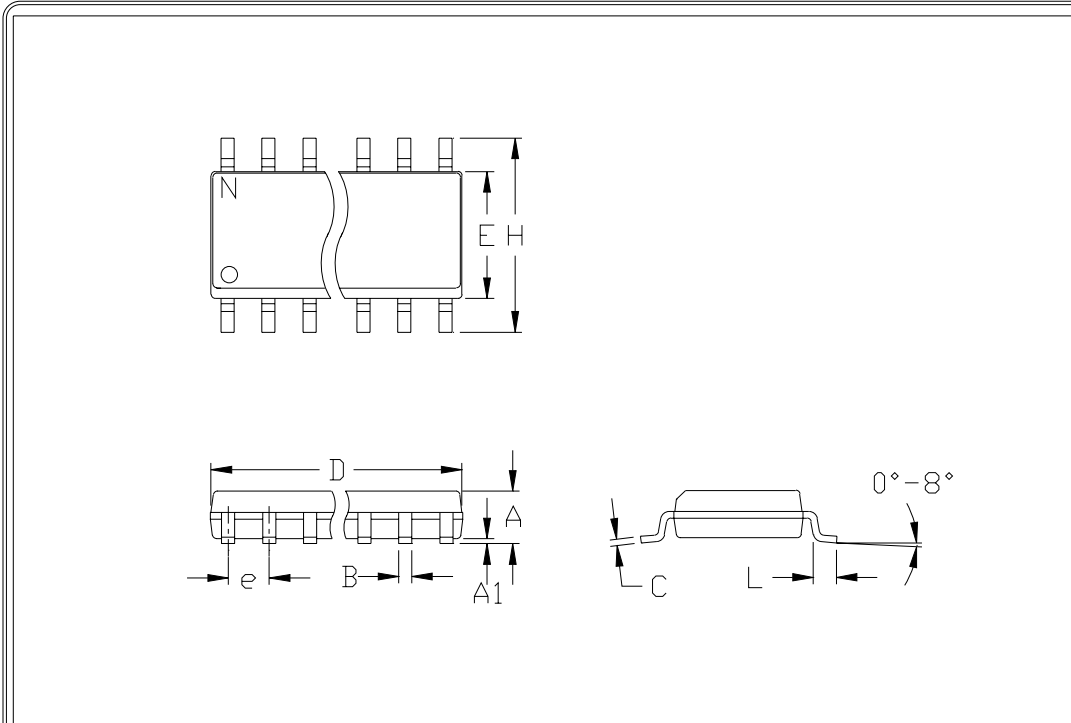
Block Diagram

MAX6675



Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

Package Information



	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.053	0.069	1.35	1.75
A1	0.004	0.010	0.10	0.25
B	0.014	0.019	0.35	0.49
C	0.007	0.010	0.19	0.25
e	0.050		1.27	
E	0.150	0.157	3.80	4.00
H	0.228	0.244	5.80	6.20
h	0.010	0.020	0.25	0.50
L	0.016	0.050	0.40	1.27

	INCHES		MILLIMETERS		N	MS012
	MIN	MAX	MIN	MAX		
D	0.189	0.197	4.80	5.00	8	A
D	0.337	0.344	8.55	8.75	14	B
D	0.386	0.394	9.80	10.00	16	C

NOTES:

1. D&E DO NOT INCLUDE MOLD FLASH
2. MOLD FLASH OR PROTRUSIONS NOT TO EXCEED .15mm (.006")
3. LEADS TO BE COPLANAR WITHIN .102mm (.004")
4. CONTROLLING DIMENSION: MILLIMETER
5. MEETS JEDEC MS012-XX AS SHOWN IN ABOVE TABLE
6. N = NUMBER OF PINS

 <small>120 SAN GABRIEL DR. SUNNYVALE CA 94086 FAX (408) 737 7794</small> <small>PROPRIETARY INFORMATION</small>	PACKAGE FAMILY OUTLINE: SOIC .150" <small>TITLE</small>		21-0041 A
			<small>DOCUMENT CONTROL NUMBER REV</small>

Maxim cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Maxim product. No circuit patent licenses are implied. Maxim reserves the right to change the circuitry and specifications without notice at any time.

8 Maxim Integrated Products, 120 San Gabriel Drive, Sunnyvale, CA 94086 408-737-7600

ANEXO VI.

HOJA DE DATOS DEL MICRO CONTROLADOR PIC 18F2550



PIC18F2455/2550/4455/4550

Data Sheet

28/40/44-Pin, High Performance,
Enhanced Flash, USB Microcontrollers
with nanoWatt Technology



MICROCHIP PIC18F2455/2550/4455/4550

28/40/44-Pin, High-Performance, Enhanced Flash, USB Microcontrollers with nanoWatt Technology

Universal Serial Bus Features:

- USB V2.0 Compliant
- Low Speed (1.5 Mb/s) and Full Speed (12 Mb/s)
- Supports Control, Interrupt, Isochronous and Bulk Transfers
- Supports up to 32 Endpoints (16 bidirectional)
- 1-Kbyte Dual Access RAM for USB
- On-Chip USB Transceiver with On-Chip Voltage Regulator
- Interface for Off-Chip USB Transceiver
- Streaming Parallel Port (SPP) for USB streaming transfers (40/44-pin devices only)

Power-Managed Modes:

- Run: CPU on, peripherals on
- Idle: CPU off, peripherals on
- Sleep: CPU off, peripherals off
- Idle mode currents down to 5.8 μ A typical
- Sleep mode currents down to 0.1 μ A typical
- Timer1 Oscillator: 1.1 μ A typical, 32 kHz, 2V
- Watchdog Timer: 2.1 μ A typical
- Two-Speed Oscillator Start-up

