ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

REPARACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UN HORNO DE ALMACENAMIENTO Y RESECADO DE ELECTRODOS RECUBIERTOS MONITOREADO A TRAVÉS DE UN SOFTWARE DE GERENCIAMIENTO A DISTANCIA

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN ELECTROMECÁNICA

JONATHAN PABLO BRITO ORELLANA

pablin14bass@icloud.com

DIRECTOR: ING. VICENTE SALOMÓN TOAPANTA MUÑOZ.

vicente.toapanta@epn.edu.ec

Quito, diciembre de 2014

© Escuela Politécnica Nacional 2014

Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo Jonathan Pablo Brito Orellana, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes de este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

_____

Jonathan Pablo Brito Orellana

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Jonathan Pablo Brito Orellana, bajo mi supervisión.

_____

Ing. Vicente Salomón Toapanta Muñoz

DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente al supremo creador del universo por brindarme el milagro de la vida, a mis padres quienes me han dado su comprensión y apoyo incondicional en cada momento difícil, a todos mis hermanos por darme valiosos consejos, en especial a Erica por entenderme y creer siempre en mí. A mis amigos por su ayuda y lealtad en los buenos y malos momentos, y a mis maestros de la EPN por transmitirme sus conocimientos.

DEDICATORIA

Dedico el esfuerzo de este trabajo a los niños y niñas del planeta, y a los seres que defienden la vida y la libertad por sobre todas las cosas.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PÁGINA

RESUMEN **xxi**
PRESENTACIÓN **xxii**

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO **1**

1.1 SOLDADURA SMAW 1

1.2 ELECTRODOS REVESTIDOS 2
1.2.1 CLASIFICACIÓN AWS 3
1.2.2 TIPOS DE REVESTIMIENTO 4
1.2.2.1 Composición del revestimiento 5
1.2.2.2 Funciones del Revestimiento 6
1.2.2.2.1 Función Eléctrica 6
1.2.2.2.2 Función Metalúrgica 6
1.2.2.2.3 Función Física 6
1.2.2.3 Presencia de Humedad en el revestimiento 7
1.2.3 CUIDADO DE LOS ELECTRODOS 8
1.2.3.1 Condiciones de almacenamiento de electrodos 10
1.2.3.2 Condiciones de mantención de electrodos 10
1.2.3.3 Condiciones de resecado de electrodos 11

1.3 FUNDAMENTOS DE TERMODINÁMICA 12
1.3.1 PRINCIPIO CERO DE LA TERMODINÁMICA 12
1.3.1.1 Equilibrio Térmico 12
1.3.1.2 Temperatura 13
1.3.1.2.1 Escalas de Temperatura 13
1.3.2 PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA 14
1.3.2.1 Calor 14
1.3.2.1.1 Calor Específico 15

1.3.3 SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA 15
1.3.4 TERCERA LEY DE LA TERMODINÁMICA 15

1.4 TRANSFERENCIA DE CALOR 16
1.4.1 CONDUCCIÓN 16
1.4.2 CONVECCIÓN 17
1.4.3 RADIACIÓN 17

1.5 HORNOS ELECTRICOS INDUSTRIALES 17
1.5.1 HORNOS DE RESISTENCIAS ELÉCTRICAS 18
1.5.1.1 Clasificación de los Hornos de Resistencias 18
1.5.1.2 Aplicaciones de los Hornos de Resistencias 19
1.5.1.3 Hornos eléctricos de secado tipo mufla 20

1.6 RESISTENCIAS ELÉCTRICAS DE CALENTAMIENTO 21
1.6.1 RESISTENCIAS METÁLICAS DE ALEACIONES DE BASE NI-CR 23
1.6.2 RESISTENCIAS BLINDADAS 24

1.7 MATERIALES DE AISLAMIENTO TÉRMICO 25
1.7.1 LANA DE VIDRIO 26

1.8 REGULACIÓN DE LA TEMPERATURA 27
1.8.1 MÉTODOS DE REGULACIÓN DE TEMPERATURA 28
1.8.1.1 Regulación de dos posiciones todo-nada 28

1.9 SENSORES DE TEMPERATURA 29
1.9.1 SONDAS DE RESISTENCIA 31
1.9.1.1 Conexión de las sondas de resistencia 33
1.9.1.1.1 Conexión con dos hilos 33
1.9.1.1.2 Conexión con tres hilos 34
1.9.1.1.3 Conexión con cuatro hilos 34

1.10 CONTROLADORES DE TEMPERATURA 35

1.11 AUTOMATIZACIÓN 36
1.11.1 ESTRUCTURA DE UN AUTOMATISMO 37

1.11.2 MÉTODOS DE DISEÑO DE UN AUTOMATISMO 38
1.11.2.1 Esquema eléctrico de contactos 38

1.12 DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS DE CONTROL INDUSTRIAL 39
1.12.1 CONTACTOR 40
1.12.1.1 Datos técnicos del contactor 41
1.12.1.1.1 Tipo de Contactor 41
1.12.1.1.2 Valores nominales 42
1.12.1.1.3 Circuito de control y contactos auxiliares 42
1.12.2 RELÉ 43
1.12.2.1 Relé electromagnético de mando 43
1.12.2.1.1 Datos técnicos de un relé de mando 44
1.12.3 TEMPORIZADORES O RELÉS DE TIEMPO 44
1.12.3.1 Relés de tiempo electrónicos o de estado sólido 45
1.12.3.2 Datos Técnicos de los relés de tiempo 46
1.12.4 DISPOSITIVOS AUXILIARES DE MANDO 46
1.12.4.1 Pulsadores 47
1.12.4.2 Selectores de mando 47
1.12.4.3 Interruptores mecánicos de posición 48

1.13 INTRODUCCIÓN AL SOFTWARE SITRAD 48
1.13.1 MÓDULOS LOCAL Y REMOTO 50
1.13.2 MÓDULO MOBILE 51

CAPÍTULO II

2 REPARACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN 53

2.1 GENERALIDADES 53

2.2 CÁLCULO DEL CALOR TOTAL SUMINISTRADO POR EL HORNO 56
2.2.1 CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CALOR 57
2.2.1.1 Cálculo de los coeficientes de convección y radiación 59

2.2.1.1.1 Cálculo del coeficiente de convección externo para la transferencia de calor por convección libre o natural. 61
2.2.1.1.2 Cálculo del coeficiente de convección interno para la transferencia de calor por convección libre o natural. 63
2.2.1.1.3 Cálculo del coeficiente de radiación 65
2.2.1.2 Cálculo de áreas de transferencia de calor 66
2.2.2 CÁLCULO DEL CALOR REQUERIDO PARA CALENTAR LA CARGA 69
2.2.2.1 Calor que absorben los electrodos 70
2.2.2.2 Calor que absorbe el estante que contiene los electrodos 74
2.2.2.3 Calor necesario para calentar el aire contenido en la cámara interna 75
2.2.2.4 Calor de evaporación del agua presente en los electrodos 75
2.2.2.4.1 Calor sensible 76
2.2.2.4.2 Calor latente 78

2.3 DISEÑO E INSTALACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE CALENTAMIENTO 80
2.3.1 CIRCUITO DE FUERZA 80
2.3.1.1 Cálculo de las magnitudes eléctricas 81
2.3.1.2 Elementos del circuito de fuerza 83
2.3.1.2.1 Resistencias Blindadas o Tubulares 83
2.3.1.2.2 Contactor 86
2.3.1.2.3 Interruptor Termo-magnético 88
2.3.1.2.4 Elementos de conexión 89
2.3.2 CIRCUITO DE CONTROL 90
2.3.2.1 Parámetros de diseño 90
2.3.2.2 Elección del sistema de control 91
2.3.2.3 Diseño del circuito eléctrico 92
2.3.2.4 Elementos del circuito de control 94
2.3.2.4.1 Controlador de temperatura 94

2.3.2.4.2 Sensor de temperatura 96
2.3.2.4.3 Relés electromagnéticos de mando 98
2.3.2.4.4 Temporizador 99
2.3.2.4.5 Elementos de señalización y mando 101
2.3.2.4.6 Micro interruptor de puerta 102
2.3.2.4.7 Fusibles 103
2.3.2.4.8 Elementos de conexión 104
2.3.2.5 Funcionamiento del Circuito de Control 106
2.3.2.5.1 Proceso de mantenimiento 106
2.3.2.5.2 Proceso de resecado 107

2.4 INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE GERENCIAMIENTO A DISTANCIA 109
2.4.1 INTERFAZ DE COMUNICACIÓN 109
2.4.2 SOFTWARE DE GERENCIAMIENTO A DISTANCIA 111
2.4.2.1 Sitrad Local 111
2.4.2.1.1 Configuraciones de la comunicación 112
2.4.2.1.2 Ventana Principal 113
2.4.2.1.3 Edición de Parámetros 116
2.4.2.1.4 Editor de Recetas 117
2.4.2.1.5 Generador de Informes 118
2.4.2.1.6 Control de Usuarios 119
2.4.2.2 Sitrad Mobile 121
2.4.2.2.1 Configuraciones de la comunicación 121
2.4.2.2.2 Ventana de informaciones 124
2.4.2.2.3 Ventana de parámetros 125
2.4.2.2.4 Generador de gráficos 126

2.5 PROGRAMACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE CONTROL 128
2.5.1 PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA 128
2.5.1.1 Recetas para electrodos de revestimiento de rutilo 129
2.5.1.1.1 Almacenamiento de electrodos de rutilo en cajas cerradas 129

2.5.1.1.2 Mantenimiento de electrodos de rutilo fuera de caja 130
2.5.1.1.3 Resecado de electrodos de rutilo 131
2.5.1.2 Recetas para electrodos de revestimiento básico 132
2.5.1.2.1 Almacenamiento de electrodos básicos en cajas cerradas 132
2.5.1.2.2 Mantenimiento de electrodos básicos fuera de caja 133
2.5.1.2.3 Resecado de electrodos básicos 134
2.5.1.3 Receta de mantenimiento y resecado libre 135
2.5.2 CALIBRACIÓN DEL TEMPORIZADOR O TIMER 136

CAPÍTULO III

3 PRUEBAS Y RESULTADOS 137

3.1 GENERALIDADES 137

3.2 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO 137
3.2.1 PROCEDIMIENTO 137
3.2.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS 138

3.3 PRUEBA DE REDUCCIÓN DE HUMEDAD DEL REVESTIMIENTO 140
3.3.1 PROCEDIMIENTO 140
3.3.2 RESULTADOS 141
3.3.2.1 Prueba de reducción de humedad a 50°C 141
3.3.2.2 Prueba de reducción de humedad a 100°C 144
3.3.2.3 Prueba de reducción de humedad a 150°C 145
3.3.2.4 Prueba de reducción de humedad a 200°C 147
3.3.2.5 Prueba de reducción de humedad a 250°C 148
3.3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS 150

CAPÍTULO IV

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 151

4.1 CONCLUSIONES 151

4.2 RECOMENDACIONES 154

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 156

GLOSARIO DE TÉRMINOS 161

ANEXOS 172

ÍNDICE DE TABLAS

PÁGINA

Tabla 1.1.	Dimensiones de electrodos revestidos en función del amperaje	2
Tabla 1.2.	Clasificación AWS de electrodos revestidos más utilizados en la industria	3
Tabla 1.3.	Contenido máximo de humedad en electrodos revestidos	8
Tabla 1.4.	Tiempo de exposición a la humedad atmosférica para electrodos de revestimiento básico	9
Tabla 1.5.	Condiciones de almacenamiento y mantención de electrodos revestidos	10
Tabla 1.6.	Recomendaciones para el resecado de electrodos revestidos	11
Tabla 1.7.	Propiedades de las aleaciones Ni-Cr	23
Tabla 1.8.	Propiedades termo físicas de la lana de vidrio	26
Tabla 1.9.	Características de las sondas de resistencia	32
Tabla 2.1.	Dimensiones de la estructura del horno	54
Tabla 2.2.	Resultados del cálculo del calor absorbido a 573.15 K por un electrodo E7018 de diámetro 3.2 mm.	71
Tabla 2.3.	Valores de temperatura y tiempo elegidos para el proceso de mantenimiento y resecado de electrodos	128
Tabla 3.1.	Pesaje de electrodos 7018 resecados a 50°C en distintos intervalos de tiempo	141
Tabla 3.2.	Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 7018 resecados a 50°C en distintos intervalos de tiempo	143
Tabla 3.3.	Pesaje de electrodos 7018 resecados a 100°C en distintos intervalos de tiempo	144
Tabla 3.4.	Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 7018 resecados a 100°C en distintos intervalos de tiempo	144
Tabla 3.5.	Pesaje de electrodos 7018 resecados a 150°C en distintos intervalos de tiempo	145

Tabla 3.6. Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 7018 resecados a 150°C en distintos intervalos de tiempo 146

Tabla 3.7. Pesaje de electrodos 7018 resecados a 200°C en distintos intervalos de tiempo 147

Tabla 3.8. Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 7018 resecados a 200°C en distintos intervalos de tiempo 147

Tabla 3.9. Pesaje de electrodos 7018 resecados a 250°C en distintos intervalos de tiempo 148

Tabla 3.10. Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 7018 resecados a 250°C en distintos intervalos de tiempo 149

ÍNDICE DE FIGURAS

PÁGINA

Figura 1.1.	Descripción del Proceso de Soldadura SMAW	1
Figura 1.2.	Electrodo Revestido	2
Figura 1.3.	Escalas de Temperatura	13
Figura 1.4.	Horno eléctrico de secado tipo mufla	20
Figura 1.5.	Disposición de resistencias de alambre y pletina	22
Figura 1.6.	Tubos radiantes	22
Figura 1.7.	Resistencias Blindadas	22
Figura 1.8.	Partes de una resistencia blindada.	25
Figura 1.9.	Mantas de lana de vidrio	26
Figura 1.10.	Esquema de regulación de temperatura de un horno	27
Figura 1.11.	Regulación de temperatura todo-nada	29
Figura 1.12.	Rango de medida de los sensores de temperatura	30
Figura 1.13.	Vista interior de una sonda de resistencia	31
Figura 1.14.	Curvas características de Resistencia vs. Temperatura de varios metales	32
Figura 1.15.	Conexión de las sondas de resistencia	34
Figura 1.16.	Esquema básico de un controlador de temperatura	35
Figura 1.17.	Componentes de un automatismo	38
Figura 1.18.	Esquema eléctrico de contactos	39
Figura 1.19.	Partes de un contactor electromagnético	40
Figura 1.20.	Partes de un relé	43
Figura 1.21.	Diagrama de bloques del circuito de un temporizador electrónico	45
Figura 1.22.	Pulsadores y selectores de mando	47
Figura 1.23.	Interruptores de posición	48

Figura 1.24. Módulos del software Sitrad 50

Figura 2.1. Estado inicial de la estructura del horno 53

Figura 2.2. Estado inicial de las resistencias de calentamiento 54

Figura 2.3. Elementos del circuito de control de temperatura obsoletos 55

Figura 2.4. Conexiones eléctricas del horno en mal estado 55

Figura 2.5. Pared de horno de tipo compuesta y circuito térmico equivalente. 56

Figura 2.6. Circuito térmico equivalente para una pared compuesta en serie 57

Figura 2.7. Vista frontal de las cámaras de calentamiento 66

Figura 2.8. Vista lateral de las cámaras de calentamiento 66

Figura 2.9. Circuito de fuerza del horno de electrodos 80

Figura 2.10. Conexión trifásica en delta para las resistencias de calentamiento del horno 81

Figura 2.11. Resistencia calefactora tubular en forma de U con terminales curvos a 90° 83

Figura 2.12. Dimensiones de la superficie inferior de la cámara interna del horno 84

Figura 2.13. Esquema de ubicación de las tres resistencias blindadas sobre la superficie inferior de la cámara interna del horno. 86

Figura 2.14. Resistencias blindadas instaladas dentro del horno 86

Figura 2.15. Contactor electromagnético de propósito definido Quality QCC-303. 87

Figura 2.16. Interruptor termo-magnético General Electric DG63 B20 88

Figura 2.17. Conexión eléctrica de las resistencias de calentamiento 89

Figura 2.18. Esquema de control de temperatura en lazo cerrado 91

Figura 2.19. Circuito de fuerza y control del horno de mantenimiento y resecado de electrodos 93

Figura 2.20. Controlador digital de temperatura MT-543R*i plus* 94

Figura 2.21. Esquema de conexiones del controlador de temperatura MT-543R*i plus.* 95

Figura 2.22. Sensor Pt-100 marca Watlow estilo RB 96

Figura 2.23. Cotas del sensor Pt-100 marca Watlow estilo RB 97

Figura 2.24. Instalación del sensor de temperatura PT-100 97

Figura 2.25. Esquema de conexión del sensor PT-100 98

Figura 2.26. Temporizador Camsco AH3 100

Figura 2.27. Elementos de señalización y mando utilizados en el horno. 101

Figura 2.28. Micro interruptor de puerta instalado en el horno 103

Figura 2.29. Fusible cilíndrico de cerámica y base de montaje 103

Figura 2.30. Tablero de control del horno. 105

Figura 2.31. Panel frontal de mando del horno. 106

Figura 2.32. Interfaz serial USB-RS485. 110

Figura 2.33. Esquema de conexión del interfaz serial USB-RS485. 111

Figura 2.35. Ventana inicial del Sitrad 112

Figura 2.36. Ventana de opciones de configuración del Sitrad 113

Figura 2.37. Ventana principal del Sitrad 114

Figura 2.38. Pantalla de edición de parámetros 116

Figura 2.39. Editor de recetas del Sitrad 117

Figura 2.40. Generador de Informes del Sitrad 119

Figura 2.41. Ventana de Control de Usuarios 120

Figura 2.42. Ventana inicial del Sitrad Mobile 121

Figura 2.43. Gerenciador de Acceso Remoto 122

Figura 2.44. Configuraciones del Gerenciador de Acceso Remoto 122

Figura 2.45. Ventana de Configuración del Servidor en el Sitrad Mobile 123

Figura 2.46. Ventana de autenticación del servidor 124

Figura 2.47. Lista de controladores conectados al Sitrad Local 124

Figura 2.48. Ventana de informaciones del Sitrad Mobile 125

Figura 2.49. Ventana de selección y edición de parámetros 126

Figura 2.50. Opciones de generación de gráficos del Sitrad Mobile 126

Figura 2.51. Gráfico de Temperatura vs. Tiempo generado en el Sitrad Mobile 127

Figura 2.52. Receta para el almacenamiento de electrodos de rutilo en cajas cerradas 129

Figura 2.53. Receta para el mantenimiento de electrodos de rutilo fuera de caja 130

Figura 2.54. Receta para el resecado de electrodos de rutilo 131

Figura 2.55. Receta para el almacenamiento de electrodos básicos en cajas cerradas 132

Figura 2.56. Receta para el mantenimiento de electrodos básicos fuera de caja 133

Figura 2.57. Receta para el resecado de electrodos básicos 134

Figura 2.58. Receta de mantenimiento y resecado libre 135

Figura 2.59. Calibración del Timer 136

Figura 3.1. Electrodos 7018 distribuidos sobre estantes dentro del horno 138

Figura 3.2. Tiempo vs. Temperatura del proceso de resecado y mantenimiento de electrodos 7018. 139

Figura 3.3. Tiempo vs. Humedad de electrodos 7018 resecados a 50°C 143

Figura 3.4. Tiempo vs. Humedad de electrodos 7018 resecados a 100°C 145

Figura 3.5. Tiempo vs. Humedad de electrodos 7018 resecados a 150°C 146

Figura 3.6. Tiempo vs. Humedad de electrodos 7018 resecados a 200°C 148

Figura 3.7. Tiempo vs. Humedad de electrodos 7018 resecados a 250°C 149

Figura 3.8. Tiempo vs Humedad de electrodos 7018 resecados a varias temperaturas 150

ÍNDICE DE ANEXOS

PÁGINA

ANEXO 1	Clasificación AWS para electrodos revestidos	173
ANEXO 2	Composición del núcleo y del revestimiento de varios tipos de electrodos	176
ANEXO 3	Datos técnicos del electrodo E7018 marca indura	177
ANEXO 4	Propiedades termo físicas del aire a presión atmosférica y a varias temperaturas	178
ANEXO 5	Emisividad total de superficies seleccionadas	179
ANEXO 6	Propiedades termo físicas de solidos metálicos seleccionados	180
ANEXO 7	Capacidad de calor de elementos y compuestos inorgánicos	181
ANEXO 8	Análisis de la presión atmosférica en el Distrito Metropolitano de Quito (2013 y plurianual)	186
ANEXO 9	Constantes de cálculo A,B,C para la aplicación de la ecuación de Antoine	187
ANEXO 10	Propiedades del agua líquida a presión atmosférica	188
ANEXO 11	Propiedades termo físicas de agua saturada	189
ANEXO 12	Especificaciones para resistencias blindadas de tubo acero inoxidable de ϕ= 11mm	190
ANEXO 13	Rango de dimensiones límite y especificaciones técnicas para resistencias tubulares de distintos diámetros del tubo o vaina.	191
ANEXO 14	Especificaciones técnicas para interruptores termo-magnéticos General Electric de la serie DG	192
ANEXO 15	Especificaciones técnicas para cable de cobre flexible aislado con caucho de silicona y trenza de vidrio siliconado	194
ANEXO 16	Especificaciones técnicas para conductores de cobre flexible	195
ANEXO 17	Manual de funcionamiento del controlador MT-543R*i pluss*	197
ANEXO 18	Especificaciones técnicas para seleccionar un RTD Watlow estilo RB	200

ANEXO 19 Especificaciones técnicas para relés electromagnéticos de mando marca Camsco y sus accesorios de montaje 201

ANEXO 20 Especificaciones técnicas de temporizadores Camsco AH3 203

ANEXO 21 Especificaciones técnicas para fusibles cilíndricos de cerámica marca Camsco 204

ANEXO 22 Datos técnicos de la interfaz serial Conv32 205

SIMBOLOGÍA

Símbolo	Descripción	Unidad
m	Metro	[m]
cm	Centímetro	[cm]
mm	Milímetro	[mm]
pulg	Pulgada	[pulg]
°C	Grado Celsius	[°C]
°F	Grado Fahrenheit	[°F]
K	Grado Kelvin	[K]
R	Grado Rankine	[R]
h	Hora	[h]
min	Minuto	[min]
Kg	Kilogramo	[Kg]
g	Gramo	[g]
W	Vatio	[W]
Q	Calor	[Kcal], [KJoule], [KW]
Cp	Calor Específico	[Kcal/Kg.K]
ρ	Densidad	[Kg/m^3]
k	Conductividad Térmica	[W/m.K]
C.C	Corriente Continua	[A]
C.A	Corriente Alterna	[A]

MHz……..……Megahercio……..…… [MHz]

KB……....Kilobyte……. [KB]

MB……..……Megabyte……..…. [MB]

q_x ……..Pérdidas de calor en las paredes del horno…… [W]

$T_{\infty...}$……..…Temperatura del interior del horno…….. [K]

$T_{a...}$…….Temperatura del exterior o ambiental…….. [K]

$R_{1...}$……..Resistencia térmica entre el fluido caliente…….. [°K/m]

y las paredes de la cámara interna.

$R_{2...}$……...Resistencia térmica del acero inoxidable…….. [°K/m]

$R_{3...}$…….Resistencia térmica de la lana de vidrio……..……. [°K/m]

R_4……Resistencia térmica del acero común……..... [°K/m]

R_5……Resistencia térmica entre el fluido frío……..…… [°K/m]

y las paredes de la cámara externa.

A_0 ……...Área de la cámara interna……..…. [m^2]

A_1 …….Área de la cámara interna añadiendo su espesor……..…... [m^2]

A_2 …….Área de la cámara interna añadiendo su espesor……..……. [m^2]

y el espesor de la lana de vidrio.

$A_{3...}$……Área de la cámara interna añadiendo su espesor, el espesor…… [m^2]

de la lana de vidrio y el espesor de la cámara externa.

h_1…….……Coeficiente de convección de la cámara interna…… [$W/m^2.K$]

h_r ……..Coeficiente de radiación de la cámara interna…….. [$W/m^2.K$]

LA……Espesor de la cámara interna…….. [m]

k_A …….Conductividad térmica del material de la cámara interna……. [W/m.K]

LB…….Espesor de la pared aislante…….. [m]

k_B ……Conductividad térmica del material de la pared aislante…….. [W/m.K]

LC…….Espesor de la cámara externa…… [m]

$k_{C...}$……..Conductividad térmica del material de la cámara externa…..… [W/m.K]

h_4…….Coeficiente de convección de la cámara externa……... [W/m^2.K]

h……...Coeficiente de transferencia de calor por convección…….. [W/m^2.K]

A…….……Área de la superficie…….…… [m^2]

T_s……..Temperatura de la superficie…….. [K]

T_∞…….……Temperatura ambiental…… [K]

N_u…….……Número de Nusselt…….. [Adimensional]

k……..Conductividad térmica……... [W/m.K]

L…….Longitud característica de la superficie…… [m]

$R_{a...}$……..……Número de Rayleigh……. [Adimensional]

G_r…….……Número de Grashof……. [Adimensional]

g……Gravedad…… [9.8 m/s^2]

T_f…….……Temperatura de película……... [K]

β……Coeficiente de expansión térmica volumétrica……... [1/T_f] K^{-1}

υ……..…Difusividad cinemática……..…… [m^2/s]

α……Difusividad térmica……. [m^2/s]

μ……Viscosidad Dinámica……... [N.s/m^2]

$P_{r...}$……..……..…..Número de Prandtl……..…… [Adimensional]

P……..….Perímetro de la superficie…… [m]

h_r ……Coeficiente de radiación…….. [$W/m^2.K$]

ε……..Emisividad……..…… [Adimensional]

σ…….Constante de Stefan-Boltzmann..… [$5.67x10^{-8}$ $W/m^2.K^4$]

T_f……..Temperatura de Película……..… [K]

Q_E…….…….Calor absorbido por los electrodos…….. [Kcal]

m_E ……Masa del electrodo…….. [Kg]

$C_{pE...}$……..……Calor específico del electrodo……. [Kcal/Kg.K]

ΔT…….Diferencia de temperaturas……. [K]

Q_{ES}…….....Calor que absorbe el estante……..…… [Kcal]

m_{ES} ……..……..Masa del estante…….…….. [Kg]

C_{pES}……..Calor específico del estante……....……... [Kcal/Kg.K]

Q_{EV}……Calor de evaporación del agua de los electrodos…… [KW]

q_{sen}……..Calor sensible…… [KJ]

m_A……Masa de agua de los electrodos…….…….. [Kg]

C_{pA}……Calor específico del agua…… [KJ/Kg.K]

T_E……Temperatura de ebullición del agua en Quito……. [K]

T_∞……Temperatura del ambiente en Quito…… [K]

mb……....Milibar…….. [mb]

A, B, C……...Constantes de cálculo de la ecuación de Antoine… [Adimensional]

P…….Presión atmosférica de Quito…… [bar]

q_{lat}……Calor latente…….. [KJ]

h_{fg}……Entalpía de vaporización del agua……... [KJ/Kg]

V_L……...Voltaje de línea…… [V]

V_f…….…Voltaje de fase…… [V]

I_L……...…Corriente de línea……..… [A]

I_f……Corriente de fase……... [A]

$P_{3\phi}$……Potencia trifásica…….. [W]

P_f…….……..Potencia de fase…….. [W]

R_f…….Resistencia eléctrica por cada fase…….…… [Ω]

In…….….Corriente Nominal…….…. [A]

Un……..….Voltaje Nominal…… [V]

Icc……..... Capacidad de cortocircuito…….……... [KA]

U_{Bmin}…….…..Tensión mínima de empleo……..……. [V]

Ith……...Corriente térmica nominal……..…….…. [A]

Ui……Voltaje de Aislamiento…… [V]

f……....Frecuencia……... [Hz]

%H……... Humedad relativa…… [%]

H_{bs}……Humedad de cada electrodo…….…….. [%]

mh…… ……Masa del electrodo húmedo…….……... [g]

ms……..…….Masa del electrodo seco…….....…… [g]

RESUMEN

El objetivo de este proyecto fue reparar y automatizar un horno eléctrico de mantenimiento y resecado de electrodos recubiertos de soldadura SMAW, y además permitir al operador monitorear estos procesos mediante un software de gerenciamiento a distancia. Para esto, en el inicio del primer capítulo se exponen las principales nociones del proceso de soldadura convencional por electrodo revestido, además se explican los puntos más relevantes en cuanto a la clasificación de electrodos, tipo de revestimiento, funciones del revestimiento, efectos de la presencia de humedad en el revestimiento y consideraciones de recuperación y almacenamiento planteadas por las normas AWS y por los fabricantes. También se resume la base teórica necesaria para comprender la naturaleza de la transferencia de calor, los tipos y partes de un horno eléctrico, los criterios y dispositivos de automatización. En el segundo capítulo se muestra el estado inicial del horno y las partes que necesitan ser reparadas o reemplazadas, también se realizan los cálculos de transferencia de calor para determinar la potencia total del horno, con el fin de dimensionar correctamente los elementos eléctricos del sistema. Después se presenta el diseño de los circuitos de fuerza y control y la selección e instalación de cada uno de sus componentes, además se explica la lógica de funcionamiento del sistema de control tanto para el proceso de mantenimiento, como para el de resecado. Este capítulo describe la configuración y funciones del software de gerenciamiento a distancia, utilizado para monitorear el sistema de manera remota. Además, para programar el controlador de temperatura, se muestran las recetas previamente configuradas desde el computador mediante el software Sitrad, también se explica la calibración del temporizador. En el capítulo tercero se presenta el procedimiento y los resultados de las pruebas de funcionamiento y de reducción de humedad del revestimiento, en este punto se concluyó que todos los sistemas del horno funcionan correctamente y cumplen con las exigencias del proceso, y además, que el horno está en condiciones óptimas para reducir el exceso de humedad de electrodos revestidos hasta los niveles indicados por la norma AWS A5.1.

PRESENTACIÓN

La falta de equipo adecuado para la conservación y recuperación de electrodos revestidos en el laboratorio de soldadura de la facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional, crea la necesidad de aplicar la tecnología existente en favor de los usuarios del laboratorio; con el objetivo de alcanzar mayor calidad y precisión en los ensayos de soldadura que allí se efectúan.

La realización de este proyecto mejora las condiciones en las que se almacenaban los electrodos revestidos, ya que estos se hallaban expuestos al medio ambiente sin ninguna protección. También, actualmente se pueden recuperar electrodos que han absorbido humedad más allá de los límites recomendados por la norma.

Este proyecto expone la recuperación de un horno que se consideró como inservible durante varios años, e incluso a punto de ser dado de baja del inventario. Con esta reparación se contribuye al desarrollo de la ciencia y tecnología de la soldadura eléctrica en el país.

Este trabajo constituye una propuesta sólida de la aplicación de los diferentes dispositivos de fuerza, control y monitoreo en el desarrollo de la tecnología de hornos de mantenimiento y reducción de humedad para procesos similares.

El software de gerenciamiento a distancia brinda a los usuarios la posibilidad de monitorear y controlar constantemente las variables propias del proceso de manera fácil y rápida, desde cualquier lugar del mundo a través de internet, mediante un computador, teléfono inteligente o tableta. Esto contribuye a la necesidad de modernización de los equipos del laboratorio y se ajusta a la tendencia global de comunicación integrada.

CAPITULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 SOLDADURA SMAW[1]

La soldadura por arco con electrodos revestidos SMAW (Shielded Metal Arc Welding) es un proceso en el que la fusión del metal se obtiene mediante el calor generado por un arco eléctrico establecido entre el extremo de un electrodo recubierto (metal de aporte) y la pieza a soldar (metal base). En la Figura 1.1 se observa la fusión del alma del electrodo en forma de pequeñas gotas, la protección del arco por la descomposición del revestimiento en forma de gas protector y la escoria líquida que flota sobre el baño de fusión y posteriormente se solidifica.

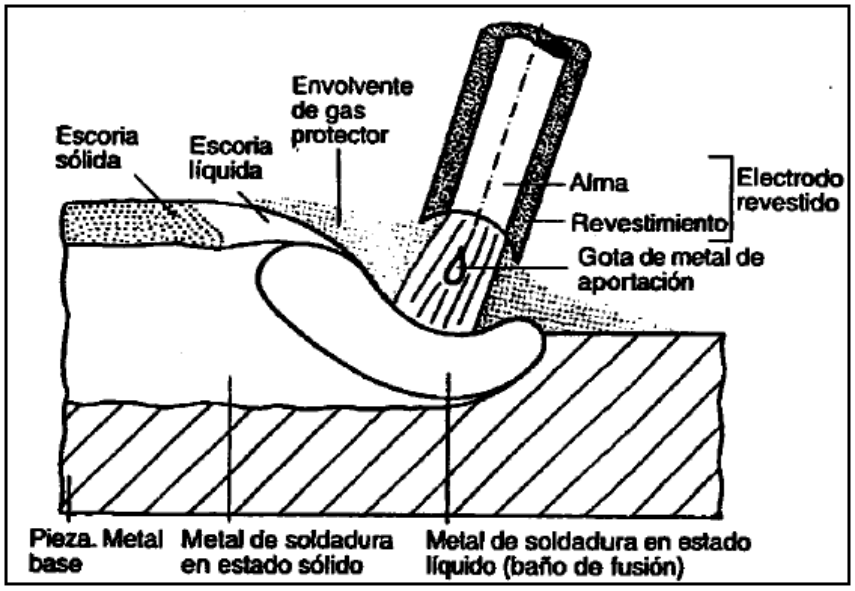


Figura 1.1. Descripción del Proceso de Soldadura SMAW

[1] Lincoln Electric. (22 de septiembre de 2014). *Soldeo Manual con electrodos revestidos*.

1.2 ELECTRODOS REVESTIDOS[1]

Un electrodo recubierto o revestido está constituido por un alma metálica de forma cilíndrica y uniforme con dimensiones estándar que sirve como material de aporte, como se observa en la Figura 1.2, la composición química depende del metal base que se desea soldar. El revestimiento es un cilindro concéntrico de espesor uniforme que envuelve el alma del electrodo, está compuesto por diferentes materias orgánicas y minerales con el fin de mejorar la fusión y solidificación del metal depositado.

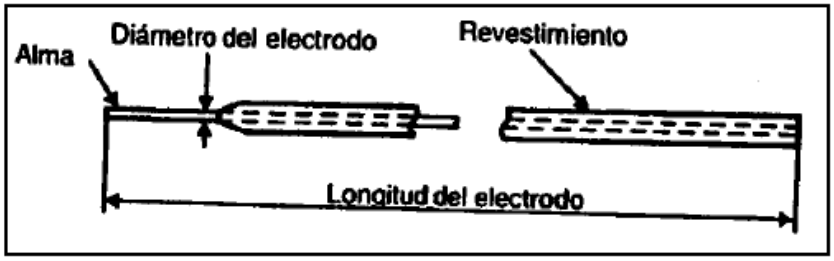


Figura 1.2. Electrodo Revestido

Los electrodos revestidos se fabrican de diferentes diámetros y longitudes, dichas dimensiones se establecen en función de la intensidad de corriente y del espesor del cordón de soldadura, tal como se indica en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Dimensiones de electrodos revestidos en función del amperaje

DIÁMETRO	LONGITUD	AMPERAJE (Min-Max)
3/32pulg - 2,4mm	14pulg - 350mm	70 -100
1/8pulg - 3,2mm	14pulg - 350mm	100 - 140
5/32pulg - 4mm	14pulg - 350mm	140 - 190
3/16pulg - 4,8mm	14pulg - 350mm	190 - 230
1/4pulg - 6,4mm	18pulg - 450mm	230 - 300

[1] Séférian, D. (1985). *Las Soldaduras.* Ediciones Urmo S.A.

1.2.1 CLASIFICACIÓN AWS[1]

La clasificación AWS (American Welding Society) de los electrodos revestidos se basa principalmente en la composición del metal base a soldar y en el tipo de revestimiento. La Tabla 1.2 menciona los tipos de electrodos más usados en la industria:

Tabla 1.2. Clasificación AWS de electrodos revestidos más utilizados en la industria

Electrodos para soldadura de aceros al carbono	**Electrodos para soldadura de aceros de baja aleación**	**Electrodos para soldadura de aceros inoxidables**	**Electrodos para soldadura de fundición de hierro**	**Electrodos para soldadura de materiales-base diferentes**	**Electrodos para soldadura de cobre y aleaciones**	**Electrodos para soldadura de aluminio y aleaciones**	**Electrodos para soldadura de recargue**
E6010	E7010-A1	E307-15	E Ni-Cl	E NiCu-7	E Cu Sn-A	E4043	E FeMn-A
E6011	E7018-A1	E307-26	E St	E NiCrFe-3	E CuMnNiAl		
E6013	E7018-W1	E308-15	E NiFe-Cl				
E7018	E8010-G	E308-16					
E7024	E8016-B6	E308H-16					
	E8016-B8	E308L-16					
	E8018-B2	E309-16					
	E8018-B6	E309L-16					
	E8018-B8	E309MoL-16					
	E8018-C1	E310-15					
	E8018-C3	E310-16					
	E8018-G	E312-16					
	E8018-W2	E316-15					
	E9018-B3	E316-16					
	E9018-G	E316L-16					
	E11018-G	E317L-16					
		E347-16					

[1] Lincoln Electric. (10 de diciembre de 2013). Catálogo de electrodos revestidos.

La clasificación y nomenclatura detallada de los tres primeros tipos de electrodos consta en el ANEXO 1. Por ejemplo la forma de leer la identificación del electrodo E7018-A1 es:

- E= electrodo revestido para soldadura por arco eléctrico.
- 70= resistencia a la tracción 70,000 PSI.
- 1= para todas las posiciones de soldeo.
- 8= revestimiento de bajo contenido de hidrógeno con polvo de hierro para soldadura con corriente alterna o corriente continua de polaridad positiva.
- A1= molibdeno como elemento principal de aleación.

Para el electrodo E309MoL-16 la lectura de identificación sería:

- E= electrodo para soldadura de aceros inoxidables
- 306= acero inoxidable austenítico no magnético
- Mo= elemento de aleación molibdeno
- L= bajo carbono.
- 1= para todas las posiciones de soldeo.
- 6= revestimiento rutílico para soldadura con corriente alterna o corriente continua de polaridad positiva.

1.2.2 TIPOS DE REVESTIMIENTO[1]

El tipo de revestimiento influye de manera decisiva en varios aspectos de la soldadura, tales como, la estabilidad del arco, la profundidad de penetración, la transferencia de material, la pureza del baño de fusión, etc. Los principales tipos

[1] Ingemecánica. (septiembre de 2013). *Soldadura por arco con electrodos revestidos*.

de revestimientos de los electrodos son: Ácido, Básico, Celulósico, Rutilo (óxido de titanio).

1.2.2.1 Composición del revestimiento[1]

La composición química del revestimiento consta de una mezcla de las siguientes sustancias:

- Sustancias oxidantes tales como óxido de hierro. Permite al metal de aporte fluir libremente.
- Sustancias reductoras, como son: hierro, silicio, titanio, manganeso.
- Sustancias ionizantes, incluyen elementos calcáreos y rutilo (óxido de titanio), los cuales son conductores y ayudan a mantener el arco.
- Sustancias formadoras de escoria; carbonatos, espato flúor, rutilo, cuarzo y asbesto que son los principales elementos de la escoria.
- Sustancias orgánicas (serrín, dextrina y celulosa), forman una atmósfera protectora de gas que rodea el arco y el baño de fusión.
- Sustancias aglomerantes de los componentes del revestimiento tales como: caolín, bentonita, talco, sosa, potasa.

En el ANEXO 2 se muestran los componentes en porcentaje de peso de los revestimientos de varios tipos de electrodos.

[1] Bakker, F. J., & Hovestreijdt, A. J. (1968). *Soldadura por arco.*

1.2.2.2 Funciones del Revestimiento[1]

1.2.2.2.1 Función Eléctrica

Mejora el encendido del arco eléctrico, para esto el revestimiento contiene silicatos, carbonatos, óxidos de hierro, titanio y torio. Una vez originado el arco es necesario estabilizarlo con el fin de controlar el proceso de soldadura y garantizar un cordón de buen aspecto. Esto se consigue añadiendo a la composición sales de sodio, potasio y bario, que actúan como elementos ionizantes, mejorando la conducción eléctrica del aire presente entre la punta del electrodo y la pieza a soldar. Además sirven de aglutinante a los demás elementos de la composición del revestimiento.

1.2.2.2.2 Función Metalúrgica

La formación de escoria es muy importante para evitar la inclusión de nitrógeno y oxígeno procedentes de la atmósfera en el cordón de soldadura, durante su solidificación. Es por esto que en los diferentes tipos de revestimientos se incluyen sustancias protectoras y reductoras, tales como: celulosa, feldespato, silicatos, manganeso, rutilo, carbonato de calcio, carbonato de magnesio, etc.