Flexible Oscillator Structure:

- Four Crystal modes, including High Precision PLL for USB
- Two External Clock modes, up to 48 MHz
- Internal Oscillator Block:
 - 8 user-selectable frequencies, from 31 kHz to 8 MHz
 - User-tunable to compensate for frequency drift
- Secondary Oscillator using Timer1 @ 32 kHz
- Dual Oscillator options allow microcontroller and USB module to run at different clock speeds
- Fail-Safe Clock Monitor:
 - Allows for safe shutdown if any clock stops

Peripheral Highlights:

- High-Current Sink/Source: 25 mA/25 mA
- Three External Interrupts
- Four Timer modules (Timer0 to Timer3)
- Up to 2 Capture/Compare/PWM (CCP) modules:
 - Capture is 16-bit, max. resolution 5.2 ns ($T_{CY}/16$)
 - Compare is 16-bit, max. resolution 83.3 ns (T_{CY})
 - PWM output: PWM resolution is 1 to 10-bit
- Enhanced Capture/Compare/PWM (ECCP) module:
 - Multiple output modes
 - Selectable polarity
 - Programmable dead time
 - Auto-shutdown and auto-restart
- Enhanced USART module:
 - LIN bus support
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module supporting 3-wire SPI (all 4 modes) and I²C™ Master and Slave modes
- 10-bit, up to 13-channel Analog-to-Digital Converter module (A/D) with Programmable Acquisition Time
- Dual Analog Comparators with Input Multiplexing

Special Microcontroller Features:

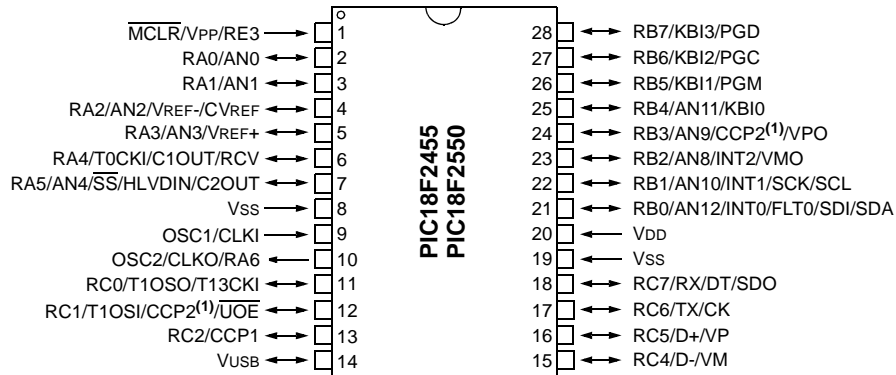
- C Compiler Optimized Architecture with optional Extended Instruction Set
- 100,000 Erase/Write Cycle Enhanced Flash Program Memory typical
- 1,000,000 Erase/Write Cycle Data EEPROM Memory typical
- Flash/Data EEPROM Retention: > 40 years
- Self-Programmable under Software Control
- Priority Levels for Interrupts
- 8 x 8 Single-Cycle Hardware Multiplier
- Extended Watchdog Timer (WDT):
 - Programmable period from 41 ms to 131s
- Programmable Code Protection
- Single-Supply 5V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins
- Optional dedicated ICD/ICSP port (44-pin devices only)
- Wide Operating Voltage Range (2.0V to 5.5V)

Device	Program Memory		Data Memory		I/O	10-Bit A/D (ch)	CCP/ECCP (PWM)	SPP	MSSP		EAUSART	Comparators	Timers 8/16-Bit
	Flash (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)					SPI	Master I ² C™			
PIC18F2455	24K	12288	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F2550	32K	16384	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4455	24K	12288	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4550	32K	16384	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3

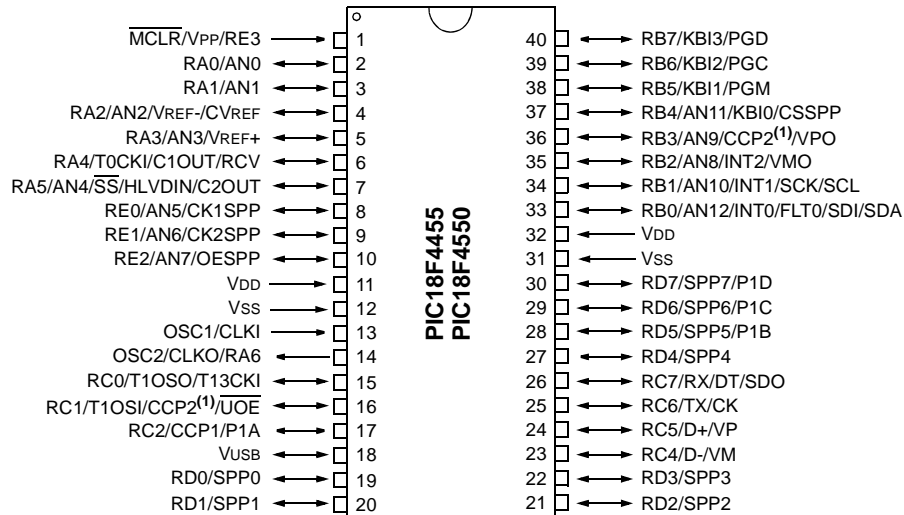
PIC18F2455/2550/4455/4550

Pin Diagrams

28-Pin PDIP, SOIC



40-Pin PDIP



Note 1: RB3 is the alternate pin for CCP2 multiplexing.

PIC18F2455/2550/4455/4550

1.0 DEVICE OVERVIEW

This document contains device-specific information for the following devices:

- PIC18F2455
- PIC18F2550
- PIC18F4455
- PIC18F4550
- PIC18LF2455
- PIC18LF2550
- PIC18LF4455
- PIC18LF4550

This family of devices offers the advantages of all PIC18 microcontrollers – namely, high computational performance at an economical price – with the addition of high endurance, Enhanced Flash program memory. In addition to these features, the PIC18F2455/2550/4455/4550 family introduces design enhancements that make these microcontrollers a logical choice for many high-performance, power sensitive applications.

1.1 New Core Features

1.1.1 nanoWatt TECHNOLOGY

All of the devices in the PIC18F2455/2550/4455/4550 family incorporate a range of features that can significantly reduce power consumption during operation. Key items include:

- **Alternate Run Modes:** By clocking the controller from the Timer1 source or the internal oscillator block, power consumption during code execution can be reduced by as much as 90%.
- **Multiple Idle Modes:** The controller can also run with its CPU core disabled but the peripherals still active. In these states, power consumption can be reduced even further, to as little as 4% of normal operation requirements.
- **On-the-Fly Mode Switching:** The power-managed modes are invoked by user code during operation, allowing the user to incorporate power-saving ideas into their application's software design.
- **Low Consumption in Key Modules:** The power requirements for both Timer1 and the Watchdog Timer are minimized. See **Section 28.0 "Electrical Characteristics"** for values.

1.1.2 UNIVERSAL SERIAL BUS (USB)

Devices in the PIC18F2455/2550/4455/4550 family incorporate a fully featured Universal Serial Bus communications module that is compliant with the USB Specification Revision 2.0. The module supports both low-speed and full-speed communication for all supported data transfer types. It also incorporates its own on-chip transceiver and 3.3V regulator and supports the use of external transceivers and voltage regulators.

1.1.3 MULTIPLE OSCILLATOR OPTIONS AND FEATURES

All of the devices in the PIC18F2455/2550/4455/4550 family offer twelve different oscillator options, allowing users a wide range of choices in developing application hardware. These include:

- Four Crystal modes using crystals or ceramic resonators.
- Four External Clock modes, offering the option of using two pins (oscillator input and a divide-by-4 clock output) or one pin (oscillator input, with the second pin reassigned as general I/O).
- An internal oscillator block which provides an 8 MHz clock ($\pm 2\%$ accuracy) and an INTRC source (approximately 31 kHz, stable over temperature and VDD), as well as a range of 6 user-selectable clock frequencies, between 125 kHz to 4 MHz, for a total of 8 clock frequencies. This option frees an oscillator pin for use as an additional general purpose I/O.
- A Phase Lock Loop (PLL) frequency multiplier, available to both the High-Speed Crystal and External Oscillator modes, which allows a wide range of clock speeds from 4 MHz to 48 MHz.
- Asynchronous dual clock operation, allowing the USB module to run from a high-frequency oscillator while the rest of the microcontroller is clocked from an internal low-power oscillator.

Besides its availability as a clock source, the internal oscillator block provides a stable reference source that gives the family additional features for robust operation:

- **Fail-Safe Clock Monitor:** This option constantly monitors the main clock source against a reference signal provided by the internal oscillator. If a clock failure occurs, the controller is switched to the internal oscillator block, allowing for continued low-speed operation or a safe application shutdown.
- **Two-Speed Start-up:** This option allows the internal oscillator to serve as the clock source from Power-on Reset, or wake-up from Sleep mode, until the primary clock source is available.

PIC18F2455/2550/4455/4550

1.2 Other Special Features

- **Memory Endurance:** The Enhanced Flash cells for both program memory and data EEPROM are rated to last for many thousands of erase/write cycles – up to 100,000 for program memory and 1,000,000 for EEPROM. Data retention without refresh is conservatively estimated to be greater than 40 years.
- **Self-Programmability:** These devices can write to their own program memory spaces under internal software control. By using a bootloader routine, located in the protected Boot Block at the top of program memory, it becomes possible to create an application that can update itself in the field.
- **Extended Instruction Set:** The PIC18F2455/2550/4455/4550 family introduces an optional extension to the PIC18 instruction set, which adds 8 new instructions and an Indexed Literal Offset Addressing mode. This extension, enabled as a device configuration option, has been specifically designed to optimize re-entrant application code originally developed in high-level languages such as C.
- **Enhanced CCP Module:** In PWM mode, this module provides 1, 2 or 4 modulated outputs for controlling half-bridge and full-bridge drivers. Other features include auto-shutdown for disabling PWM outputs on interrupt or other select conditions and auto-restart to reactivate outputs once the condition has cleared.
- **Enhanced Addressable USART:** This serial communication module is capable of standard RS-232 operation and provides support for the LIN bus protocol. Other enhancements include Automatic Baud Rate Detection and a 16-bit Baud Rate Generator for improved resolution. When the microcontroller is using the internal oscillator block, the EUSART provides stable operation for applications that talk to the outside world without using an external crystal (or its accompanying power requirement).
- **10-Bit A/D Converter:** This module incorporates programmable acquisition time, allowing for a channel to be selected and a conversion to be initiated, without waiting for a sampling period and thus, reducing code overhead.
- **Dedicated ICD/ICSP Port:** These devices introduce the use of debugger and programming pins that are not multiplexed with other microcontroller features. Offered as an option in select packages, this feature allows users to develop I/O intensive applications while retaining the ability to program and debug in the circuit.

1.3 Details on Individual Family Members

Devices in the PIC18F2455/2550/4455/4550 family are available in 28-pin and 40/44-pin packages. Block diagrams for the two groups are shown in Figure 1-1 and Figure 1-2.