1.2.2.2.3 Función Física

El revestimiento debe facilitar la soldadura en distintas posiciones: vertical, horizontal y sobre cabeza. Esto es posible debido a que la gota del metal fundido es transportada por una atmósfera protectora de gases producidos al quemarse el

[1] Ingemecánica. (septiembre de 2013). *Soldadura por arco con electrodos revestidos*. Séférian, D. (1985). *Las Soldaduras.*

revestimiento (gas carbónico y vapor de agua), además la escoria líquida mantiene la gota en su sitio (ver Figura 1.1).

1.2.2.3 Presencia de Humedad en el revestimiento[1]

El agua está presente en todos los revestimientos de los electrodos. Algunos tipos como los celulósicos (E6011) requieren un contenido mínimo de humedad para su buen desempeño. Cuando se sueldan aceros de baja aleación y alta resistencia, la humedad propia del revestimiento aumenta el contenido de hidrógeno en el metal depositado. Este fenómeno puede originar fisuras, grietas y porosidad en los cordones. Para evitar que esto ocurra se debe emplear electrodos de revestimiento básico o de bajo contenido de hidrógeno (E7018).

Según la norma AWS, para que los electrodos se conserven en óptimas condiciones, deben mantenerse en lugares secos con una humedad relativa que no exceda el 50%. Los componentes de los revestimientos son altamente higroscópicos, es decir absorben y retienen humedad rápidamente, los factores que afectan a la velocidad de absorción de humedad en el revestimiento son:

- Temperatura
- Humedad relativa (ambiental)
- Composición del revestimiento
- Tamaño microscópico de los granos del revestimiento
- Espesor del revestimiento
- Compactación del revestimiento
- Humedad inicial del revestimiento
- Temperatura y tiempo de resecado del electrodo

[1] Rodríguez Durán, J., & Rodríguez Pérez, M. (1994 Volúmen 19 (2)). La humedad en los revestimientos de electrodos.

En la Tabla 1.3 se observa el contenido máximo de humedad presente en electrodos revestidos de acuerdo a la norma AWS A5.1.

Tabla 1.3. Contenido máximo de humedad en electrodos revestidos[1]

Tipo de Electrodo	Humedad Relativa Máxima
E6010	4%
E70XX	0,40%
E80XX	0,20%
E90XX	0,15%
E100XX	
E110XX	
E120XX	

1.2.3 CUIDADO DE LOS ELECTRODOS[2]

Por lo mencionado en los apartados anteriores se deduce la importancia que tiene el cuidado de los electrodos, de ello depende que los porcentajes de humedad se mantengan dentro de los límites requeridos y así el electrodo conserve las características necesarias para producir soldaduras sanas y libres de defectos. A continuación se mencionan los cuidados que se debe observar para su correcto manejo:

- No emplear electrodos que presenten el revestimiento agrietado o desprendido.
- Manipular los electrodos con guantes limpios y secos.

[1] Indura. (2007). *Manual de sistemas y materiales de soldadura.*
[2] Lincoln Electric. (22 de septiembre de 2014). *Soldeo Manual con electrodos revestidos*.

- No exponer los electrodos a ambientes excesivamente húmedos ni depositarlos sobre superficies manchadas de grasa, polvo, pintura o suciedad.
- Los electrodos deben ser empaquetados, almacenados y manejados en locales limpios, dotados de una regulación de temperatura y humedad adecuadas.

Los electrodos básicos o de bajo contenido en hidrógeno que hayan permanecido expuestos a la humedad ambiente por varias horas deben ser sometidos a un proceso de secado en horno o estufa. Para seleccionar la temperatura y tiempo de secado se deberán seguir las recomendaciones del fabricante del electrodo.

La norma AWS D1.1 establece el tiempo máximo permisible de exposición a la humedad atmosférica para los electrodos básicos, una vez que se hayan retirado de los hornos de secado o se hayan abierto sus recipientes. En la Tabla 1.4 se indican estos valores.

Tabla 1.4. Tiempo de exposición a la humedad atmosférica para electrodos de revestimiento básico[1]

Electrodos	Tiempo (h)
E70XX	4
E80XX	2
E90XX	1
E100XX	0,5
E110XX	0,5
E120XX	0,5

[1] Rodríguez Durán, J., & Rodríguez Pérez, M. (1994 Volúmen 19 (2)). La humedad en los revestimientos de electrodos.

1.2.3.1 Condiciones de almacenamiento de electrodos

Las recomendaciones que deben cumplirse para acondicionar el depósito en el que se almacenan electrodos en cajas cerradas se muestran en la Tabla 1.5, allí se observa que los electrodos de revestimiento celulósico pueden ser almacenados a temperatura ambiente, lo que no ocurre con los electrodos básicos o rutílicos que requieren condiciones específicas de temperatura y humedad.

Tabla 1.5. Condiciones de almacenamiento y mantención de electrodos revestidos[1]

Electrodo		Acondicionamiento del depósito (en cajas cerradas)	Mantención electrodos (en cajas abiertas)
Clase	**Tipo**		
EXX10 EXX11	Celulósico Celulósico	Temperatura ambiente.	No recomendado.
EXX12 EXX13 EXX14 EXX24	De rutilo (Fe) De rutilo (Fe) De rutilo (Fe) De rutilo (Fe)	Temperatura 15°C más alta que la temperatura ambiente, pero menor de 50°C, o humedad relativa ambiente menor a 50%.	10°C a 20°C sobre la temperatura ambiente.
EXX15 EXX16 EXX18 EXX48 Inox. E 70/E 120	Básico Básico Básico (Fe) Básico (Fe) De rutilo o básico Básico	Temperatura 20°C más alta que la temperatura ambiente, pero menor de 60°C, o humedad relativa ambiente menor de 50%.	30°C a 140°C sobre la temperatura ambiente.

1.2.3.2 Condiciones de mantención de electrodos

Una vez que se encuentren abiertas las cajas de los electrodos deben tomarse en cuenta las condiciones de mantención, distintas a las del almacenamiento en cajas cerradas. En la Tabla 1.5 se indican los valores de temperatura de mantención de electrodos, es importante observar que los electrodos de revestimiento celulósico no se recomienda mantenerlos en cajas abiertas por largos períodos de tiempo, puesto que absorben humedad con mucha facilidad.

[1] Indura. (2007). *Manual de sistemas y materiales de soldadura.*

1.2.3.3 Condiciones de resecado de electrodos

Aquellos electrodos que han absorbido humedad más allá de los límites recomendados por la norma (ver Tabla 1.3), requieren ser resecados, a fin de devolverles sus características de funcionamiento correcto. En la Tabla 1.6 se indican las recomendaciones de temperatura y tiempo para realizar el resecado, tomando en cuenta la aplicación de soldadura, cabe mencionar que los electrodos celulósicos no deben resecarse puesto que se deterioran sus características operativas, además cuando se utilizan electrodos básicos en aplicaciones de soldadura críticas se deben siempre resecar antes de usarlos.

Tabla 1.6. Recomendaciones para el resecado de electrodos revestidos[1]

Electrodo Tipo y Clase	Aplicación	Resecado
Celulósico (EXX10 - EXX11)	Todas	No requiere si han estado bien acondicionados. Por lo general no pueden resecarse sin deteriorar sus características operativas.
De rutilo (EXX12-EXX13) (EXX14-EXX24) Inoxidables austeníticos	Todas	No requieren si han estado bien acondicionados. Caso contrario resecar 30 a 120 minutos a 100-150ºC. Asociar la menor temperatura con el mayor tiempo. Durante el resecado ensayar en soldadura para comprobar características operativas y evitar sobresecado.
Básicos de bajo contenido de hidrógeno (EXX15-EXX16) (EXX18-EXX28) (EXX48). Incluyen baja aleación (AWS A5.5). Inoxidables martensíticos y ferríticos (E4XX).	Donde se requiere bajo contenido de hidrógeno en el metal depositado.	Cuando el electrodo permaneció más de 2 h sin protección especial, resecar 60 a 120min. a 250-400ºC. No exceder los 400ºC, y si se seca a 250ºC hacerlo durante 120 minutos.
	Aplicaciones críticas (aceros de alto contenido de carbono, aceros de baja aleación, aceros de más de 60 kg/mm² de resistencia)	Siempre antes de usar se resecan 60 a 120min. a 300-400ºC. No exceder los 400ºC y si se seca a 300ºC hacerlo durante 120min. Luego conservar en estufa hasta el momento de soldar.

[1] Indura. (2007). *Manual de sistemas y materiales de soldadura.*

1.3 FUNDAMENTOS DE TERMODINÁMICA[1]

La termodinámica es una ciencia derivada de la física que estudia las propiedades macroscópicas de la materia relacionadas con el calor. Trata la interacción e intercambio de varios tipos de energía (mecánica, eléctrica, química, nuclear) en forma de calor, para que un sistema pase de un estado de equilibrio térmico a otro. Cabe mencionar que esta ciencia se ocupa de estados en equilibrio de la materia, es decir cuando no experimenta cambios de temperatura, presión o composición química. Mediante su aplicación se pueden hallar otras variables propias del análisis termodinámico como: calor específico, coeficiente de dilatación, densidad, etc., contribuyendo en la comprensión de la relación del sistema con el medio.

La termodinámica basa su estudio en cuatro leyes conocidas como cero, primera, segunda y tercera.

1.3.1 PRINCIPIO CERO DE LA TERMODINÁMICA

Cuando dos cuerpos X y Y se encuentran a la misma temperatura, y Y tiene la misma temperatura que un tercer sistema Z, entonces se entiende que los cuerpos X y Z tienen la misma temperatura, los cuerpos han alcanzado el equilibrio térmico entre sí.

1.3.1.1 Equilibrio Térmico

Si un cuerpo posee una temperatura T1 y otro cuerpo posee una temperatura T2, y si: T1>T2 entonces el calor del cuerpo a temperatura más alta se transfiere al de temperatura más baja hasta que ambos alcanzan el equilibrio térmico, en este punto la transferencia de calor se detiene, es decir ambos cuerpos alcanzan la

[1] Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2006). *Termodinámica.*

igualdad de temperatura T1=T2. Se puede también entender el equilibrio térmico si dos cuerpos indican la misma lectura de temperatura, aunque no estén en contacto.

1.3.1.2 Temperatura

Es una magnitud que se relaciona con la energía interna de un sistema termodinámico. Puede definirse de manera empírica como la sensación de "caliente o "frío" al tocar un objeto.

1.3.1.2.1 Escalas de Temperatura

Las escalas de temperatura basadas en el punto de fusión y punto de ebullición del agua, conocidas como escalas de dos puntos, son: la escala Celsius o centígrada en el sistema internacional que asigna a dichos puntos 0 y 100 °C, y la escala Fahrenheit en el sistema inglés 32 y 212 °F. En termodinámica se utilizan escalas de temperatura independientemente de cualquier sustancia, también conocidas como escalas absolutas: la escala Kelvin (K) en el sistema internacional y la escala Rankine (R) en el sistema inglés. Los valores de temperatura más bajos de estas escalas son 0 (K) ó 0 (R) conocidas como cero absoluto. (Ver Figura 1.3).

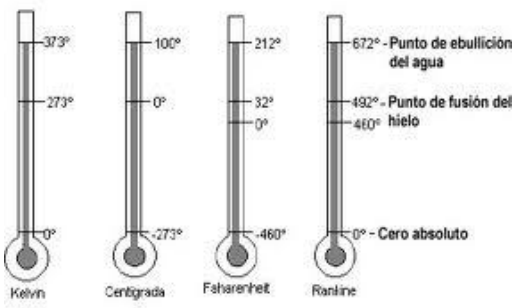


Figura 1.3. Escalas de Temperatura

En la Figura 1.3 se observa la relación de valores de temperatura que existe entre las diferentes escalas, además, a continuación se muestran las ecuaciones necesarias para realizar las transformaciones:

$$T(K) = T(°C) + 273.15 \quad \text{(Ecuación 1.1)}$$

$$T(R) = T(°F) + 459 \quad \text{(Ecuación 1.2)}$$

$$T(°C) = \frac{5}{9}[T(°F) - 32] \quad \text{(Ecuación 1.3)}$$

$$T(°F) = 1.8 \times T(°C) + 32 \quad \text{(Ecuación 1.4)}$$

1.3.2 PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA

Se basa en la declaración del principio de conservación la energía; la energía no puede crearse ni destruirse, solo transformarse. En un sistema se entiende que la energía que entra es igual a la que sale, es decir existe un balance, en este caso la interacción energética está a cargo de la transferencia de calor y del trabajo. Por lo tanto el incremento de energía en un sistema es igual al calor transferido más el trabajo realizado.

1.3.2.1 Calor

El calor es energía que se transfiere de un sistema a otro (o de un sistema a sus alrededores) cuando hay una diferencia de temperaturas entre ambos. La medición de la cantidad de calor transferido se denomina calorimetría, se simboliza con la letra Q y su unidad en el sistema internacional es el Joule, para aplicaciones tecnológicas se utiliza la caloría (cal). Debido a que el concepto de calor y trabajo es equivalente pude usarse la siguiente relación: 1 cal = 4.186 Joules.

1.3.2.1.1 Calor Específico

La energía que se requiere para elevar la temperatura 1 °C a 1g de masa de una sustancia se define como calor específico. Es una propiedad específica de una sustancia, es decir, depende de su composición y permite comparar las capacidades de almacenamiento de energía de varias sustancias.

1.3.3 SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA

La comprensión de la segunda ley está basada en dos enunciados: El de Kelvin-Planck que estudia las máquinas térmicas: “Ninguna máquina térmica puede tener una eficiencia del 100% o es imposible construir una máquina térmica, que operando en ciclo, no produzca otro efecto que la absorción de energía desde un depósito con la realización de una cantidad igual de trabajo”, y el de Clausius que estudia a los refrigeradores y bombas de calor: “Es imposible construir un dispositivo que funcione en un ciclo y cuyo único efecto sea producir la transferencia de calor de un cuerpo de temperatura más baja a un cuerpo de temperatura más alta”.

Esta ley da importancia al estudio del sentido de los procesos termodinámicos, por ejemplo; es posible convertir todo el trabajo en calor pero no es posible convertir todo el calor en trabajo, identifica si un proceso puede o no llevarse a cabo o si es reversible o irreversible, inclusive afirma que la energía no solo es cantidad sino también calidad.

1.3.4 TERCERA LEY DE LA TERMODINÁMICA

A fin de comprender la tercera ley es necesario definir la entropía como el desorden molecular de un sistema, es decir, cuanto mayor sea el desorden o la libertad de movimiento de las moléculas del sistema mayor será la entropía de

este. Si empezamos a enfriar este sistema hasta acercarnos más y más al cero absoluto, las moléculas irán perdiendo esta capacidad de desorden, o sea disminuye la entropía del sistema. Por lo tanto el enunciado de la tercera ley dice: "La entropía de una sustancia cristalina pura es cero a la temperatura del cero absoluto". Además el postulado de Nernst afirma que es imposible alcanzar la temperatura del cero absoluto (-273.15 °C) mediante un número conocido de procesos físicos.

1.4 TRANSFERENCIA DE CALOR[1]

Es el estudio del tránsito de la energía en forma de calor entre dos cuerpos que se encuentran a distintas temperaturas. Para que exista transferencia de calor es necesario que exista un desequilibrio termodinámico o gradiente de temperatura. De manera general esta disciplina considera los mecanismos que realizan el intercambio de calor y cuantifica la velocidad a la que sucede este intercambio. La transferencia de calor se realiza de tres modos o procesos de transferencia, estos son: conducción, convección y radiación.

1.4.1 CONDUCCIÓN

Se conoce también como transferencia de calor por difusión, la forma de realizarse esta transferencia es a través de la interacción atómica y molecular de la materia, es decir se transfiere de las moléculas más energéticas a las menos energéticas. La velocidad de conducción de calor depende básicamente de las siguientes variables: diferencia de temperatura ΔT, forma y dimensiones del cuerpo sometido al calor, y material del que está compuesto el cuerpo.

[1] Incropera, F. P., & Dewitt, D. P. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor.*

1.4.2 CONVECCIÓN

Se refiere a la transferencia de energía en forma de calor entre una superficie y un fluido que se mueve sobre esta cuando hay una diferencia de temperaturas. Su cálculo depende de la geometría y posición de la superficie de contacto y de algunas propiedades del fluido en movimiento, como son: densidad, viscosidad, conductividad térmica y calor específico, además de las condiciones de régimen de flujo. Se emplean también varios coeficientes de cálculo como por ejemplo: el coeficiente de convección (h), el número de Reynolds (Re), Grashof (Gr), Prandtl (Pr), Rayleigh (Ra).

1.4.3 RADIACIÓN

La transferencia de calor por radiación es emitida por la materia a nivel atómico y molecular, se transfiere a través de ondas electromagnéticas que se clasifican en función de su longitud de onda. No depende de un medio material para su transporte y es más eficiente en el vacío.

1.5 HORNOS ELECTRICOS INDUSTRIALES[1]

Los hornos industriales son equipos empleados en la industria dentro de los cuales se calientan objetos sobre la temperatura ambiental. Los métodos más frecuentes de calentamiento eléctrico son: arco, inducción y resistencias eléctricas.

[1] Trinks, W., & Mawhinney, M. H. (1971). *Hornos Industriales.*

1.5.1 HORNOS DE RESISTENCIAS ELÉCTRICAS[1]

En estos hornos la transmisión de calor se realiza de manera indirecta, mediante resistencias eléctricas dispuestas en el interior del horno que se calientan por el efecto Joule y transfieren energía en forma de calor hacia la carga ya sea por convección, radiación o combinación de ambas.

Se puede incluir dentro del estudio de los hornos de resistencias eléctricas a las estufas y a los secaderos o estufas de secado; ya que, aunque operen a temperaturas por debajo de los 500 °C su técnica de diseño y construcción es muy similar al de los hornos convencionales.

1.5.1.1 Clasificación de los Hornos de Resistencias

Para clasificar a los hornos de resistencias es necesario considerar varios aspectos:

- Forma de Funcionamiento. Pueden ser continuos o discontinuos (intermitentes).
- Disposición de las Resistencias. La calefacción puede estar ubicada en la parte inferior, superior, lateral o por un extremo.
- Tipo de Recinto. Las formas más comunes de recintos de hornos son:

- Hornos tipo Estufa
- Hornos de Mufla
- Hornos de Cuba
- Hornos de Balsa

[1] Astigarraga Urquiza, J. (1995). *Hornos industriales de resistencias.*

- Hornos de Solera
- Hornos de Solera Móvil
- Hornos de Soleras Múltiples
- Hornos de Solera Giratoria
- Hornos de Túnel
- Hornos Rotativos
- Hornos de Cuba
- Hornos de Crisol

➢ Tipo de efecto en el producto. Puede ser físico o químico.

1.5.1.2 Aplicaciones de los Hornos de Resistencias

Los hornos de resistencias pueden aplicarse de diversas maneras dentro de la industria, de acuerdo con el proceso que realizan las principales aplicaciones son:

- Secado o reducción del contenido de humedad de objetos
- Tratamientos térmicos de los aceros por ejemplo: temple, recocido, revenido, cementación, etc.
- Fusión y mantenimiento de metales, vidrio, cerámica, goma o plásticos.
- Sinterizado y Calcinación.
- Recubrimiento de piezas metálicas y no metálicas por ejemplo: galvanización, estañado, emplomado, etc.

1.5.1.3 Hornos eléctricos de secado tipo mufla[1]

Un horno eléctrico de secado tipo mufla se utiliza en la industria para reducir o eliminar la humedad presente en alimentos u objetos, esto se logra mediante la generación de calor a cargo de un grupo de resistencias eléctricas, las mismas que transfieren dicho calor a una cámara o recipiente aislado del exterior en donde se encuentra la carga a tratarse. En este tipo de hornos se pueden distinguir las siguientes partes: (ver Figura 1.4)

Figura 1.4. Horno eléctrico de secado tipo mufla[2]

1. Cámara externa; fabricada en lámina de acero recubierta con una película protectora de pintura.

[1] Astigarraga Urquiza, J. (1995). *Hornos industriales de resistencias.*
[2] Jinan North Equipment. (22 de septiembre de 2014). *Alibaba.com*.

2. Estantes fabricados generalmente de acero común con ranuras para que el aire circule libremente, allí se colocan los elementos que requieren ser secados.

3. Material de aislamiento térmico; generalmente se utiliza lana de vidrio, se instala entre las cámaras interna y externa.

4. Circuito eléctrico o electrónico de control de temperatura, tiempo de secado o demás parámetros propios del proceso.

5. Conjuntos de resistencias eléctricas; responsables de transferir calor a la cámara interna, se ubican comúnmente en la parte inferior del horno.