The devices are differentiated from each other in six ways:

1. Flash program memory (24 Kbytes for PIC18FX455 devices, 32 Kbytes for PIC18FX550).
2. A/D channels (10 for 28-pin devices, 13 for 40/44-pin devices).
3. I/O ports (3 bidirectional ports and 1 input only port on 28-pin devices, 5 bidirectional ports on 40/44-pin devices).
4. CCP and Enhanced CCP implementation (28-pin devices have two standard CCP modules, 40/44-pin devices have one standard CCP module and one ECCP module).
5. Streaming Parallel Port (present only on 40/44-pin devices).

All other features for devices in this family are identical. These are summarized in Table 1-1.

The pinouts for all devices are listed in Table 1-2 and Table 1-3.

Like all Microchip PIC18 devices, members of the PIC18F2455/2550/4455/4550 family are available as both standard and low-voltage devices. Standard devices with Enhanced Flash memory, designated with an “F” in the part number (such as PIC18F2550), accommodate an operating VDD range of 4.2V to 5.5V. Low-voltage parts, designated by “LF” (such as PIC18LF2550), function over an extended VDD range of 2.0V to 5.5V.

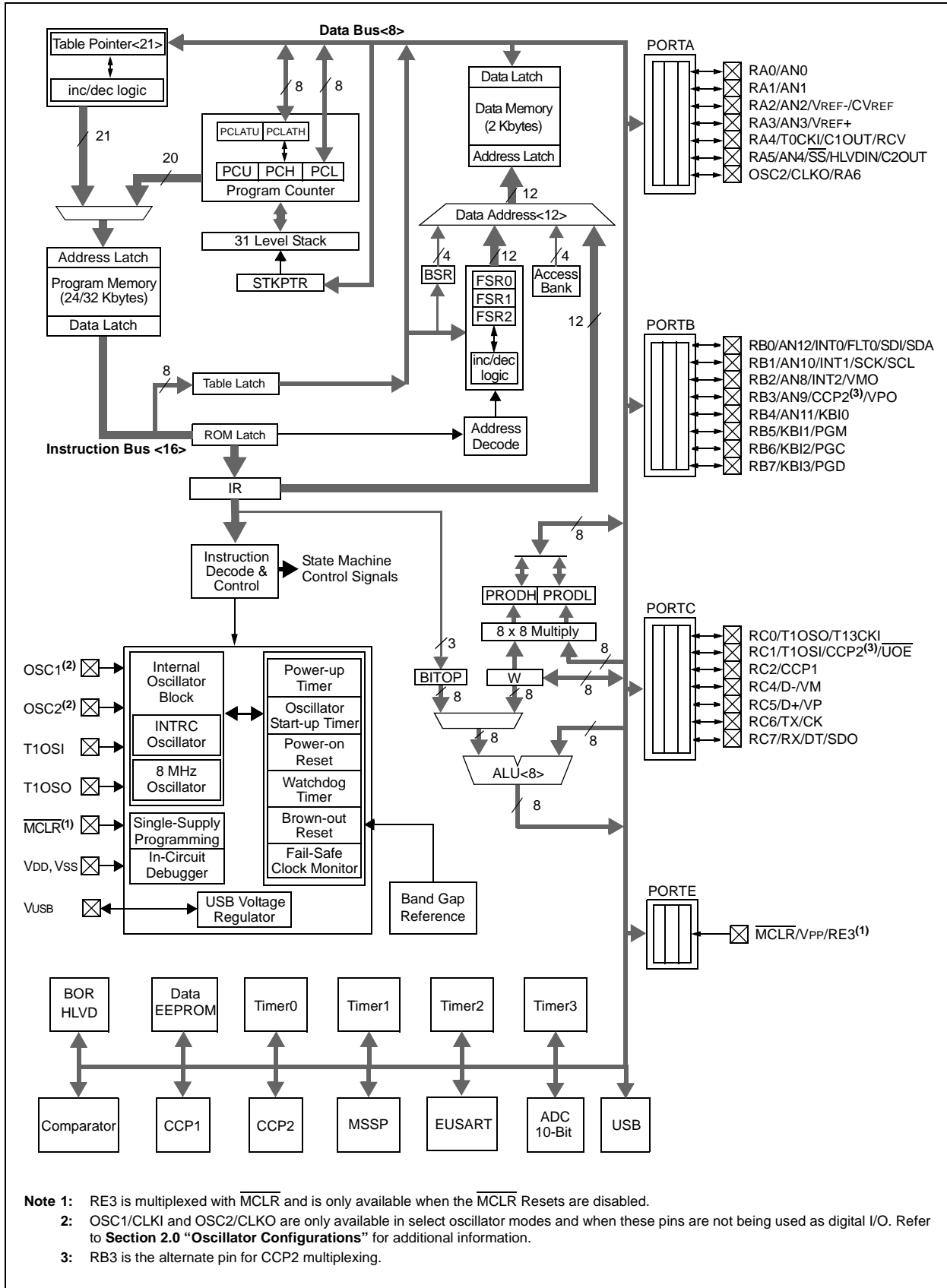
PIC18F2455/2550/4455/4550

TABLE 1-1: DEVICE FEATURES

Features	PIC18F2455	PIC18F2550	PIC18F4455	PIC18F4550
Operating Frequency	DC – 48 MHz	DC – 48 MHz	DC – 48 MHz	DC – 48 MHz
Program Memory (Bytes)	24576	32768	24576	32768
Program Memory (Instructions)	12288	16384	12288	16384
Data Memory (Bytes)	2048	2048	2048	2048
Data EEPROM Memory (Bytes)	256	256	256	256
Interrupt Sources	19	19	20	20
I/O Ports	Ports A, B, C, (E)	Ports A, B, C, (E)	Ports A, B, C, D, E	Ports A, B, C, D, E
Timers	4	4	4	4
Capture/Compare/PWM Modules	2	2	1	1
Enhanced Capture/ Compare/PWM Modules	0	0	1	1
Serial Communications	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART
Universal Serial Bus (USB) Module	1	1	1	1
Streaming Parallel Port (SPP)	No	No	Yes	Yes
10-Bit Analog-to-Digital Module	10 Input Channels	10 Input Channels	13 Input Channels	13 Input Channels
Comparators	2	2	2	2
Resets (and Delays)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT
Programmable Low-Voltage Detect	Yes	Yes	Yes	Yes
Programmable Brown-out Reset	Yes	Yes	Yes	Yes
Instruction Set	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled
Packages	28-pin PDIP 28-pin SOIC	28-pin PDIP 28-pin SOIC	40-pin PDIP 44-pin QFN 44-pin TQFP	40-pin PDIP 44-pin QFN 44-pin TQFP

PIC18F2455/2550/4455/4550

FIGURE 1-1: PIC18F2455/2550 (28-PIN) BLOCK DIAGRAM



PIC18F2455/2550/4455/4550

TABLE 1-2: PIC18F2455/2550 PINOUT I/O DESCRIPTIONS (CONTINUED)

Pin Name	Pin Number	Pin Type	Buffer Type	Description
	PDIP, SOIC			
RB0/AN12/INT0/FLT0/SDI/SDA	21			PORTB is a bidirectional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-ups on all inputs.
RB0		I/O	TTL	Digital I/O.
AN12		I	Analog	Analog input 12.
INT0		I	ST	External interrupt 0.
FLT0		I	ST	PWM Fault input (CCP1 module).
SDI		I	ST	SPI data in.
SDA		I/O	ST	I ² C™ data I/O.
RB1/AN10/INT1/SCK/SCL	22			
RB1		I/O	TTL	Digital I/O.
AN10		I	Analog	Analog input 10.
INT1		I	ST	External interrupt 1.
SCK		I/O	ST	Synchronous serial clock input/output for SPI mode.