6. Puerta; fabricada en acero, con aislamiento térmico para reducir pérdidas de calor.

7. Elemento sensor de temperatura.

8. Cámara interna; se fabrica comúnmente de acero inoxidable.

1.6 RESISTENCIAS ELÉCTRICAS DE CALENTAMIENTO[1]

Las resistencias eléctricas de calentamiento pueden clasificarse por su uso en:

- Alambres, pletinas, varilla o barras dispuestas en las paredes de la cámara de calentamiento del horno, transfiriendo calor por radiación o convección (ver Figura 1.5).

[1] Astigarraga Urquiza, J. (1995). *Hornos industriales de resistencias.*

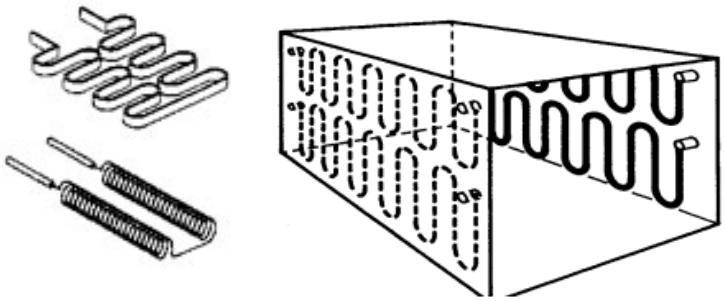


Figura 1.5. Disposición de resistencias de alambre y pletina

- Resistencias dispuestas en el interior de tubos radiantes (ver Figura 1.6), con el fin de protegerlas de la exposición a atmósferas perjudiciales dentro del horno.

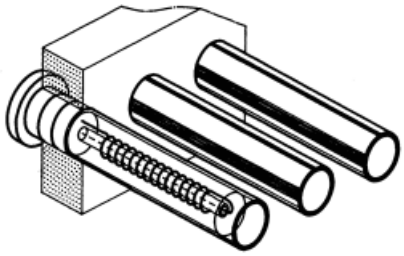


Figura 1.6. Tubos radiantes

- Resistencias blindadas introducidas en fundas metálicas de pequeño diámetro aisladas con materiales dieléctricos. Figura 1.7

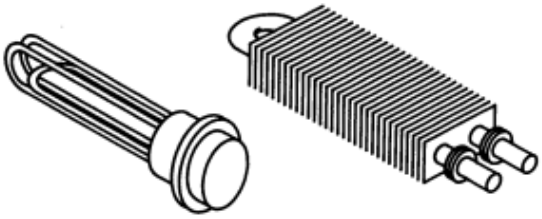


Figura 1.7. Resistencias Blindadas

1.6.1 RESISTENCIAS METÁLICAS DE ALEACIONES DE BASE NI-CR

Las aleaciones más representativas son las siguientes:

- 80% Ni-20% Cr.
- 70% Ni-30% Cr.
- 60% Ni-15% Cr-20% Fe.
- 37% Ni-18% Cr-40% Fe., denominada 40 Ni-20 Cr.
- 30% Ni-20% Cr-45% Fe.
- 20% Ni-25% Cr-50% Fe.

La Tabla 1.7 muestra las propiedades de las diferentes aleaciones Ni-Cr.

Tabla 1.7. Propiedades de las aleaciones Ni-Cr

Aleación Ni-Cr	80-20	70-30	60-15	40-20	30-20	20-25
Composición aproximada:						
Ni %	80	70	60	37	30	20
Cr %	20	30	15	18	20	25
Fe %	<1	<1	20	40	45	50
Densidad kg/m^3	8.300	8.100	8.200	7.900	7.900	7.800
Temperatura de fusión °C	1.400	1.380	1.390	1.390	1.390	1.380
Temperatura máxima de utilización °C	1.200	1.250	1.150	1.100	1.100	1.050
Calor específico a 20 °C kJ/kg · K	0,45	0,45	0,45	0,46	0,50	0,50
Conductividad térmica W/mk a 20 °C	15	14	13	13	13	13
Coeficiente dilatación lineal 20-1.000 °C/°C^{-1}	18	18	17	19	19	19
Resistencia a la rotura 20 °C N/mm^2	700	800	700	700	700	700
900 °C N/mm^2	100	100	100	120	120	120
Resistencia al creep 800 °C N/mm^2	15	15	15	20	20	20
1.000 °C N/mm^2	4	4	4	4	4	4

1.6.2 RESISTENCIAS BLINDADAS[1]

Esencialmente difieren de otros tipos de resistencias en su concepción y comportamiento. Se emplean en hornos de secado y reducción de humedad para bajas temperaturas ya que la potencia eléctrica disipada como calor debe pasar por conducción a través de la masa cerámica y de la funda metálica, y por convección y/o radiación del exterior de la funda metálica a la carga o interior del horno. La Figura 1.8 muestra las partes constitutivas de una resistencia blindada típica:

1. Funda metálica de acero al carbono o acero inoxidable, de sección cilíndrica. Su naturaleza es en función del medio a calentar y de la temperatura de utilización. Su diámetro y longitud "a" varían según la potencia, el espacio disponible y la carga específica admitida en w/cm2.
2. Masa refractaria de magnesia electro fundida o de nitruro de boro con excelente conductividad térmica y débil conductividad eléctrica.
3. Resistencia bobinada propiamente dicha. Alambre de aleación níquel-cromo, su composición varía en función de la temperatura de trabajo. Su longitud determina la zona calefaccionada "b".
4. Terminal de conexión construido en acero, asegura a la resistencia. Su longitud determina la zona neutral "c".
5. Sellado estanco, a base de resinas o siliconas, asegura la estanquedad contra la humedad ambiental.
6. Zona fría, asegura el aislamiento dieléctrico entre la funda metálica y el terminal de conexión eléctrico.

[1] Kountaras. (2008). *Resistencias eléctricas de calentamiento tipo tubulares*.

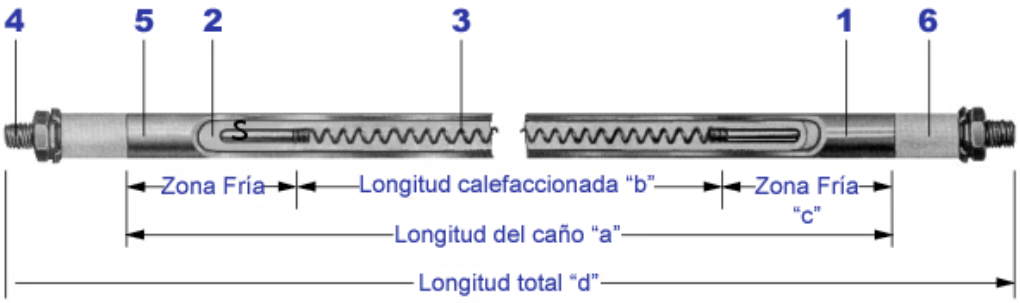


Figura 1.8. Partes de una resistencia blindada.

1.7 MATERIALES DE AISLAMIENTO TÉRMICO[1]

Los materiales de aislamiento térmico usados dentro de hornos eléctricos tienen como finalidad:

- Reducir las pérdidas de calor del horno.
- Soportar el ambiente interno del horno (humos, gases, aire en circulación).
- Asegurar condiciones ambientales aceptables en el exterior del horno.

Por estas razones el aislamiento debe ser resistente al ataque químico y a la abrasión. Los materiales de aislamiento térmico se clasifican según la temperatura de trabajo en:

- Productos refractarios densos
- Productos refractarios aislantes
- Productos aislantes no refractarios
- Productos calorífugos
- Fibras cerámicas

[1] Astigarraga Urquiza, J. (1995). *Hornos industriales de resistencias.*

1.7.1 LANA DE VIDRIO

La lana o fibra de vidrio pertenece al grupo de productos aislantes no refractarios mencionado en el apartado anterior. Su elaboración se consigue por la fundición del vidrio. Tiene alto contenido de sílice y buena resistencia a la corrosión química. Puede soportar temperaturas relativamente elevadas (700°C) y es incombustible, además posee alta capacidad como aislamiento sónico. Se encuentra en el mercado en forma de mantas enrolladas de diferentes dimensiones y espesores, como se observa en la Figura 1.9

Figura 1.9. Mantas de lana de vidrio

La Tabla 1.8 muestra las principales propiedades termo físicas de la lana de vidrio (a temperatura y presión atmosférica) y sus correspondientes valores.

Tabla 1.8. Propiedades termo físicas de la lana de vidrio[1]

Propiedad	Símbolo (Unidad)	Valor
Temperatura máxima de servicio	T (K)	973
Densidad	p (kg/m3)	16
Conductividad térmica	k (W/m.K)	0,043
Calor específico	Cp. (J/kg.K)	835

[1] Incropera, F. P., & Dewitt, D. P. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor.*

1.8 REGULACIÓN DE LA TEMPERATURA[1]

En el sistema de regulación de temperatura de un horno se pueden distinguir los siguientes elementos:

- El horno o proceso controlado
- El detector o sensor de temperatura
- El aparato de medición y control, en el cual el operario da las órdenes o valor de consigna y este a su vez envía una señal de actuación.
- El órgano corrector o actuador que recibe la señal anterior y actúa sobre la entrada de corriente en los hornos calentados eléctricamente.

En la Figura 1.10 pueden observarse los elementos mencionados anteriormente y el orden lógico de operación de los mismos, además se observa que el control actúa en lazo cerrado ya que existe una realimentación desde el horno hacia el aparato de control por medio del detector o sensor, permitiendo al aparato de control conocer si las acciones ordenadas al órgano corrector se han realizado eficazmente sobre el proceso.

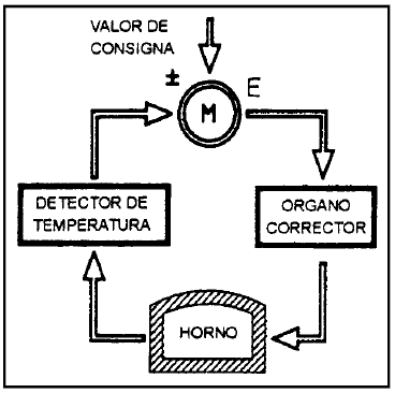


Figura 1.10. Esquema de regulación de temperatura de un horno

[1] Astigarraga Urquiza, J. (1995). *Hornos industriales de resistencias.*
Creus Solé, A. (2006). *Instrumentación Industrial.*

1.8.1 MÉTODOS DE REGULACIÓN DE TEMPERATURA

Los métodos de regulación de temperatura más utilizados son:

- De dos posiciones (todo-nada).
- Proporcional.
- Proporcional e Integral.
- Proporcional y derivada.
- Proporcional, integral y derivada PID.

1.8.1.1 Regulación de dos posiciones todo-nada

En la regulación todo-nada el órgano corrector o actuador adopta únicamente dos posiciones encendido o apagado, para un valor único de la variable controlada. Este tipo de regulación se caracteriza porque la variable está siempre dentro de un ciclo continuo. Se emplea usualmente con una banda diferencial o zona neutra o muerta, los ajustes del control se basan en variar el punto de consigna y la banda diferencial. En la Figura 1.11 se observa la variación de temperatura con respecto al tiempo para este tipo de regulación, a continuación se da una explicación breve del funcionamiento:

Por ejemplo si se quiere regular la temperatura Θ_s del horno (ver Figura 1.11) se conectarán las resistencias a plena potencia cuando la temperatura sea inferior a Θ_s (punto de consigna) y se desconectarán cuando la temperatura sea superior a Θ_s. Cuando el horno conecte la potencia máxima, la temperatura tenderá hacia su valor límite Θ_{g1} siguiendo una forma exponencial. Cuando alcanza la temperatura Θ_s se desconectan las resistencias y la temperatura decrece tendiendo a Θ_{g2} (temperatura ambiente). Pero el sistema de regulación conecta de nuevo las resistencias cuando la temperatura es inferior a Θ_s, comenzando nuevamente el

ciclo. La frecuencia de conexión y desconexión sería elevada y para reducirla se introduce una zona muerta alrededor de Θ_s. Tal como se muestra en la Figura 1.11 la temperatura variará en dientes de sierra dentro de la zona muerta. En la parte inferior de esta figura se muestra la gráfica de los tiempos de conexión y desconexión en función de la potencia disipada por las resistencias.

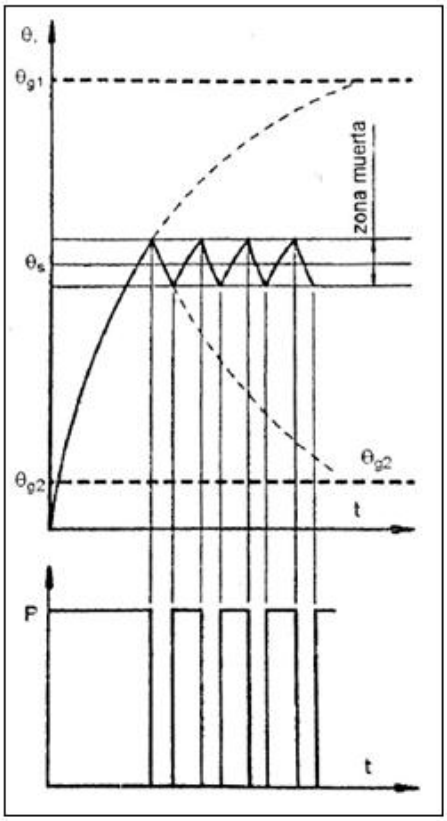


Figura 1.11. Regulación de temperatura todo-nada

1.9 SENSORES DE TEMPERATURA[1]

La medida de la temperatura es muy común e importante en un proceso industrial. Casi todos los fenómenos físicos están afectados por ella y se usa con frecuencia

[1] Creus Solé, A. (2006). *Instrumentación Industrial.*

para deducir otras variables dentro del proceso. Existen diversos fenómenos que son influidos por la temperatura y se utilizan para medirla, los más comunes son:

- Variación en volumen o en estado de los cuerpos (sólidos, líquidos o gases)
- Variación de resistencia de un conductor (sondas de resistencia)
- Variación de resistencia de un semiconductor (termistores)
- Fuerza electromotriz creada por la unión de dos metales distintos (termopares).
- Intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo (pirómetros de radiación).

En la Figura 1.12 se observan los sensores de temperatura más utilizados en la industria, así como su rango de medida en grados centígrados y kelvin.

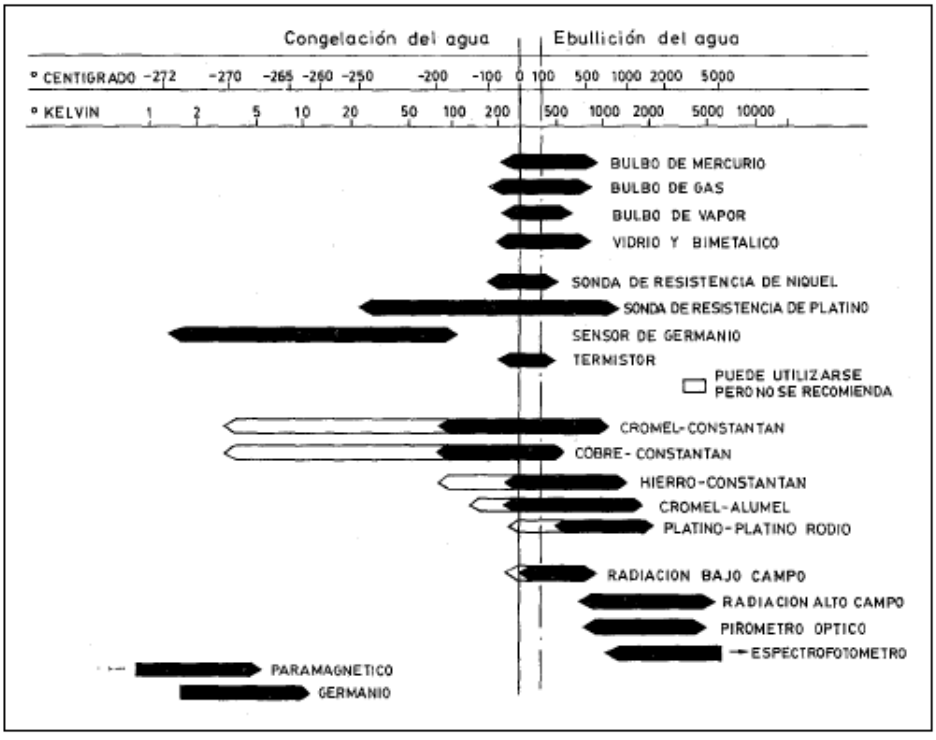


Figura 1.12. Rango de medida de los sensores de temperatura

1.9.1 SONDAS DE RESISTENCIA

Las sondas de resistencia RTD (detector termo-resistivo) detectan la temperatura por variación de su resistencia óhmica. Los materiales que normalmente se usan en las sonda de resistencia son el níquel, cobre, platino y germanio (este último utilizado solamente en la industria criogénica). En la Figura 1.13 se muestran las partes internas de una sonda de resistencia, en la que se observa que la resistencia de platino está separada de la envoltura mediante capas de aislamiento eléctrico, así como también el hilo de conexión se protege del calor con aislamiento cerámico, la envoltura externa es generalmente un tubo de acero inoxidable con el fin de evitar la corrosión. El valor de resistencia de las sondas es de 100 ohmios a 0 °C. La visualización del valor de temperatura se lo realiza con aparatos analógicos o digitales que miden la resistencia óhmica de la sonda.

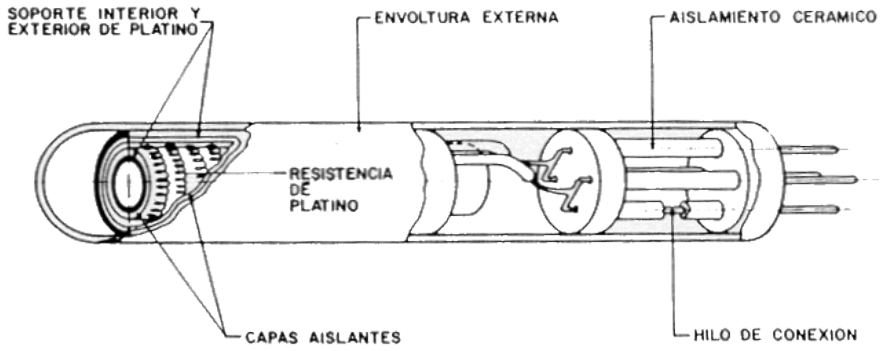


Figura 1.13. Vista interior de una sonda de resistencia

En la Figura 1.14 se observan las curvas características de la resistencia en función de la temperatura para los metales empleados en las sondas, se puede distinguir que el platino describe una variación más lineal para valores altos de temperatura en comparación con el níquel y el cobre.

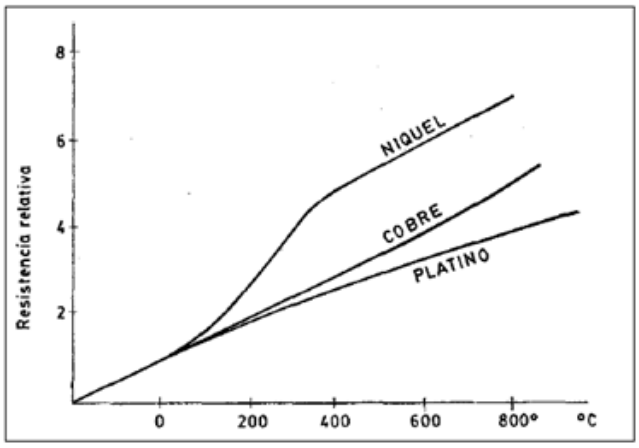


Figura 1.14. Curvas características de Resistencia vs. Temperatura de varios metales

En la Tabla 1.9 se indican las principales características de las sondas de resistencia de platino, níquel y cobre; puede notarse que el platino es el material más adecuado en cuanto a su alta precisión y amplio intervalo de medición, pero presenta el inconveniente de su alto costo, el níquel es más barato que el platino sin embargo tiene como desventaja la poca precisión y el reducido intervalo de medida de temperatura, el cobre tiene una variación de resistencia uniforme, es estable y barato, pero tiene el inconveniente de su baja resistividad.