SCL		I/O	ST	Synchronous serial clock input/output for I ² C mode.
RB2/AN8/INT2/VMO	23			
RB2		I/O	TTL	Digital I/O.
AN8		I	Analog	Analog input 8.
INT2		I	ST	External interrupt 2.
VMO		O	—	External USB transceiver VMO output.
RB3/AN9/CCP2/VPO	24			
RB3		I/O	TTL	Digital I/O.
AN9		I	Analog	Analog input 9.
CCP2 ⁽¹⁾		I/O	ST	Capture 2 input/Compare 2 output/PWM 2 output.
VPO		O	—	External USB transceiver VPO output.
RB4/AN11/KBI0	25			
RB4		I/O	TTL	Digital I/O.
AN11		I	Analog	Analog input 11.
KBI0		I	TTL	Interrupt-on-change pin.
RB5/KBI1/PGM	26			
RB5		I/O	TTL	Digital I/O.
KBI1		I	TTL	Interrupt-on-change pin.
PGM		I/O	ST	Low-Voltage ICSP™ Programming enable pin.
RB6/KBI2/PGC	27			
RB6		I/O	TTL	Digital I/O.
KBI2		I	TTL	Interrupt-on-change pin.
PGC		I/O	ST	In-Circuit Debugger and ICSP programming clock pin.
RB7/KBI3/PGD	28			
RB7		I/O	TTL	Digital I/O.
KBI3		I	TTL	Interrupt-on-change pin.
PGD		I/O	ST	In-Circuit Debugger and ICSP programming data pin.

Legend: TTL = TTL compatible input CMOS = CMOS compatible input or output
 ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels I = Input
 O = Output P = Power

Note 1: Alternate assignment for CCP2 when CCP2MX Configuration bit is cleared.
2: Default assignment for CCP2 when CCP2MX Configuration bit is set.

2.0 OSCILLATOR CONFIGURATIONS

2.1 Overview

Devices in the PIC18F2455/2550/4455/4550 family incorporate a different oscillator and microcontroller clock system than previous PIC18F devices. The addition of the USB module, with its unique requirements for a stable clock source, make it necessary to provide a separate clock source that is compliant with both USB low-speed and full-speed specifications.

To accommodate these requirements, PIC18F2455/2550/4455/4550 devices include a new clock branch to provide a 48 MHz clock for full-speed USB operation. Since it is driven from the primary clock source, an additional system of prescalers and postscalers has been added to accommodate a wide range of oscillator frequencies. An overview of the oscillator structure is shown in Figure 2-1.

Other oscillator features used in PIC18 enhanced microcontrollers, such as the internal oscillator block and clock switching, remain the same. They are discussed later in this chapter.

2.1.1 OSCILLATOR CONTROL

The operation of the oscillator in PIC18F2455/2550/4455/4550 devices is controlled through two Configuration registers and two control registers. Configuration registers, CONFIG1L and CONFIG1H, select the oscillator mode and USB prescaler/postscaler options. As Configuration bits, these are set when the device is programmed and left in that configuration until the device is reprogrammed.

The OSCCON register (Register 2-2) selects the Active Clock mode; it is primarily used in controlling clock switching in power-managed modes. Its use is discussed in **Section 2.4.1 “Oscillator Control Register”**.

The OSCTUNE register (Register 2-1) is used to trim the INTRC frequency source, as well as select the low-frequency clock source that drives several special features. Its use is described in **Section 2.2.5.2 “OSCTUNE Register”**.