Tabla 1.9. Características de las sondas de resistencia

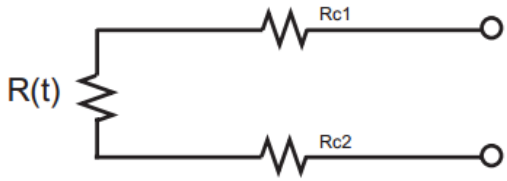
Metal	*Resistividad* μΩ/cm	*Coeficiente temp.* Ω/Ω, °C	*Intervalo útil de temp.* °C	*Ø mín. de hilo* mm	*Coste relativo*	*Resis. sonda a 0° C,* ohmios	*Precisión* °C
Platino	9,83	0,00385	— 200 a 950	0,05	Alto	25, 100, 130	0,01
Níquel	6,38	0,0063 a 0,0066	— 150 a 300	»	Medio	100	0,50
Cobre	1,56	0,00425	— 200 a 120	»	Bajo	10	0,10

1.9.1.1 Conexión de las sondas de resistencia[1]

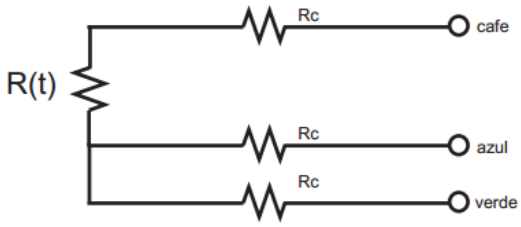
Existen 3 modos de conexión para las sondas, cada uno de ellos requiere un instrumento lector distinto. El objetivo es determinar exactamente la resistencia eléctrica del elemento sensor sin que influya en la lectura la resistencia de los cables, a continuación se explican estos tres modos de conexión:

1.9.1.1.1 Conexión con dos hilos

El modo más sencillo de conexión (pero menos recomendado) es con solo dos cables. En este caso las resistencias de los cables Rc1 y Rc2 que unen la sonda al instrumento se suman generando un error inevitable, ver Figura 1.15 (a). El lector medirá el total R(t)+Rc1+Rc2 en vez de R(t). Para evitar errores de lectura debe usarse un cable de conexión más grueso con el fin de disminuir la resistencia Rc1 y Rc2.

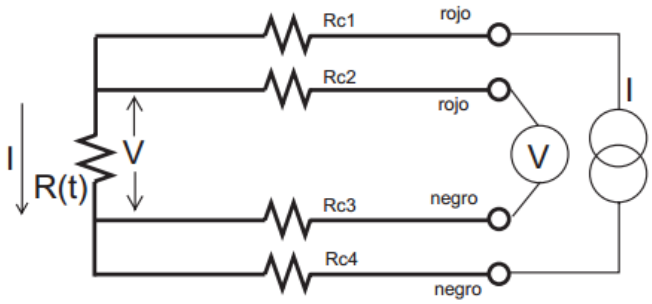


(a) Conexión con dos hilos



(b) Conexión con tres hilos

[1] Arian. (septiembre de 2013). *Pt 100, su operación, instalación y tablas.*



(c) Conexión con cuatro hilos

Figura 1.15. Conexión de las sondas de resistencia

1.9.1.1.2 Conexión con tres hilos

El modo de conexión de tres hilos es el más común y resuelve el problema de error generado por la resistencia de los cables. El único requisito es que los tres cables tengan la misma resistencia óhmica ya que el sistema de medición se basa en el puente de Wheatstone. Por ejemplo en la Figura 1.15 (b) se hace pasar una corriente conocida a través de los cables azul y verde con lo cual el instrumento mide 2Rc. Luego mide la resistencia por los cables café y azul para finalmente restarle 2Rc al valor medido y obtener R(t).

1.9.1.1.3 Conexión con cuatro hilos

El montaje de cuatro hilos se utiliza para obtener la mayor precisión posible en la medida, como es el caso de calibración de patrones de resistencia en laboratorio. En la Figura 1.15 (c) se observa que por los cables 1 y 4 se hace circular una corriente (I) conocida a través de R(t) provocando una diferencia de potencial (V) en sus extremos. Los cables 2 y 4 están conectados a la entrada de un voltímetro de alta impedancia, luego por estos cables no circula corriente y por lo tanto la caída de potencial en las resistencias Rc2 y Rc3 será cero y el voltímetro medirá

exactamente el voltaje (V) en los extremos del elemento R(t). Finalmente el instrumento obtiene el resultado de R(t) al dividir el valor de (V) medido entre la corriente (I) conocida.

1.10 CONTROLADORES DE TEMPERATURA[1]

Es un dispositivo electrónico provisto de: una entrada para sensor de temperatura, entrada de alimentación eléctrica, salidas de control, salida para comunicación con ordenador, una pantalla de visualización del valor de temperatura y teclas de ajuste y programación de parámetros (ver Figura 1.16). Su principal función es comparar la temperatura real (medida por el sensor) con la temperatura de control deseada o punto de ajuste (seleccionada por el operador) y accionar una salida conectada a un elemento final de control o actuador.

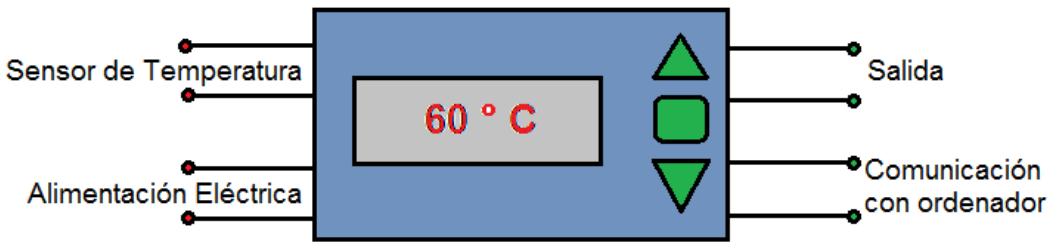


Figura 1.16. Esquema básico de un controlador de temperatura

Es necesario considerar los siguientes aspectos antes de seleccionar el controlador adecuado:

- Tipo de sensor de entrada (termopar, RTD) y rango de temperatura
- Tipo de salida requerida (relé electromecánico, SSR, salida analógica)

[1] Omega. (17 de octubre de 2013). *Introducción a los controladores de temperatura*.

- Algoritmo de control necesario (todo/nada, proporcional, PID)
- Número y tipo de salidas (calor, frío, alarma, límite)
- Voltaje y corriente de alimentación.
- Comunicación con ordenador.

1.11 AUTOMATIZACIÓN[1]

La Real Academia de Ciencias Exactas Físicas y Naturales define la Automática como el estudio de los métodos y procedimientos cuya finalidad es la sustitución del ser humano por un operador artificial en la generación de una tarea física o mental previamente programada.

Desde un punto de vista industrial puede definirse la Automatización como el estudio y aplicación de la Automática al control de los procesos industriales. El operador artificial o sistema de control debe tener una configuración y características determinadas, que van de acuerdo al tipo de proceso y a la forma de realizar el control. Los objetivos de un automatismo son:

- Simplificar considerablemente el trabajo de hombre a quien libera de la necesidad de estar permanentemente situado frente a la máquina.
- Eliminar las tareas complejas, peligrosas, indeseadas, haciéndolas ejecutar por la máquina.
- Facilitar los cambios en los procesos de fabricación permitiendo pasar de una cantidad o de un tipo de producción a otro.
- Mejorar la calidad de los productos al supervisar la propia máquina los criterios de fabricación y las tolerancias que serán respetadas a lo largo del tiempo.
- Incrementar la producción y la productividad.
- Aumentar la seguridad del personal.

[1] Romera, J. P., Lorite, J. A., & Montoro, S. (2000). *Automatización.*
Simon, A. (1995). *Autómatas Programables.*

- Controlar y proteger las instalaciones y las máquinas.

1.11.1 ESTRUCTURA DE UN AUTOMATISMO

Un sistema automático se descompone en dos partes:

- La parte de control o autómata que elabora las órdenes necesarias para la ejecución del proceso en función de las consignas que recibe en su entrada y de la información que recibe de la parte operativa.
- La parte operativa o de potencia que ejecuta las órdenes que le proporciona la parte de control.

Un automatismo está formado por funciones ordenadas de forma lógica como muestra la Figura 1.17. A continuación se mencionan las funciones y los ejemplos de componentes asociados a cada función:

- **Detección:** sensores de presión, nivel o temperatura, interruptores de posición, detectores de proximidad, células fotoeléctricas, detectores de velocidad, etc.
- **Proceso de datos:** controladores de temperatura, presión o nivel, autómatas programables (PLC), microsistemas, secuenciadores, células lógicas, relés, contactores auxiliares, etc.
- **Control de Potencia:** contactores, variadores de velocidad, arrancadores, graduadores, distribuidores, etc.
- **Diálogo hombre-máquina:** botones, selectores, luces piloto, pantallas de control, etc.

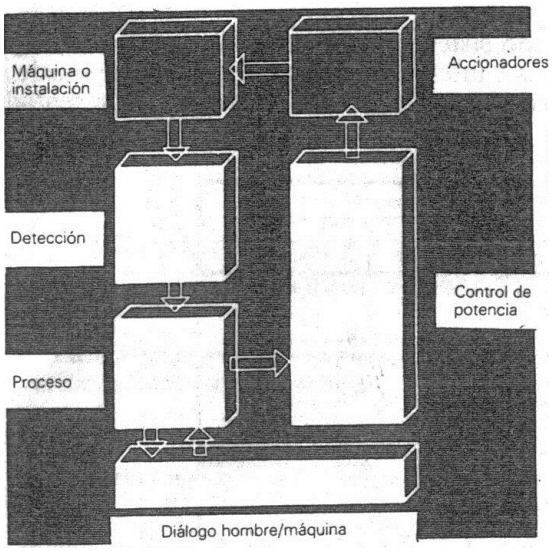


Figura 1.17. Componentes de un automatismo

1.11.2 MÉTODOS DE DISEÑO DE UN AUTOMATISMO

Para diseñar y analizar el funcionamiento de un automatismo el diseñador dispone de los siguientes métodos de expresión:

- Esquema eléctrico de contactos
- Logigrama
- Ecuaciones lógicas o booleanas
- Diagrama funcional GRAFCET
- Organigrama

1.11.2.1 Esquema eléctrico de contactos

En este método se utiliza la combinación de contactos eléctricos conectados en serie y/o paralelo, que activan o desactivan generalmente la bobina de relés, contactores o válvulas.

Por ejemplo en la Figura 1.18 se observa un esquema eléctrico de contactos típico que se entiende de la siguiente manera: Si “a” no está abierto y si “b” está cerrado o si “s” está cerrado y “d” no está abierto, entonces “S” está activado.

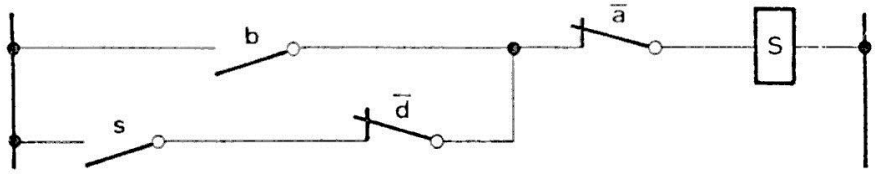


Figura 1.18. Esquema eléctrico de contactos

1.12 DISPOSITIVOS ELÉCTRICOS DE CONTROL INDUSTRIAL[1]

Los dispositivos de control eléctrico son muy importantes en la protección y funcionamiento correcto de los distintos sistemas y equipos industriales. Estos sistemas tienen un amplio campo de aplicación; desde el arranque y parada de un motor eléctrico hasta el control de una compleja subestación de suministro de energía, muchas veces combinados con elementos de control electrónico, digital, neumático, etc.

De acuerdo a la cantidad de corriente eléctrica que circula por estos dispositivos, se pueden clasificar en:

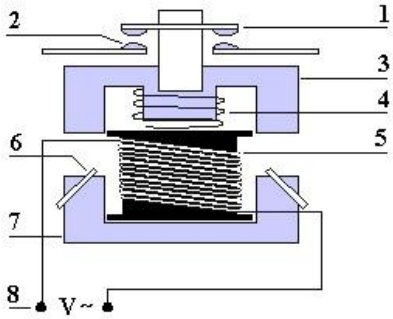
- Dispositivos de fuerza o potencia; para el control de cargas con consumo de alta potencia, por ejemplo: contactores, arrancadores, disyuntores, brakers, etc.
- Dispositivos de control; para las tareas de regulación y control en los circuitos de mando, señalización y enclavamiento con consumo de baja

[1] Angulo Sánchez, P. (1990). *Control Industrial.* Quito: E.P.N.

potencia, por ejemplo: relés, temporizadores, sensores, controladores, autómatas programables (PLC), interruptores, pulsadores, luces piloto, finales de carrera, etc.

1.12.1 CONTACTOR

Es un dispositivo que tiene la capacidad de conectar o desconectar uno o más circuitos eléctricos de potencia por sí solo, sin la necesidad de que el operador esté presente en la máquina. Consta básicamente de un núcleo de hierro y de una bobina, capaces de generar un campo magnético lo suficientemente grande como para vencer la fuerza del muelle antagonista, el cual mantiene separada del núcleo una pieza (magnética) unida a los contactos eléctricos móviles (ver Figura 1.19).



1- Contactos móviles. 2 - Contactos fijos.
3- Hierro móvil. 4 - Muelle antagonista. 5 - Bobina.
6- Espira de sombra (en corriente alterna).
7- Hierro fijo. 8 - Alimentación bobina.

Figura 1.19. Partes de un contactor electromagnético[1]

La gran ventaja del contactor electromagnético es la completa separación eléctrica entre la corriente de accionamiento (la que circula por la bobina del electroimán) y la corriente que circula por los contactos, lo que permite manejar altos voltajes o elevadas potencias con pequeñas tensiones de control inclusive a

[1] Automatización Industrial. (14 de Enero de 2011). *Neumática, Hidráulica, MicroControladores y Autómatas*.

grandes distancias. A continuación se mencionan las aplicaciones más comunes del contactor electromagnético:

- Sistemas de arranque de motores eléctricos.
- Sistemas automáticos de transferencia de energía.
- Sistemas de iluminación en general.
- Subestaciones de bombeo de agua.
- Accionamiento de ascensores y montacargas.
- Accionamientos de puentes grúa.
- Sistemas de climatización.
- Hornos y refrigeradores industriales.

1.12.1.1 Datos técnicos del contactor

Según la normativa de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), las características de un contactor se determinan por los siguientes elementos: tipo de contactor, valores nominales, circuito de control y contactos auxiliares.

1.12.1.1.1 Tipo de Contactor

El tipo de contactor se define tomando en cuenta los siguientes puntos:

- Número de polos
- Clase de corriente; es decir si los contactos principales son para C.C. o C.A., si se trata de corriente alterna se debe especificar la frecuencia.
- Medio de interrupción; si el medio de extinción para el arco eléctrico es en aire, aceite, al vacío, etc.

- Método de control; es decir si el accionamiento del contactor es electromagnético, neumático, etc.

1.12.1.1.2 Valores nominales

Según la norma I.E.C., estos valores deben venir impresos en los contactores como datos de placa:

- Voltaje nominal de operación (Ve); se refiere al voltaje entre los contactos principales, para circuitos trifásicos este viene dado por el voltaje entre fases.
- Corriente nominal de operación (Ie); la mayoría de contactores no traen explícitamente este valor de corriente pero viene determinado en forma de potencia activa (HP o KW).
- Corriente térmica nominal (Ith).
- Frecuencia nominal (f).
- Voltaje de aislamiento (Ui).

1.12.1.1.3 Circuito de control y contactos auxiliares

Se debe especificar en los datos de placa:

- Voltaje nominal de la bobina (Uc), con la respectiva clase de corriente. Si es para C.A. se debe especificar la frecuencia.
- Clase y número de contactos auxiliares y su capacidad de corriente, generalmente se considera en 6 amperios.

1.12.2 RELÉ

El relé o relevador es un dispositivo electromecánico que funciona como un interruptor, el cual es controlado por la excitación electromagnética de una bobina que mueve un núcleo de hierro, accionando a su vez un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes (ver Figura 1.20). Los relés electromagnéticos se clasifican de acuerdo a su aplicación en:

- Relés de protección
- Relés de mando
- Relés de medida o regulación

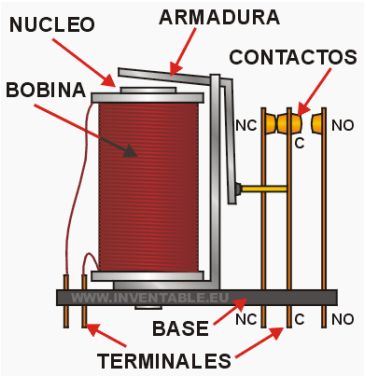


Figura 1.20. Partes de un relé[1]

1.12.2.1 Relé electromagnético de mando

Se emplean para accionar diversas partes de un circuito o instalación eléctrica, se los denomina también relés auxiliares o contactores auxiliares. Algunos relés tienen la misma apariencia física de un contactor, pero la principal diferencia está

[1] Inventable. (29 de octubre de 2013). *La electrónica simple y clara*.

en la capacidad de corriente eléctrica de los contactos. Para el contactor la capacidad de manejo de potencia es elevada, mientras que para el relé es baja, por lo tanto no posee contactos principales como en el caso del contactor, sino solo contactos auxiliares. Los relés electromagnéticos de mando se emplean generalmente para:

- Amplificar la capacidad de corriente.
- Amplificar el nivel de voltaje.
- Multiplicar el número de contactos auxiliares.

1.12.2.1.1 Datos técnicos de un relé de mando

Para la adecuada selección de un relé de mando que se ajuste a la aplicación requerida se deben toman en cuenta los siguientes datos técnicos:

- Voltaje nominal de la bobina.
- Corriente máxima de la bobina
- Voltaje de trabajo de los contactos.
- Capacidad de corriente de los contactos.
- Número y clase de contactos.
- Voltaje de prueba de aislamiento.
- Corriente térmica nominal.

1.12.3 TEMPORIZADORES O RELÉS DE TIEMPO

Un relé de tiempo o temporizador es un dispositivo capaz de cerrar o abrir sus contactos de salida luego de transcurrido un determinado tiempo. Existen muchos tipos de relés de tiempo disponibles en el mercado con múltiples aplicaciones en

la industria, de todos ellos los más utilizados son: neumáticos, accionados por motor, térmicos y electrónicos o de estado sólido. Las formas básicas de operación de los temporizadores son las siguientes:

- On delay; retardo posterior a la energización del relé.
- Off delay; retardo posterior a la desenergización del relé.
- Pulso; independiente del tiempo de energización del relé.
- Pulso; dependiente del tiempo de energización del relé.
- Ciclo repetitivo.

1.12.3.1 Relés de tiempo electrónicos o de estado sólido

El principio de operación se basa en la carga o descarga de un capacitor. Un circuito RC (resistencia y condensador) que se encarga de alimentar un circuito de disparo formado por un transistor de unijuntura UJT, el tiempo de control se regula mediante una resistencia variable. Para usar los temporizadores sin inconvenientes con otros relés o contactores, es necesario acoplar un circuito de entrada y otro de salida que permita trabajar sin daños al circuito de temporización, como muestra el diagrama de bloques de la Figura 1.21.

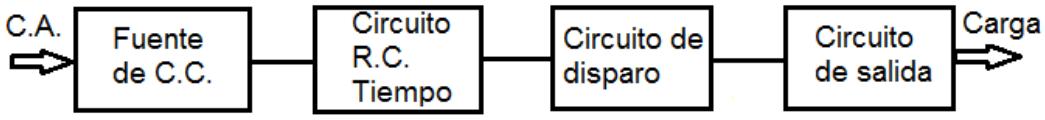


Figura 1.21. Diagrama de bloques del circuito de un temporizador electrónico

Entre las principales características de los relés de tiempo electrónicos pueden mencionarse las siguientes:

- Vida útil larga.

- Excelente exactitud repetitiva
- Ajuste de tiempo local o remoto
- Mayor resistencia a la contaminación.
- Resistencia a choques y vibraciones
- No hay rebote de contactos (salida de estado sólido).
- Disponibles en todas formas de operación.

1.12.3.2 Datos Técnicos de los relés de tiempo

En la selección de los relés de tiempo deben considerarse los siguientes aspectos:

- Forma de operación.
- Rango de tiempo de actuación.
- Exactitud repetitiva.
- Voltaje de alimentación.
- Temperatura de trabajo
- Tipo de contactos de salida.
- Capacidad de carga de los contactos de salida.

1.12.4 DISPOSITIVOS AUXILIARES DE MANDO

Son dispositivos que normalmente van asociados a los contactores, relés u otros aparatos principales de maniobra y que actúan como órganos auxiliares de mando en la instalación. Tienen como finalidad el accionamiento o monitoreo de los sistemas de control por parte del operador.