2.2 Oscillator Types

PIC18F2455/2550/4455/4550 devices can be operated in twelve distinct oscillator modes. In contrast with previous PIC18 enhanced microcontrollers, four of these modes involve the use of two oscillator types at once. Users can program the FOSC3:FOSC0 Configuration bits to select one of these modes:

1. XT Crystal/Resonator
2. XTPLL Crystal/Resonator with PLL enabled
3. HS High-Speed Crystal/Resonator
4. HSPLL High-Speed Crystal/Resonator with PLL enabled
5. EC External Clock with FOSC/4 output
6. ECIO External Clock with I/O on RA6
7. ECPLL External Clock with PLL enabled and FOSC/4 output on RA6
8. ECPIO External Clock with PLL enabled, I/O on RA6
9. INTHS Internal Oscillator used as microcontroller clock source, HS Oscillator used as USB clock source
10. INTXT Internal Oscillator used as microcontroller clock source, XT Oscillator used as USB clock source
11. INTIO Internal Oscillator used as microcontroller clock source, EC Oscillator used as USB clock source, digital I/O on RA6
12. INTCKO Internal Oscillator used as microcontroller clock source, EC Oscillator used as USB clock source, FOSC/4 output on RA6

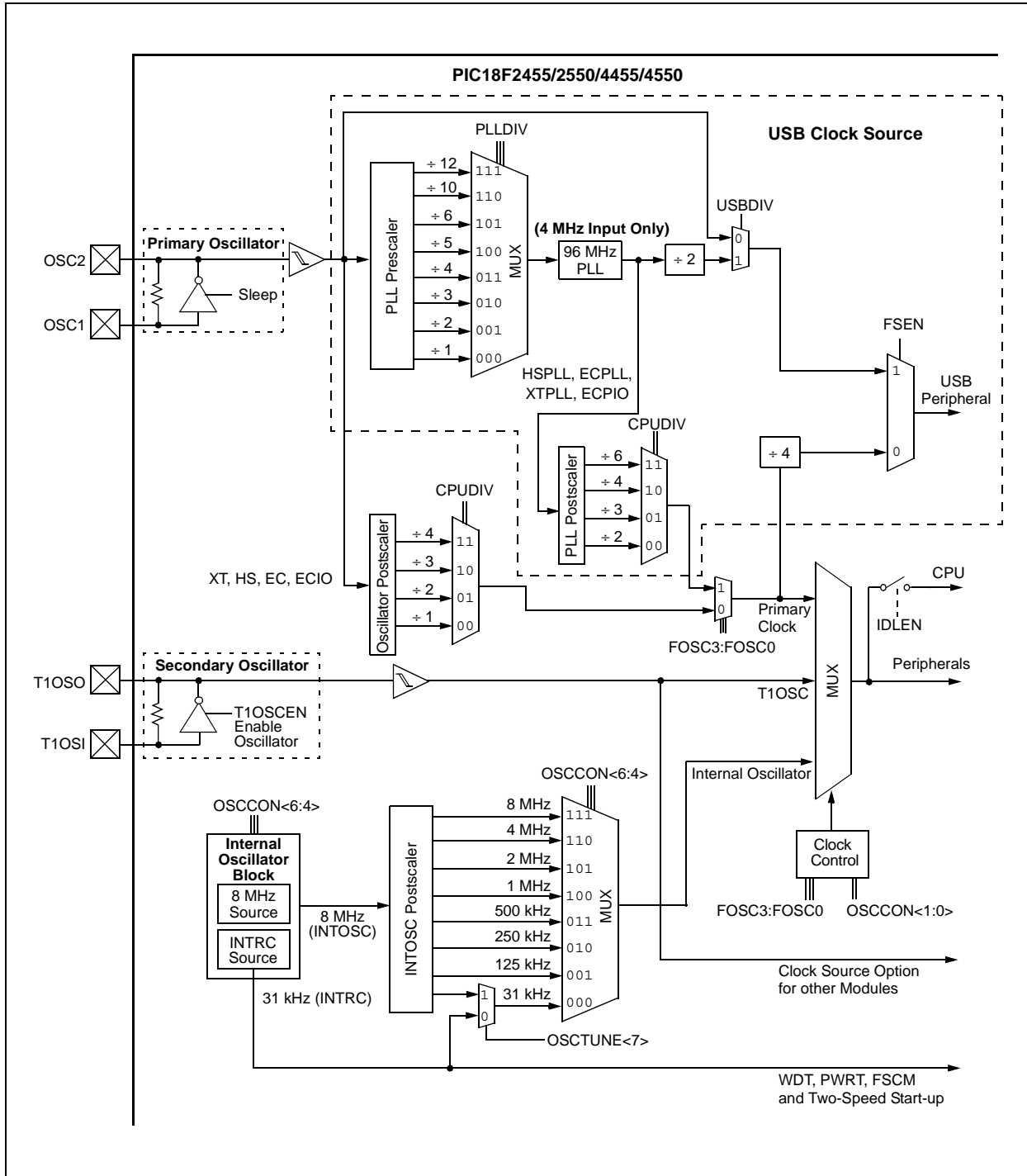
2.2.1 OSCILLATOR MODES AND USB OPERATION

Because of the unique requirements of the USB module, a different approach to clock operation is necessary. In previous PIC® devices, all core and peripheral clocks were driven by a single oscillator source; the usual sources were primary, secondary or the internal oscillator. With PIC18F2455/2550/4455/4550 devices, the primary oscillator becomes part of the USB module and cannot be associated to any other clock source. Thus, the USB module must be clocked from the primary clock source; however, the microcontroller core and other peripherals can be separately clocked from the secondary or internal oscillators as before.

Because of the timing requirements imposed by USB, an internal clock of either 6 MHz or 48 MHz is required while the USB module is enabled. Fortunately, the microcontroller and other peripherals are not required to run at this clock speed when using the primary oscillator. There are numerous options to achieve the USB module clock requirement and still provide flexibility for clocking the rest of the device from the primary oscillator source. These are detailed in **Section 2.3 “Oscillator Settings for USB”**.

PIC18F2455/2550/4455/4550

FIGURE 2-1: PIC18F2455/2550/4455/4550 CLOCK DIAGRAM



PIC18F2455/2550/4455/4550

2.2.2 CRYSTAL OSCILLATOR/CERAMIC RESONATORS

In HS, HSPLL, XT and XTPLL Oscillator modes, a crystal or ceramic resonator is connected to the OSC1 and OSC2 pins to establish oscillation. Figure 2-2 shows the pin connections.

The oscillator design requires the use of a parallel cut crystal.

Note: Use of a series cut crystal may give a frequency out of the crystal manufacturer's specifications.

FIGURE 2-2: CRYSTAL/CERAMIC RESONATOR OPERATION (XT, HS OR HSPLL CONFIGURATION)

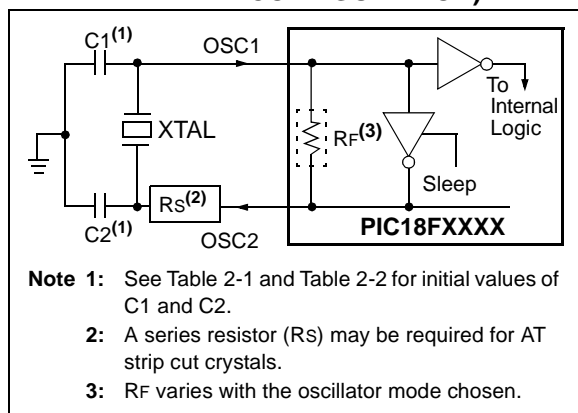


TABLE 2-1: CAPACITOR SELECTION FOR CERAMIC RESONATORS

Typical Capacitor Values Used:			
Mode	Freq	OSC1	OSC2
XT	4.0 MHz	33 pF	33 pF
HS	8.0 MHz	27 pF	27 pF
	16.0 MHz	22 pF	22 pF

Capacitor values are for design guidance only.
 These capacitors were tested with the resonators listed below for basic start-up and operation. **These values are not optimized.**
 Different capacitor values may be required to produce acceptable oscillator operation. The user should test the performance of the oscillator over the expected VDD and temperature range for the application.
 See the notes following Table 2-2 for additional information.

Resonators Used:
4.0 MHz
8.0 MHz
16.0 MHz

TABLE 2-2: CAPACITOR SELECTION FOR CRYSTAL OSCILLATOR

Osc Type	Crystal Freq	Typical Capacitor Values Tested:	
		C1	C2
XT	4 MHz	27 pF	27 pF
HS	4 MHz	27 pF	27 pF
	8 MHz	22 pF	22 pF
	20 MHz	15 pF	15 pF

Capacitor values are for design guidance only.
 These capacitors were tested with the crystals listed below for basic start-up and operation. **These values are not optimized.**
 Different capacitor values may be required to produce acceptable oscillator operation. The user should test the performance of the oscillator over the expected VDD and temperature range for the application.
 See the notes following this table for additional information.

Crystals Used:
4 MHz
8 MHz
20 MHz

- Note 1:** Higher capacitance increases the stability of oscillator but also increases the start-up time.
Note 2: When operating below 3V VDD, or when using certain ceramic resonators at any voltage, it may be necessary to use the HS mode or switch to a crystal oscillator.
Note 3: Since each resonator/crystal has its own characteristics, the user should consult the resonator/crystal manufacturer for appropriate values of external components.
Note 4: Rs may be required to avoid overdriving crystals with low drive level specification.
Note 5: Always verify oscillator performance over the VDD and temperature range that is expected for the application.

An internal postscaler allows users to select a clock frequency other than that of the crystal or resonator. Frequency division is determined by the CPUDIV Configuration bits. Users may select a clock frequency of the oscillator frequency, or 1/2, 1/3 or 1/4 of the frequency.

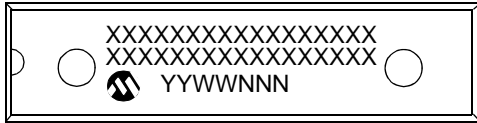
An external clock may also be used when the microcontroller is in HS Oscillator mode. In this case, the OSC2/CLKO pin is left open (Figure 2-3).

PIC18F2455/2550/4455/4550

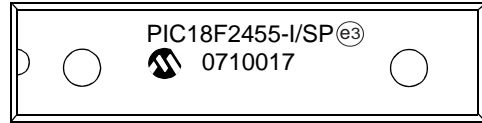
30.0 PACKAGING INFORMATION

30.1 Package Marking Information

28-Lead PDIP (Skinny DIP)