1.12.4.1 Pulsadores

Son dispositivos de maniobra clasificados como interruptores, que tienen retroceso y son accionados manualmente, se emplean para el mando de bajas potencias. Los pulsadores son los elementos más utilizados en el accionamiento de contactores, se utilizan en combinaciones para abrir o cerrar circuitos de control auxiliares, de señalización o mando de relés (ver Figura 1.22). Constan básicamente del botón actuador y de la cámara de contactos, los cuales pueden ser abiertos o cerrados. Pueden clasificarse de acuerdo a las condiciones mecánicas de mando en:

- Pulsadores razantes; que evitan cualquier maniobra involuntaria.
- Pulsadores salientes; para el mando con uso de guantes.
- Pulsadores de emergencia; tipo hongo con enclavamiento mecánico.
- Pulsadores con capuchón; para evitar la introducción de polvo.

1.12.4.2 Selectores de mando

Son similares a los pulsadores pero sin retroceso, su acción es instantánea tanto al cierre como a la apertura. Generalmente se construyen de dos y tres posiciones y con accionamiento por palanca, botón o llave (ver Figura 1.22).

Figura 1.22. Pulsadores y selectores de mando[1]

[1] R.A. Electrónica S. A. (29 de octubre de 2013). *Material Industrial*.

Se utilizan en circuitos de control en donde se hace necesario seleccionar: mando automático, apagado o manual; sentidos de movimiento: derecha o izquierda, arriba o abajo; velocidades de funcionamiento: alta o baja.

1.12.4.3 Interruptores mecánicos de posición

Es un dispositivo de control que convierte un movimiento mecánico en una señal eléctrica, usualmente lo hace abriendo o cerrando contactos conectados a un circuito de control de baja potencia, cuando el límite del viaje es alcanzado, por ejemplo se aplica en puertas, bandas transportadoras, elevadores, maquinaria hidráulica, etc.

En la Figura 1.23 pueden observarse varios tipos de interruptores mecánicos de posición (también conocidos como finales de carrera) con distintas formas de accionamiento que van de acuerdo al lugar que se deseen instalar en la máquina.

Figura 1.23. Interruptores de posición[1]

1.13 INTRODUCCIÓN AL SOFTWARE SITRAD[2]

El software de gerenciamiento a distancia Sitrad es un aplicativo desarrollado por la compañía Full Gauge. Este programa posibilita evaluar, configurar y almacenar

[1] Euromatel. (29 de octubre de 2013). *Finales de carrera de posición*.
[2] Full Gauge. (22 de septiembre de 2014). *Visión general sobre el Sitrad*.

continuamente los datos de temperatura provenientes del controlador, además permite modificar remotamente los parámetros con total precisión vía Internet, a través de un computador, tableta o teléfono celular.

Con este software es posible obtener gráficos e informes generados a partir del almacenamiento de datos, enviar mensajes de alerta, gerenciar los parámetros del instrumento de control desde cualquier lugar del mundo, entre otras acciones. Todo esto se realiza con total seguridad, ya que el Software utiliza el acceso cliente/servidor, un tipo de comunicación que permite el intercambio exclusivo de datos entre sus módulos de manera criptográfica. El Sitrad consta de los siguientes módulos:

- **Módulo Local:** Este módulo debe ser instalado en un computador cercano a los controladores mediante una interfaz de comunicación. Si se desea obtener una comunicación remota este computador debe estar conectado a internet.

- **Módulo Remoto:** Este módulo es casi idéntico al local, con la diferencia de que se instala en un computador alejado de los controladores con acceso a internet, permitiendo al usuario la visualización a distancia de todas las funciones e informaciones del Sitrad local.

- **Módulo Mobile**: Es una aplicación Java que permite el acceso al módulo local a través de un celular o tableta, posee las funcionalidades del módulo remoto pero de forma limitada.

- **Sitrad Viewer**: Funciona como una central de monitoreo a distancia, reuniendo diversas instalaciones en una sola pantalla, facilitando la administración simultánea de varios controladores. Se puede instalar en un

computador personal el cual hará la administración vía internet comunicándose con el módulo local.

En la Figura 1.24 se observan de manera esquemática los módulos que conforman el software Sitrad.

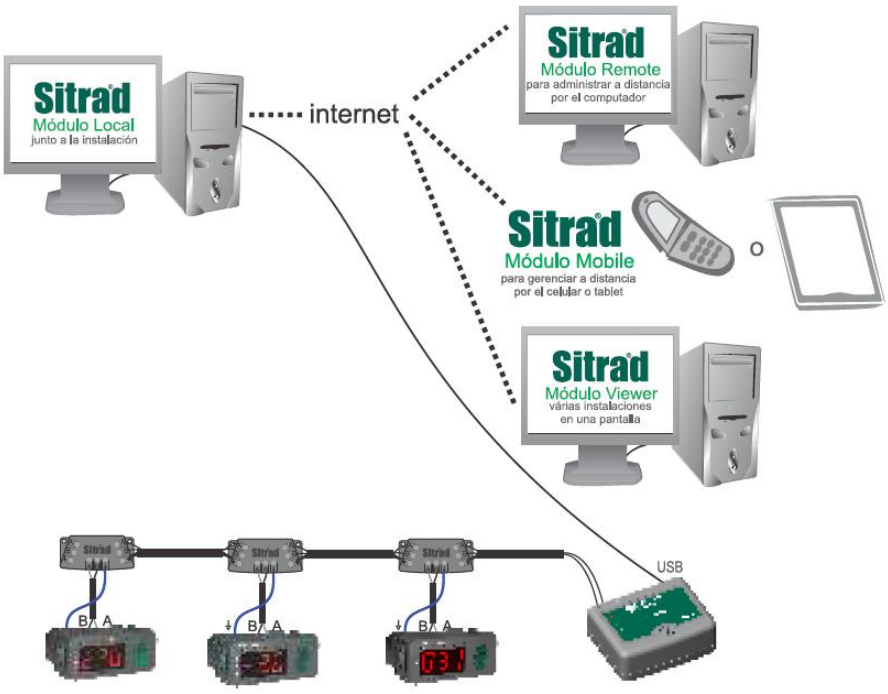


Figura 1.24. Módulos del software Sitrad

1.13.1 MÓDULOS LOCAL Y REMOTO

Como se mencionó anteriormente estos dos módulos se deben instalar en un computador y brindan funciones y prestaciones similares Entre las principales se pueden nombrar las siguientes:

- Configuración de la comunicación.
- Ventana principal y panel de informaciones

- Gerenciador de acceso remoto
- Gerenciador de eventos
- Alarmas Virtuales
- Control de servidores
- Control de usuarios
- Edición de Parámetros
- Editor de recetas
- Generador de informes

Para la instalación y ejecución de estos programas es necesario que el computador cumpla con los siguientes requisitos mínimos:

- Procesador Pentium 2 de 400 MHz o superior.
- Espacio libre en el disco duro de 30 MB.
- Memoria RAM de 128 MB (recomendable 512 MB)
- Sistema operativo Windows NT/XP/2000/2003/2008/Vista/7/8
- Un puerto USB
- Conexión a internet vía LAN o Wireless.
- Dirección IP de tipo pública.

1.13.2 MÓDULO MOBILE

El Sitrad Mobile es una aplicación que facilita el acceso a los instrumentos conectados al Módulo Local, esto se realiza a través de un teléfono inteligente o tableta. Mediante este aplicativo es posible acceder a uno o varios controladores de manera fácil y rápida, con la posibilidad de monitorear y alterar los parámetros de control del proceso.

El Módulo Mobile funciona de manera similar al Remote, puesto que accede al Módulo Local, haciendo posible la interacción con la instalación. Sin embargo, las

funcionalidades de este módulo son limitadas, debido a la pequeña pantalla y a la baja velocidad de transmisión de datos de un dispositivo móvil en comparación con un ordenador.

La interfaz con el usuario se adapta conforme la marca y modelo del celular o tableta; por ejemplo: el color de las pantallas, la posición de los botones y el texto de los botones pueden ser ajustados automáticamente conforme a los padrones definidos del dispositivo móvil. Entre las principales funciones del Módulo Mobile se señalan las siguientes:

- Selección de idioma
- Configuración de la comunicación
- Panel de informaciones
- Edición de parámetros
- Generador de gráficos

Los requisitos mínimos para el uso de la aplicación dependen del sistema operativo que se utilice, a continuación se mencionan los sistemas disponibles y sus requerimientos:

- IOS (Apple): 4 MB de espacio libre, versión 5.0 o superior
- Android (Google): 1 MB de espacio libre, versión 2.2 o superior
- Windows Phone: 1 MB de espacio libre, versión 7.5 o superior
- Teléfonos con Java: 80 Kb de espacio libre
- Todos los dispositivos deben tener acceso a internet.

CAPÍTULO II

2 REPARACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN

2.1 GENERALIDADES

Para el desarrollo de este capítulo ha sido importante tomar en cuenta el estado inicial del horno, ya que estuvo fuera de servicio por largo tiempo sin recibir un mantenimiento oportuno y adecuado. Por esta razón se realizó una inspección de sus partes con el fin de saber cuáles requieren reparación o reemplazo. A continuación se presentan varías fotografías que muestran el estado inicial del horno.

En la Figura 2.1 se observa la estructura del horno, de allí se halló que; tanto la cámara interna (construida en acero inoxidable) como la cámara externa (construida en acero común) están en buen estado, así como también las puertas y bisagras se encontraron en funcionamiento correcto. De igual manera el material de aislante térmico (lana de vidrio) está en buenas condiciones.

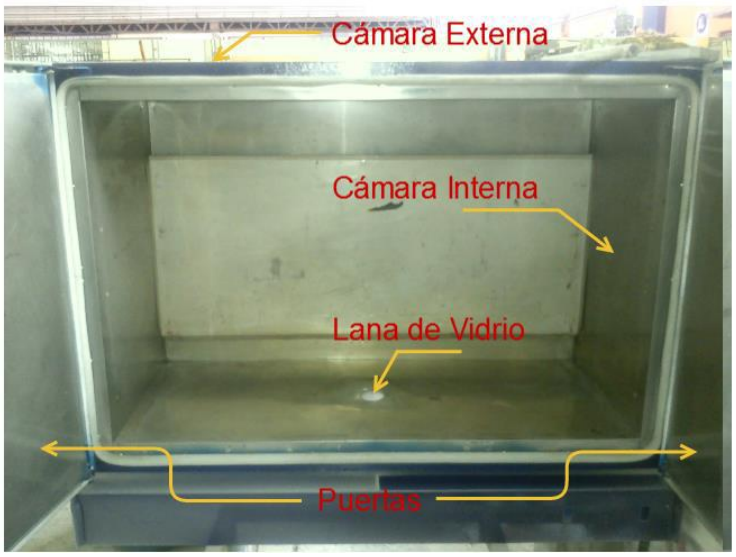


Figura 2.1. Estado inicial de la estructura del horno

Se tomaron mediciones de la estructura del horno las cuales se muestran en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Dimensiones de la estructura del horno

Dimensiones	**Cámara Interna (acero inoxidable)**	**Cámara Externa (acero común)**
Ancho	1.047 m	1.175 m
Alto	0.658 m	0.788 m
Profundidad	0.447m	0.587 m
Espesor	0,001m	0,001m
Espesor de la pared aislante	0,065m	

También se encontró el alambre de las resistencias de calentamiento roto y oxidado; de igual manera los aisladores cerámicos sobrecalentados, esto se muestra en la Figura 2.2.

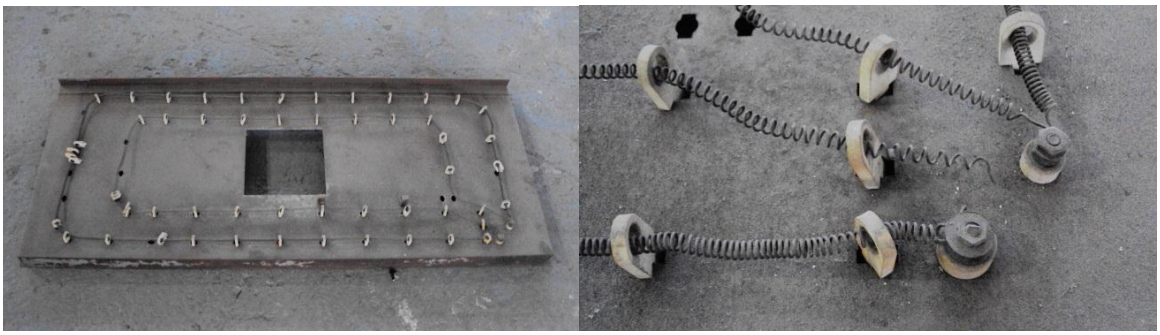


Figura 2.2. Estado inicial de las resistencias de calentamiento

Los elementos del circuito de control de temperatura se hallaron obsoletos y en mal estado, como se observa en la Figura 2.3, además sin las suficientes prestaciones para cumplir con el proceso de mantenimiento y resecado de electrodos.

Figura 2.3. Elementos del circuito de control de temperatura obsoletos

Los conexiones eléctricas se hallaron en muy mal estado, los conductores con el aislamiento sobrecalentado; y los terminales sulfatados y oxidados, esto se ve en la Figura 2.4.

Figura 2.4. Conexiones eléctricas del horno en mal estado

Luego de realizar esta inspección se concluyó que es necesario reemplazar todo el sistema eléctrico de calentamiento por uno que cumpla con las exigencias del proceso de conservación y recuperación de electrodos; para esto, como paso inicial se calculó el calor total suministrado por el horno, con el propósito de rediseñar e instalar correctamente las resistencias eléctricas de calentamiento y el circuito de control automático.

2.2 CÁLCULO DEL CALOR TOTAL SUMINISTRADO POR EL HORNO

Con el fin de lograr rapidez y practicidad en el análisis de transferencia de calor se consideran las cámaras interna (LA), externa (LC) y la pared de material aislante (LB) como estructuras compuestas, en las cuales se aproxima el flujo de calor (q_x) como unidireccional. Ver Figura 2.5

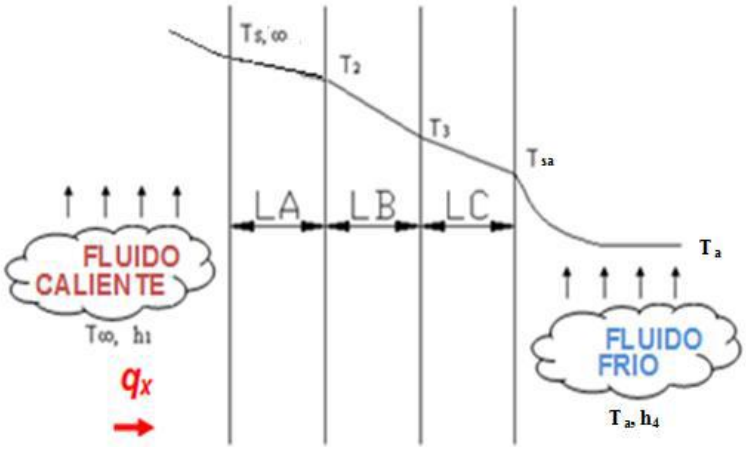


Figura 2.5. Pared de horno de tipo compuesta y circuito térmico equivalente.

Se realizará el cálculo del flujo de calor en las paredes del horno a través de resistencias térmicas; por lo tanto, se entenderá que el sistema está expuesto internamente a un valor de temperatura alto, constante y conocido (fluido de aire caliente); y del mismo modo externamente (fluido de aire frío). (Ver Figura 2.5).

La cantidad total de calor suministrado por el horno o sistema, será igual a la cantidad de calor requerido para calentar la carga más las pérdidas de calor, es decir:

$$Q_{SISTEMA} = Q_{PÉRDIDAS} + Q_{CARGA} \qquad \text{(Ecuación 2.1)}$$

2.2.1 CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CALOR

Para calcular las pérdidas de calor en las paredes del horno se ha considerado plantear el circuito térmico equivalente de la Figura 2.6, y las siguientes ecuaciones:

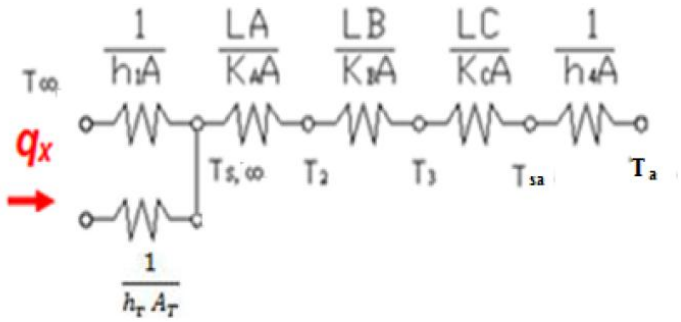


Figura 2.6. Circuito térmico equivalente para una pared compuesta en serie

$$q_X = \frac{T_\infty - T_a}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5} \quad \text{(Ecuación 2.2)}$$

$$R_1 = \left(\frac{1}{\frac{1}{h_1 . A_0}} + \frac{1}{\frac{1}{h_r . A_0}} \right)^{-1} \quad \text{(Ecuación 2.3)}$$

$$R_2 = \frac{LA}{k_A . A_1} \quad \text{(Ecuación 2.4)}$$

$$R_3 = \frac{LB}{k_B . A_2} \quad \text{(Ecuación 2.5)}$$

$$R_4 = \frac{LC}{k_C . A_3} \quad \text{(Ecuación 2.6)}$$

$$R_5 = \frac{1}{h_4 . A_3} \quad \text{(Ecuación 2.7)}$$

Donde:

q_x : pérdidas de calor en las paredes del horno. (W)

T_∞: temperatura del interior del horno. (K)

T_a: temperatura del exterior o ambiental. (K).

R_1: resistencia térmica entre el fluido caliente y las paredes de la cámara interna. (°K/m)

R_2: resistencia térmica del acero inoxidable. (°K/m)

R_3: resistencia térmica de la lana de vidrio. (°K/m)

R_4: resistencia térmica del acero común. (°K/m)

R_5: resistencia térmica entre el fluido frío y las paredes de la cámara externa. (°K/m).

A_0: área de la cámara interna. (m^2)

A_1: área de la cámara interna añadiendo su espesor. (m^2).

A_2: área de la cámara interna añadiendo su espesor y el espesor de la lana de vidrio. (m^2).

A_3: área de la cámara interna añadiendo su espesor, el espesor de la lana de vidrio y el espesor de la cámara externa. (m^2).

h_1: coeficiente de convección de la cámara interna. ($W/m^2.K$).

h_r: coeficiente de radiación de la cámara interna. ($W/m^2.K$).

LA: espesor de la cámara interna. (m)

k_A: conductividad térmica del material de la cámara interna. (W/m.K).

LB: espesor de la pared aislante. (m).

k_B: conductividad térmica del material de la pared aislante. (W/m.K).

LC: espesor de la cámara externa. (m).

k_C: conductividad térmica del material de la cámara externa. (W/m.K).

h_4: coeficiente de convección de la cámara externa. (W/m^2.K).

2.2.1.1 Cálculo de los coeficientes de convección y radiación

Las ecuaciones generales que se utilizarán en este cálculo son:

$$h = \frac{N_u.k}{L} \quad \text{(Ecuación 2.8)}$$

$$G_r = \frac{g\beta(T_S - T_\infty)L^3}{\nu\alpha} \quad \text{(Ecuación 2.9)}$$

$$R_a = G_r.P_r \quad \text{(Ecuación 2.10)}$$

Para superficie vertical:

$$L = altura\ de\ la\ superficie$$

$$N_u = 0.68 + \frac{0.670R_a^{1/4}}{\left[1+\left(\frac{0.492}{P_r}\right)^{9/16}\right]^{4/9}} \quad \text{(Se aplica si } R_a \leq 10^9\text{)} \quad \text{(Ecuación 2.11)}$$

Para superficie horizontal:

$$L = \frac{A}{P} \quad \text{(Ecuación 2.12)}$$

Superficie superior de placa caliente:

$N_u = 0.54.{R_a}^{1/4}$ (Se aplica solo si $10^4 \leq R_a \leq 10^7$) (Ecuación 2.13)

$N_u = 0.15.{R_a}^{1/3}$ (Se aplica solo si $10^7 \leq R_a \leq 10^{11}$) (Ecuación 2.14)

Coeficiente de radiación:

$h_r = \varepsilon\sigma(T_S - T_\infty)(T_S^2 - T_\infty^2)$ (Ecuación 2.15)

Dónde:

h: coeficiente de transferencia de calor por convección ($W/m^2.K$).

A: área de la superficie (m^2).

T_s: temperatura de la superficie (K).

T_∞: temperatura ambiental (K).

N_u: número de Nusselt (adimensional).

k: conductividad térmica (W/m.K).

L: longitud característica de la superficie (m).

R_a: número de Rayleigh (adimensional).

G_r: número de Grashof (adimensional).

g: gravedad ($9.8\ m/s^2$).

β: coeficiente de expansión térmica volumétrica ($1/T_f$) K^{-1}.

T_f: temperatura de película (K).

υ: difusividad cinemática (m^2/s).

α: difusividad térmica (m^2/s).

P_r: número de Prandtl (adimensional).

P: perímetro de la superficie (m).

h_r: coeficiente de radiación. ($W/m^2.K$).

ε: emisividad (adimensional)

σ: constante de Stefan-Boltzmann. ($5.67x10^{-8}$ $W/m^2.K^4$)

2.2.1.1.1 Cálculo del coeficiente de convección externo para la transferencia de calor por convección libre o natural.

En este cálculo intervienen algunas propiedades dinámicas y parámetros adimensionales del aire que dependen de la temperatura; para esto se tomará un valor medio entre la temperatura de la superficie de la paredes exteriores del horno (T_S) (valor asumido) y la temperatura media anual del ambiente en quito en el 2013[1] (T_∞), a esta temperatura también se la llama temperatura de película (T_f).

T_S= 313.15 K (40°C)

T_∞= 288.25K (15.1°C)

$$T_f = \frac{313.15 + 288.25}{2}$$

$$T_f = 300.7K$$

[1] Suárez, V. D. (2013). *Informe de la calidad del aire.* Quito: Secretaría del ambiente.

Las propiedades termo físicas del aire a presión atmosférica y 300.7 K se han obtenido de la tabla del ANEXO 4[1].

- Densidad: ρ= 1.1614 Kg/m^3
- Calor Específico: C_p= 1.007 KJ/Kg.K
- Viscosidad dinámica: μ= 184.6x10^{-7} N.s/m^2
- Difusividad cinemática: υ= 15.89x10^{-6} m^2/s
- Conductividad Térmica: k= 26.3x10^{-3} W/m.K
- Difusividad Térmica: α= 22.5x10^{-6} m^2/s
- Número Prandtl: Pr= 0.707 (adimensional).
- Coeficiente de dilatación del aire: β= 1/300.7 (K^{-1}).

Se calculará la pérdida de calor por convección para la superficie vertical de la cámara externa del horno, reemplazando los datos en las ecuaciones 2.9, 2.10, 2.11, 2.8.

$$G_r = \frac{9.8\frac{m}{s^2}.\frac{1}{300.7\ K}.(313.15-288.25)K(0.788m)^3}{\left(15.89x10^{-6}\frac{m^2}{s}\right)\left(22.5x10^{-6}\frac{m^2}{s}\right)}$$

$$G_r = 1.11x10^9$$

$$R_a = (1.11x10^9)(0.707)$$

$$R_a = 0.785x10^9$$

[1] Incropera, F. P., & Dewitt, D. P. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor.*

$$N_u = 0.68 + \frac{0.670(0.785x10^9)^{1/4}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{0.707}\right)^{9/16}\right]^{4/9}}$$

$$N_u = 0.68 + \frac{112.155}{1.3035}$$

$$N_u = 86.72$$

$$h_4 = \frac{(86.72)\left(26.3x10^{-3}\frac{w}{m.K}\right)}{0.788\,m}$$

$$h_4 = 2.89\frac{W}{m^2.K}$$

2.2.1.1.2 Cálculo del coeficiente de convección interno para la transferencia de calor por convección libre o natural.

El proceso de convección interno del horno se producirá desde el piso hacia las paredes laterales y el techo, puesto que en la parte inferior es donde irán colocadas las resistencias eléctricas. Por lo tanto se considera al piso como una superficie superior de placa caliente o superficie inferior de placa fría.

La temperatura inicial del proceso será la ambiental de 15.1°C y al finalizar será de 300°C, por tanto la temperatura de película será:

T_S= 573.15 K (300°C)

T_∞= 288.25 K (15.1°C)

$$T_f = \frac{573.15 + 288.25}{2}$$

$$T_f = 430.7K$$

Las propiedades termo físicas del aire a presión atmosférica y 430.7 K, se han interpolado de la tabla del ANEXO 4[1]

- Densidad: ρ= 0.8115 Kg/m^3
- Calor Específico: C_p= 1.018KJ/Kg.K
- Viscosidad dinámica: μ= 242.75x10^{-7} N.s/m^2
- Difusividad cinemática: υ= 30.08x10^{-6} m^2/s
- Conductividad Térmica: k= 36.95x10^{-3} W/m.K
- Difusividad Térmica: α= 43.76x10^{-6} m^2/s
- Número Prandtl: Pr= 0.6875 (adimensional).
- Coeficiente de dilatación del aire: β= 1/430.7 (K^{-1})

Se calculará el coeficiente de convección para la superficie horizontal superior de la cámara interna del horno, reemplazando los datos en las ecuaciones 2.12, 2.9, 2.10, 2.13, 2.8.

$$L = \frac{(1.047x0.447)m^2}{2(1.047 + 0.447)m}$$

$$L = 0.157m$$

$$G_r = \frac{9.8\frac{m}{s^2}.\frac{1}{430.7K}.(573.15 - 288.25)K(0.157m)^3}{\left(30.08x10^{-6}\frac{m^2}{s}\right)\left(43.76x10^{-6}\frac{m^2}{s}\right)}$$

$$G_r = 19.058x10^6$$

[1] Incropera, F. P., & Dewitt, D. P. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor.*

$$R_a = (19.058x10^6)(0.6875)$$

$$R_a = 13.1x10^6$$

$$N_u = 0.54(13.1x10^6)^{1/4}$$

$$N_u = 32.5$$

$$h_1 = \frac{(32.5)\left(36.95x10^{-3}\frac{w}{m.K}\right)}{0.157\ m}$$

$$h_1 = 7.64\frac{W}{m^2.K}$$

2.2.1.1.3 Cálculo del coeficiente de radiación

En este cálculo se tomarán en cuenta las mismas consideraciones de cálculo utilizados para el coeficiente de convección interno, debido a que la radiación se producirá desde el piso hacia las paredes laterales y el techo del horno.

Puesto que la superficie de la cámara interna es de acero inoxidable se ha interpolado el valor de emisividad a 430.7 K del ANEXO 5, el cual es 0.227[1]; aplicando la ecuación 2.15 se tiene:

$$h_r = (0.227)\left(5.67\text{x}10^{-8}\frac{W}{m^2K^4}\right)(573.15\ K - 288.25K)((573.15\ K)^2 - (288.25\ K)^2)$$

$$h_r = 0.9\frac{W}{m^2K}$$

[1] Incropera, F. P., & Dewitt, D. P. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor.*

2.2.1.2 Cálculo de áreas de transferencia de calor

En la Figura 2.7 y la Figura 2.8 se observan las dimensiones tanto frontal como lateral de las cámaras considerando sus espesores. Esta referencia se utiliza para plantear las siguientes ecuaciones de áreas de transferencia de calor:

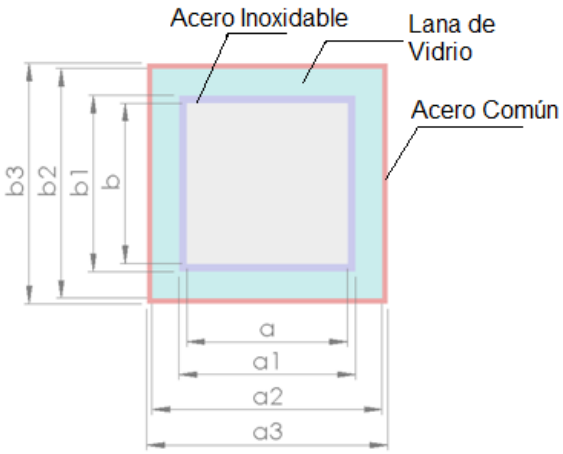


Figura 2.7. Vista frontal de las cámaras de calentamiento

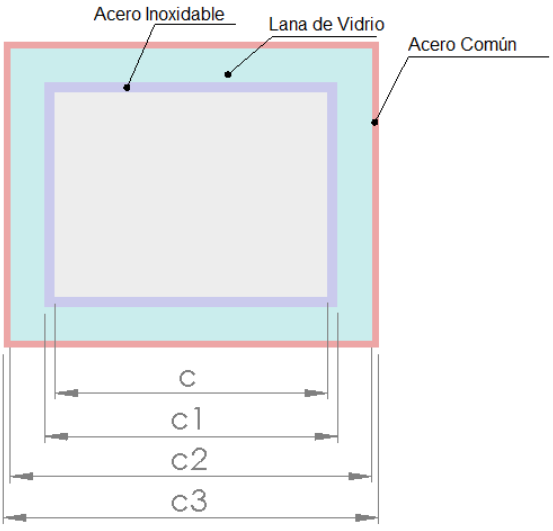


Figura 2.8. Vista lateral de las cámaras de calentamiento

$$A_0 = 2\big((a.b) + (b.c) + (a.c)\big) \quad \text{(Ecuación 2.16)}$$

$$A_1 = 2\big((a1.b1) + (b1.c1) + (a1.c1)\big) \quad \text{(Ecuación 2.17)}$$

$$A_2 = 2\big((a2.b2) + (b2.c2) + (a2.c2)\big) \quad \text{(Ecuación 2.18)}$$

$$A_3 = 2\big((a3.b3) + (b3.c3) + (a3.c3)\big) \quad \text{(Ecuación 2.19)}$$

Reemplazando los datos de la Tabla 2.1 en las ecuaciones anteriores se tiene:

$$A_0 = 2\big((1.047x0.658) + (0.658x0.447) + (1.047x0.447)\big)m^2$$

$$A_0 = 2.9m^2$$

$$A_1 = 2\big((1.049x0.660) + (0.660x0.449) + (1.049x0.449)\big)m^2$$

$$A_1 = 2.92m^2$$

$$A_2 = 2\big((1.179x0.79) + (0.79x0.579) + (1.179x0.579)\big)m^2$$

$$A_2 = 4.14m^2$$

$$A_3 = 2\big((1.181x0.81) + (0.81x0.581) + (1.181x0.581)\big)m^2$$

$$A_3 = 4.23m^2$$

Las conductividades térmicas de los materiales de la cámara se han interpolado a Tf = 430.7 K, con valores de la tabla del ANEXO 6[1]

[1] Incropera, F. P., & Dewitt, D. P. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor.*

- Cámara interna (acero inoxidable): k_A= 17.71 (W/m.K)
- Lana de Vidrio: k_B= 0.043 (W/m.K) (tomado de la Tabla 1.8)
- Cámara externa (acero común): k_C= 55.36 (W/m.K)

Ahora se reemplazarán los valores obtenidos en las ecuaciones 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7 para calcular las resistencias térmicas:

$$R_1 = \left(\frac{1}{\frac{1}{7.64 \frac{W}{m^2 K} x 2.9 m^2}} + \frac{1}{\frac{1}{0.9 \frac{W}{m^2 K} x 2.9 m^2}} \right)^{-1}$$

$$R_1 = 0.040 \frac{K}{W}$$

$$R_2 = \frac{0.001m}{17.71 \frac{W}{m.K} x 2.92 m^2}$$

$$R_2 = 1.93 x 10^{-5} \frac{K}{W}$$

$$R_3 = \frac{0.065m}{0.043 \frac{W}{m.K} x 4.14 m^2}$$

$$R_3 = 0.37 \frac{K}{W}$$

$$R_4 = \frac{0.001m}{55.36 \frac{W}{m.K} x 4.23 m^2}$$

$$R_4 = 4.27x10^{-6}\frac{K}{W}$$

$$R_5 = \frac{1}{2.89\frac{W}{m^2K}.4.23m^2}$$

$$R_5 = 0.082\frac{K}{W}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 2.2, la pérdida de calor del horno será:

$$q_X = \frac{T_\infty - T_a}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5}$$

$$q_X = \frac{573.15K - 288.25K}{(0.040 + 1.93x10^{-5} + 0.37 + 4.27x10^{-6} + 0.082)\frac{K}{W}}$$

$$q_X = 579.03W \sim 0.579KW$$

$$\boldsymbol{Q_{PÉRDIDAS} = 0.579\ KW}$$

2.2.2 CÁLCULO DEL CALOR REQUERIDO PARA CALENTAR LA CARGA

Para calcular la cantidad de calor necesaria para calentar la carga se considerará:

- El calor que absorben los electrodos. (Q_E)
- El calor para calentar el estante que contienen los electrodos. (Q_{ES}).
- El calor necesario para calentar el aire contenido en la cámara interna. (Q_A)

- El calor de evaporación del agua, al considerar que en el proceso de resecado, los electrodos se encuentran húmedos. (Q_{EV})

Por lo tanto:

$$Q_{CARGA} = Q_E + Q_{ES} + Q_A + Q_{EV} \quad \text{(Ecuación 2.20)}$$

2.2.2.1 Calor que absorben los electrodos

$$Q_E = m_E . C_p . \Delta T \quad \text{(Ecuación 2.21)}$$

Donde:

Q_E: calor absorbido por los electrodos (Kcal)

m_E: masa del electrodo (Kg)

C_{pE}: calor específico del electrodo (Kcal/Kg.K)

ΔT: diferencia de temperaturas (K)

Para realizar este cálculo se ha seleccionado el electrodo de revestimiento básico E-7018 debido a que es el más utilizado en el laboratorio de soldadura; y también es altamente exigente en cuanto al contenido mínimo de humedad requerido para una soldadura técnicamente aceptable. Además se hará el cálculo considerando una carga máxima de 50 Kg de electrodos.

Se han obtenido los siguientes datos mediante el pesaje de un electrodo E7018 de diámetro 3.2 mm nuevo recién sacado del empaque.

- Peso total del electrodo: 0.0357 Kg.
- Peso del núcleo: 0.02175 Kg.
- Peso del revestimiento: 0.01396 Kg.
- En un 1Kg hay 28 electrodos (ver ANEXO 3)

En la Tabla 2.2 se muestran los resultados de los cálculos necesarios para obtener la cantidad de calor que absorbe un electrodo E7018 de diámetro 3.2 mm; del ANEXO 2 se han seleccionado los elementos que se encuentran en mayor porcentaje de peso dentro de la composición del revestimiento y del núcleo de este electrodo. De cada rango de porcentaje de peso se ha elegido un valor arbitrario que represente la cantidad de material escogido del revestimiento, en el caso del núcleo se ha seleccionado el 100% de composición de hierro.

Tabla 2.2. Resultados del cálculo del calor absorbido a 573.15 K por un electrodo E7018 de diámetro 3.2 mm.

Electrodo E7018	**Elemento o Compuesto**	**Rango de Peso (%)**	**Porcentaje de peso elegido**	**Peso Equivalente (Kg)**	**Calor específico (Kcal/Kg.K) a Tf= 430.7 K**	**Calor absorbido (Kcal)**
Revestimiento	Piedra caliza o carbonato de calcio ($CaCO_3$)	20−30	20	0,00279	0,23	0,1828
	Fluoruros Inorgánicos (como F)	10−30	15	0,00209	0,1824	0,1086
	Polvo de Hierro (Fe)	10−35	20	0,00279	0,1232	0,0979
	Manganeso (Mn)	<15	9	0,001256	0,1271	0,0454
	Rutilo o Dióxido de Titanio (TiO_2)	<10	6	0,000837	0,1857	0,0442
	Cuarzo o Sílice (SiO_2)	5−60	30	0,004188	0,2219	0,2647
Núcleo	Acero (Fe)	98−99	100	0,02175	0,1232	0,7634
					Suma Total	**1,507**

A continuación se desarrollará el cálculo demostrativo para obtener la cantidad de calor absorbido por el primer compuesto de la Tabla 2.2 el cual es piedra caliza o carbonato de calcio ($CaCO_3$):

$$Peso\ Equivalente = \frac{20}{100} x 0.01396\ Kg$$

$$Peso\ Equivalente = 0.00279 Kg$$

Temperatura de película (Tf), la temperatura inicial de los electrodos se ha considerado en 288.25 K (15.1°C) y la final en 573.15 K (300°C).

$$T_f = \frac{573.15K + 288.25K}{2}$$

$$T_f = 430.7K$$

Para el cálculo de los calores específicos de cada elemento o compuesto se han utilizado las ecuaciones de la tabla ANEXO 7[1] del por ejemplo para el carbonato de calcio ($CaCO_3$) la ecuación es:

$$C_p = 19.68 + 0.01189xT - \frac{307600}{T^2} \qquad \text{(Ecuación 2.22)}$$

$$C_p = 19.68 + 0.01189x430.7 - \frac{307600}{(430.7)^2}$$

$$C_p = 23.1428 \frac{cal}{K.mol}$$

[1] Perry, R. H., & Green, D. W. (1999). *Perry`s Chemical Engineer`s Handbook.*

El peso molecular del carbonato de calcio es:

Ca= 40.08 g/mol, C= 12.011 g/mol, O_3= 3(16) g/mol

Total= 100.091 g/mol.

$$C_p = \frac{23.1428 \frac{cal}{K.mol}}{100.91 \frac{g}{mol}}$$

$$C_p = 0.23 \frac{cal}{g.K} = 0.23 \frac{Kcal}{Kg.K}$$

Reemplazando los valores obtenidos en la ecuación 2.21 el calor que absorbe el $CaCO_3$ es:

$$C = 0.00279Kgx0.23 \frac{Kcal}{Kg.K}(573.15K - 288.25K)$$

$$C = 0.1828Kcal$$

El mismo método de cálculo se ha utilizado para cada uno de los materiales del revestimiento y núcleo del electrodo.

Considerando que en un Kilogramo hay 28 electrodos 7018 de diámetro 3.2mm y que el calor absorbido por un electrodo es 1.507 Kcal (Ver Tabla 2.2), el calor que absorbe cada Kilogramo de electrodos será:

$$Q = 28x1.507Kcal$$

$$Q = 42.196Kcal$$

Por lo tanto el calor absorbido por 50 Kilogramos de electrodos será:

$$Q_E = 42.196Kcalx50$$

$$Q_E = 2019.8Kcal \sim 2.4536KW$$

2.2.2.2 Calor que absorbe el estante que contiene los electrodos

$$Q_{ES} = m_{Es}.C_{pES}.\Delta T \qquad \text{(Ecuación 2.23)}$$

Donde:

Q_{ES}: calor que absorbe el estante (Kcal).

m_{ES}: masa del estante (Kg).

C_{pES}: Calor específico del estante (Kcal/Kg.K). Tomado de la Tabla 2.2 (Fe).

ΔT: Diferencia de temperaturas (K).

$$Q_{ES} = 10\ Kgx0.1232\frac{Kcal}{Kg.K}(573.15K - 288.25K)$$

$$Q_{ES} = 351Kcal \sim 0.4082KW$$

2.2.2.3 Calor necesario para calentar el aire contenido en la cámara interna

Propiedades del aire a presión atmosférica a Tf = 430.7 K[1].

- Densidad: ρ= 0.8115 Kg/m^3
- Calor Específico: C_p= 1.018KJ/Kg.K

Aplicando las medidas de la cámara interna de la Tabla 2.1 el volumen es: 0.3079m^3.

$$Q_A = 0.8115\frac{Kg}{m^3}x0.3079m^3x1.018\frac{KJ}{Kg.K}(573.15K - 288.25K)$$

$$Q_A = 72.466KJ \sim 0.020\ KW$$

2.2.2.4 Calor de evaporación del agua presente en los electrodos

Para este cálculo se sumergió en agua un electrodo 7018 completo durante un tiempo estimado de 5 minutos; con el fin de simular una situación de extrema humedad, luego se dejó escurrir unos minutos más, para después proceder a pesarlo, obteniéndose un peso de 37.8 g. Por lo tanto:

37.8g - 35.7g = 2.1g. (Peso del agua por electrodo)

2.1g x 28 electrodos = 58.8g. (Peso del agua en 1 Kg. de electrodos)

58.8g x 50 Kg. de electrodos = 2940g. (Peso del agua en 50 Kg. de electrodos)

[1] Incropera, F. P., & Dewitt, D. P. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor.*

De modo que se desarrollará el cálculo del calor necesario para vaporizar 2.94 Kg de agua.

El calor total de evaporación viene dado por:

$$Q_{EV} = q_{sensible} + q_{latente} \quad \text{(Ecuación 2.24)}$$

Donde:

Q_{EV}: calor de evaporación del agua de los electrodos (KW)

$q_{sensible}$: es el calor necesario para llevar al agua al punto de ebullición (KJ)

$q_{latente}$: es el calor necesario para que el agua se convierta en vapor (KJ)

2.2.2.4.1 Calor sensible

$$q_{sen} = m_A . C_{pA} . (T_E - T_\infty) \quad \text{(Ecuación 2.25)}$$

Donde:

q_{sen}: calor sensible (KJ)

m_A: masa de agua (Kg)

C_{pA}: calor específico del agua (KJ/Kg.K)

T_E: temperatura de ebullición del agua en Quito (K)

T_∞: temperatura del ambiente en Quito (K).