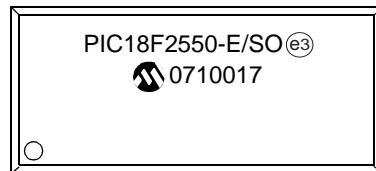
Example



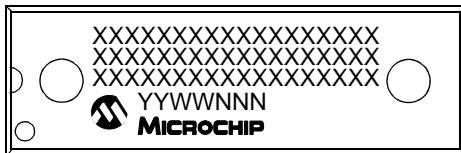
28-Lead SOIC



Example



40-Lead PDIP



Example



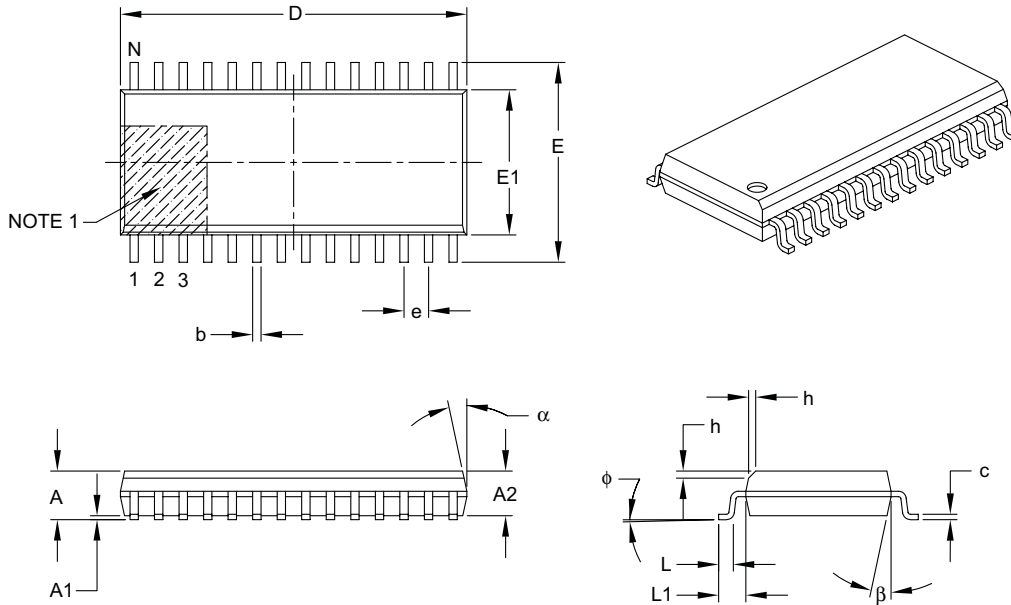
Legend:	XX...X	Customer-specific information
	Y	Year code (last digit of calendar year)
	YY	Year code (last 2 digits of calendar year)
	WW	Week code (week of January 1 is week '01')
	NNN	Alphanumeric traceability code
	(e3)	Pb-free JEDEC designator for Matte Tin (Sn)
	*	This package is Pb-free. The Pb-free JEDEC designator (e3) can be found on the outer packaging for this package.

Note: In the event the full Microchip part number cannot be marked on one line, it will be carried over to the next line, thus limiting the number of available characters for customer-specific information.

PIC18F2455/2550/4455/4550

28-Lead Plastic Small Outline (SO) – Wide, 7.50 mm Body [SOIC]

Note: For the most current package drawings, please see the Microchip Packaging Specification located at <http://www.microchip.com/packaging>



Dimension Limits	Units	MILLIMETERS		
		MIN	NOM	MAX
Number of Pins	N	28		
Pitch	e	1.27 BSC		
Overall Height	A	–	–	2.65
Molded Package Thickness	A2	2.05	–	–
Standoff §	A1	0.10	–	0.30
Overall Width	E	10.30 BSC		
Molded Package Width	E1	7.50 BSC		
Overall Length	D	17.90 BSC		
Chamfer (optional)	h	0.25	–	0.75
Foot Length	L	0.40	–	1.27
Footprint	L1	1.40 REF		
Foot Angle Top	ϕ	0°	–	8°
Lead Thickness	c	0.18	–	0.33
Lead Width	b	0.31	–	0.51
Mold Draft Angle Top	α	5°	–	15°
Mold Draft Angle Bottom	β	5°	–	15°

Notes:

- Pin 1 visual index feature may vary, but must be located within the hatched area.
- § Significant Characteristic.
- Dimensions D and E1 do not include mold flash or protrusions. Mold flash or protrusions shall not exceed 0.15 mm per side.
- Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.

BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.

REF: Reference Dimension, usually without tolerance, for information purposes only.

Microchip Technology Drawing C04-052B

PIC18F2455/2550/4455/4550

APPENDIX A: REVISION HISTORY

Revision A (May 2004)

Original data sheet for PIC18F2455/2550/4455/4550 devices.

Revision B (October 2004)

This revision includes updates to the Electrical Specifications in **Section 28.0 “Electrical Characteristics”** and includes minor corrections to the data sheet text.

Revision C (February 2006)

This revision includes updates to **Section 19.0 “Master Synchronous Serial Port (MSSP) Module”**, **Section 20.0 “Enhanced Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (EUSART)”** and the Electrical Specifications in **Section 28.0 “Electrical Characteristics”** and includes minor corrections to the data sheet text.

Revision D (January 2007)

This revision includes updates to the packaging diagrams.

APPENDIX B: DEVICE DIFFERENCES

The differences between the devices listed in this data sheet are shown in Table B-1.

TABLE B-1: DEVICE DIFFERENCES

Features	PIC18F2455	PIC18F2550	PIC18F4455	PIC18F4550
Program Memory (Bytes)	24576	32768	24576	32768
Program Memory (Instructions)	12288	16384	12288	16384
Interrupt Sources	19	19	20	20
I/O Ports	Ports A, B, C, (E)	Ports A, B, C, (E)	Ports A, B, C, D, E	Ports A, B, C, D, E
Capture/Compare/PWM Modules	2	2	1	1
Enhanced Capture/Compare/PWM Modules	0	0	1	1
Parallel Communications (SPP)	No	No	Yes	Yes
10-Bit Analog-to-Digital Module	10 input channels	10 input channels	13 input channels	13 input channels
Packages	28-pin PDIP 28-pin SOIC	28-pin PDIP 28-pin SOIC	40-pin PDIP 44-pin TQFP 44-pin QFN	40-pin PDIP 44-pin TQFP 44-pin QFN