Para este cálculo se ha consultado el valor de la presión atmosférica media del año 2013 para la ciudad de Quito, el cual se ha tomado del ANEXO 8[1]:

743 mb=0.743 bar

Para calcular la temperatura de ebullición del agua en Quito se aplicará la ecuación de Antoine[2]:

$$T_E = \frac{B}{A - \log P} - C \qquad \text{(Ecuación 2.26)}$$

Donde:

T_E: temperatura de ebullición del agua (°C)

A, B, C: constantes de cálculo para H_2O (adimensionales) obtenidas de la tabla del ANEXO 9[2].

P: presión atmosférica de Quito (bar)

$$T_E = \frac{1687.537}{5.11564 - \log 0.743} - 230.17$$

$$T_E = 91.6\ ℃$$

El calor específico del agua es:

C_{pA} = 4.1783 KJ/Kg.K (obtenido del ANEXO 10[3]) interpolando valores a la temperatura de película de:

[1] Suárez, V. D. (2013). *Informe de la calidad del aire.* Quito: Secretaría del ambiente.
[2] Poling, B. E., Prausnitz, J. M., & O Connel, J. P. (1976). *The Properties of Gases and Liquids.*
[3] Toro, J. F. (2005). *Colección de Tablas, Gráficas y Ecuaciones de Transmisión de Calor.*

$$T_f = \frac{91.6℃ + 15.1℃}{2} = 53.35℃$$

Reemplazando los datos obtenidos en la ecuación 2.25 se tiene:

$$q_{sen} = 2.94Kgx4.1783\,\frac{KJ}{Kg.K}(364.75K - 288.25K)$$

$$q_{sen} = 940.846\,KJ \sim 0.2614KW$$

2.2.2.4.2 Calor latente

$$q_{lat} = m_A.h_{fg}$$ (Ecuación 2.27)

Donde:

q_{lat}: calor latente (KJ)

m_A: masa del agua a vaporizar (Kg)

h_{fg}: entalpía de vaporización del agua (KJ/Kg)

El valor de la entalpía a 373.15 K (100 °C) es igual a 2257 KJ/Kg, extraído del ANEXO 11[1].

[1] Incropera, F. P., & Dewitt, D. P. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor.*

$$q_{lat} = 2.94Kgx2257\frac{KJ}{Kg}$$

$$q_{lat} = 6635.58\ KJ \sim 1.8432KW$$

Reemplazando los valores obtenidos de calor sensible y calor latente en la ecuación 2.24 se tiene:

$$Q_{EV} = (0.2614 + 1.8432)KW$$

$$Q_{EV} = 2.1046\ KW$$

Se reemplazarán los valores obtenidos en la ecuación 2.20 para calcular el calor total absorbido por la carga:

$$Q_{CARGA} = Q_E + Q_{ES} + Q_A + Q_{EV}$$

$$Q_{CARGA} = (2.4536 + 0.4082 + 0.020 + 2.1046)KW$$

$$\boldsymbol{Q_{CARGA} = 4.9864KW}$$

Para calcular el calor total suministrado por el sistema reemplazaremos los valores obtenidos en la ecuación 2.1

$$Q_{SISTEMA} = Q_{PÉRDIDAS} + Q_{CARGA}$$

$$Q_{SISTEMA} = (0.579 + 4.9864)KW$$

$$\boldsymbol{Q_{SISTEMA} = 5.5654\ KW}$$

2.3 DISEÑO E INSTALACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE CALENTAMIENTO

En este subcapítulo se detalla el diseño de los circuitos tanto de fuerza como de control del horno, el criterio de selección de los componentes de cada circuito y la instalación de los mismos. Además se describe el funcionamiento del sistema de control para la realización de los procesos de mantenimiento y resecado de electrodos.

2.3.1 CIRCUITO DE FUERZA

Puesto que en el laboratorio de soldadura se dispone de tomacorrientes trifásicos sin neutro con 220VAC por línea, se ha diseñado el circuito de fuerza de la Figura 2.9 en configuración trifásica, el cual consta de las siguientes partes:

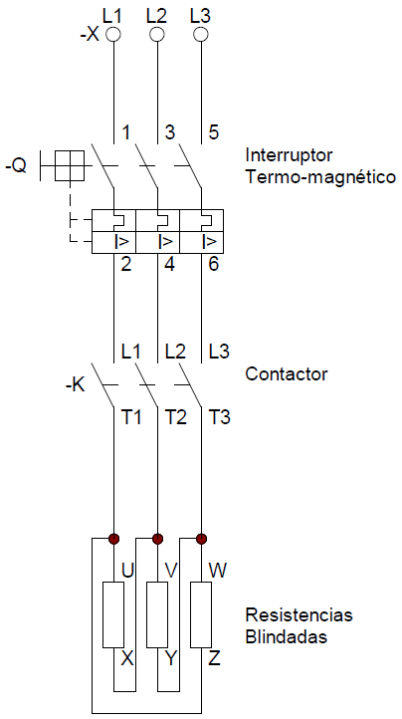


Figura 2.9. Circuito de fuerza del horno de electrodos

- Interruptor Termo-magnético (Q)
- Contactor trifásico (K)
- Resistencias blindadas
- Elementos de Conexión

Como se observa en el circuito de la Figura 2.9, el sistema de calentamiento consta de tres resistencias blindadas las cuales se han conectado en configuración delta, por tratarse de una carga equilibrada, además en esta conexión se consigue mayor disipación de calor, dado que cada resistencia recibe el total del voltaje de línea (220VAC).

2.3.1.1 Cálculo de las magnitudes eléctricas

Las principales ecuaciones para el circuito de la Figura 2.10 son:

$$V_L = V_f \qquad \text{(Ecuación 2.28)}$$

$$I_L = \sqrt{3}.I_f \qquad \text{(Ecuación 2.29)}$$

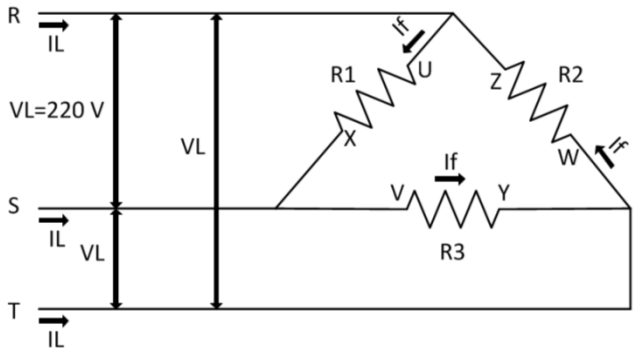


Figura 2.10. Conexión trifásica en delta para las resistencias de calentamiento del horno

Considerando el resultado de la cantidad de calor total absorbido por el sistema obtenido anteriormente, la potencia por cada fase del circuito será:

$$P_f = \frac{P_{3\emptyset}}{3}$$ (Ecuación 2.30)

$$P_f = \frac{5565.4W}{3}$$

$$P_f = 1855.13W$$

Este valor de potencia se ha utilizado como referencia para seleccionar cada una de las tres resistencias blindadas; las mismas que de acuerdo al apartado 2.3.1.2.1 son de 1900 Watts cada una. Aplicando la Ley de Ohm se tiene:

$$I_f = \frac{P_f}{V_f x \cos\emptyset}$$ ($\cos\emptyset = 1$; carga puramente resistiva) (Ecuación 2.31)

$$R_f = \frac{V_f}{I_f}$$ (Ecuación 2.32)

Donde:

I_f: Corriente que circula en cada fase del circuito trifásico (A)

P_f: Potencia por cada fase del circuito (Watts)

V_f: Voltaje por cada fase del circuito (V)

R_f: Resistencia eléctrica por cada fase (Ω)

Por tanto aplicando las ecuaciones anteriores se tiene:

$$I_f = \frac{1900W}{220\,V} \qquad R_f = \frac{220V}{8.64A} \qquad I_L = \sqrt{3}x8.64\,A$$

$$I_f = 8.64\,A \qquad R_f = 25.47\Omega \qquad I_L = 15\,A$$

2.3.1.2 Elementos del circuito de fuerza

2.3.1.2.1 Resistencias Blindadas o Tubulares

Las resistencias blindadas son los elementos eléctricos responsables de disipar calor por efecto Joule; y de este modo calentar el aire contenido en la cámara interna del horno por transferencia de calor en convección libre. Por lo tanto se han seleccionado tres resistencias eléctricas blindadas en forma de U con los terminales curvos a 90°, en la Figura 2.11 se observan la forma y cotas de una de las resistencias seleccionadas.

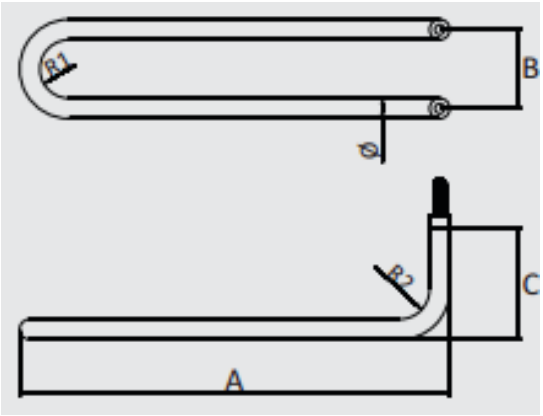


Figura 2.11. Resistencia calefactora tubular en forma de U con terminales curvos a 90°

Las resistencias se colocaron sobre la superficie inferior de la cámara interna del horno. Para distribuirlas uniformemente fue necesario considerar las dimensiones de esta superficie, las cuales se muestran en la Figura 2.12. (Valores tomados de la Tabla 2.1).

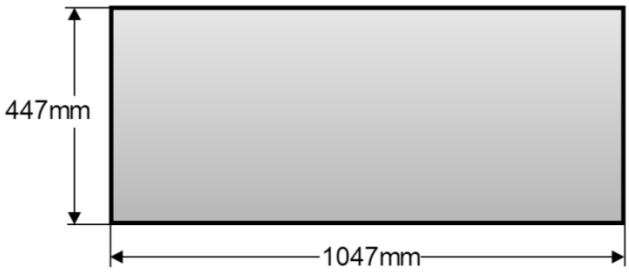


Figura 2.12. Dimensiones de la superficie inferior de la cámara interna del horno

Del ANEXO 12 se obtienen las especificaciones del fabricante para cada una de las resistencias tubulares:

- Tubo de acero inoxidable.
- ϕ=11mm (diámetro de la cubierta metálica).
- Longitud útil total de 1650mm, que para cada lado de la U sería:

$$A = \frac{1650mm}{2} = 825mm$$

- Potencia de 1900 W.
- Rango de voltaje de 220-380 V.
- Hilo de resistencia interno de níquel-cromo (Cantal).
- Aislamiento interno de óxido de magnesio.

Del ANEXO 13 se han elegido los valores que proporciona el fabricante para las cotas mostradas en la Figura 2.11, los cuales son:

Φ: diámetro de la cubierta metálica de la resistencia = 11mm

R1: radio de curvatura en (U) = 20mm. (Valor asumido)

R2: radio de la curvatura a 90° = 20mm

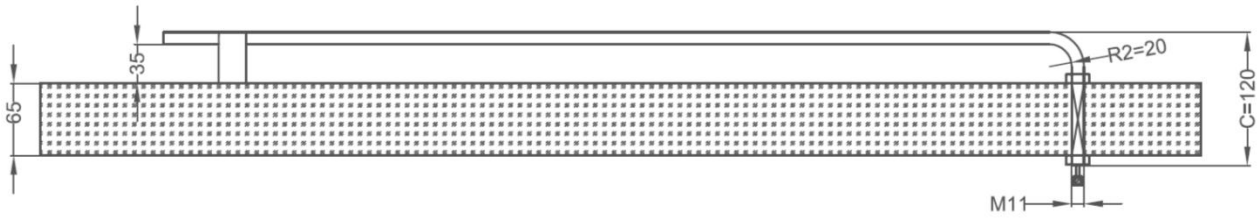
A: longitud calefactora de la resistencia blindada (cada lado de la U) = 825mm

B: separación de la (U) = 51mm (Valor asumido)

C: longitud de la zona fría o neutra = 120mm, (roscada 95mm de largo con M11)

Considerando las dimensiones de la lista anterior se realizó un diseño previo de la ubicación de las tres resistencias blindadas dentro del horno, tal como muestran los planos de la Figura 2.13.

(a) Vista Superior



(b) Vista frontal en corte

Figura 2.13. Esquema de ubicación de las tres resistencias blindadas sobre la superficie inferior de la cámara interna del horno.

Con la ayuda de estos esquemas se instalaron las resistencias dentro del horno del modo que se muestra en la Figura 2.14, además como elementos de sujeción se utilizaron 4 tuercas M11 en la zona fría y un soporte metálico en el extremo opuesto para cada resistencia. (Ver Figura 2.13 b).

Figura 2.14. Resistencias blindadas instaladas dentro del horno

2.3.1.2.2 Contactor

Se utilizó el contactor como actuador o elemento final de control, puesto que tiene la capacidad de encender o apagar directamente las resistencias blindadas

mediante la excitación de un electroimán, el mismo que pertenece a un circuito eléctrico independiente al circuito de potencia.

Por tanto se ha elegido un contactor electromagnético de propósito definido, para esto se ha utilizado como referencia los parámetros eléctricos de voltaje y corriente de línea calculados en el apartado 2.3.1.1. Se escogió un contactor de la marca Quality modelo QCC-303 como se observa en la Figura 2.15, el cual posee las siguientes características principales:

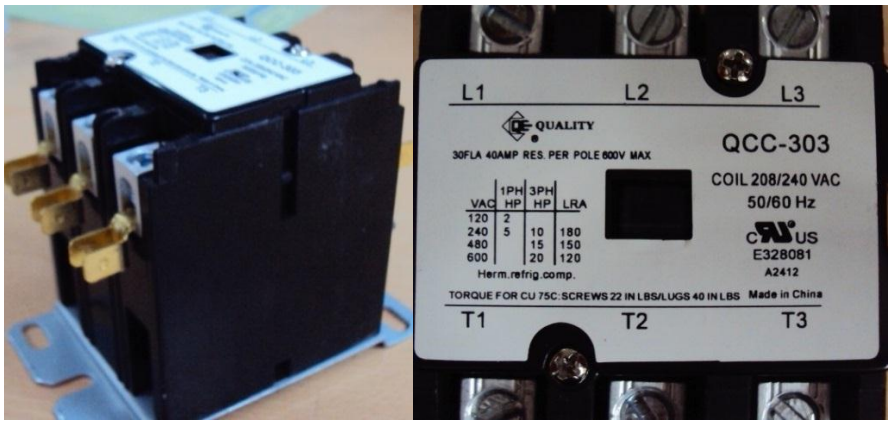


Figura 2.15. Contactor electromagnético de propósito definido Quality QCC-303.

- Tipo de corriente: corriente alterna (AC)
- Número de polos: 3 (trifásico)
- Voltaje máximo de línea: 600 VAC.
- Corriente nominal a plena carga: 30 A.
- Amperios resistivos máximos por polo: 40 A.
- Frecuencia: 50/60 Hz.
- Voltaje de la bobina: 208-240 VAC, 50/60 Hz.
- Potencia trifásica a 240 VAC: 10HP.
- No posee contactos auxiliares.
- Base de acero galvanizado para montaje en panel.
- Vida mecánica de 1000000 de operaciones.
- Categoría IEC 60947-4.1: AC-1 (para cargas resistivas).

2.3.1.2.3 Interruptor Termo-magnético

Este elemento es el encargado de desconectar las resistencias de manera automática cuando se presente una sobrecarga o cortocircuito en el sistema. Para elegir este dispositivo de protección se ha tomado en cuenta la corriente de línea del circuito trifásico calculada en el apartado 2.3.1.1, la cual es de 15 Amperios. Sin embargo, como medida de seguridad se ha considerado un incremento paulatino de la carga del circuito por deterioro del cable y de las conexiones eléctricas, adoptándose el valor de corriente en 20 Amperios.

Por lo tanto se ha escogido un interruptor termo-magnético marca General Electric modelo DG63 B20, que puede observarse en la Figura 2.16.

Figura 2.16. Interruptor termo-magnético General Electric DG63 B20

Del ANEXO 14 se han recogido las principales características técnicas de este dispositivo:

- Corriente nominal In: 20 A.
- Voltaje nominal Un: 240/415 VAC.
- Capacidad de cortocircuito Icc: 6kA.
- Tensión mínima de empleo U_{Bmin}: 12V

- Número de polos: 3
- Curva de disparo termo-magnético (según IEC 60898-1): B (carga resistiva).
- Número de maniobras: eléctricas 10000, mecánicas 20000
- Tropicalización (según IEC 60068-2): 95% a 55°C.
- Montaje en riel DIN.

2.3.1.2.4 Elementos de conexión

Para la conexión eléctrica más cercana a las resistencias se utilizó cable de cobre flexible aislado con caucho de silicona y trenza de vidrio siliconado, con el fin de conseguir una conexión eléctrica segura y evitar la transferencia de calor por conducción desde los terminales de las resistencias blindadas a todo el circuito de fuerza. Además se han utilizado terminales de cromo-níquel tipo “ojo”, y una bornera cerámica de tres puntos para cable 12 AWG, como se observa en la Figura 2.17.

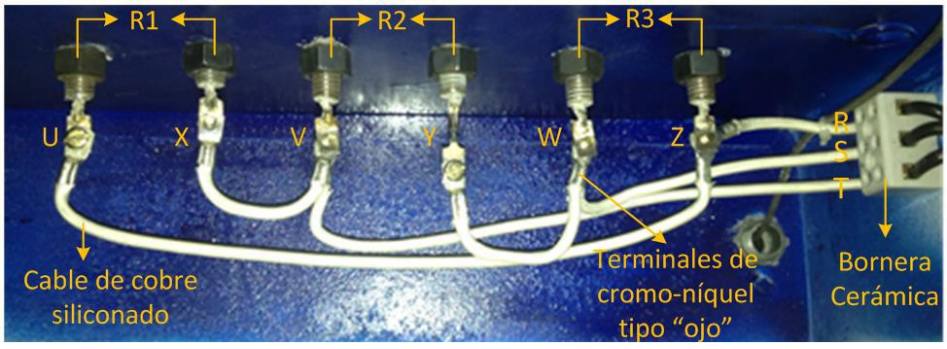


Figura 2.17. Conexión eléctrica de las resistencias de calentamiento

El aislamiento de este conductor posee las siguientes características:

- Buena resistencia mecánica.

- Tensión de servicio de máximo 500 V.
- Temperatura de trabajo de -60 a +280°C.

La sección del conductor es de 4 mm^2 ≈ 12 AWG, con una intensidad máxima admitida de 18 A, este valor se ha obtenido de la tabla del ANEXO 15 facilitada por el fabricante. Las demás conexiones eléctricas del circuito de fuerza se realizaron con cable de cobre flexible de las siguientes características: (obtenidas del ANEXO 16)

- Calibre: 12 AWG (3.31 mm^2).
- Capacidad de corriente: 30 Amperios
- Aislamiento: termoplástico PVC.
- Temperatura máxima del aislamiento: 105°C
- Tensión máxima de servicio: 600 V.

Para la alimentación principal de energía se utilizó un enchufe angular trifásico tipo “macho” de 3 polos, 30 amperios y 500 Voltios.

2.3.2 CIRCUITO DE CONTROL

2.3.2.1 Parámetros de diseño

Para diseñar el circuito de control del horno se han tomado en consideración los datos de temperatura y tiempo para el mantenimiento y recuperación de electrodos de soldadura que se muestran en la Tabla 1.5 y Tabla 1.6, facilitados por el fabricante de electrodos Indura:

- Temperatura de control del proceso de resecado de los electrodos: 250 °C
- Temperatura de control del proceso de mantenimiento de los electrodos: 30-140°C (sobre la temperatura ambiente).
- Tiempo de resecado de los electrodos: 120 min = 2 horas.

2.3.2.2 Elección del sistema de control

El sistema de control empleado es el de lazo cerrado, puesto que de este modo se tiene un control continuo sobre la temperatura interna del horno en función del valor de temperatura asignado al proceso, como se muestra en el esquema de la Figura 2.18. De esta manera, el horno es capaz de funcionar por sí solo de forma automática y cíclica, con muy poca intervención humana.

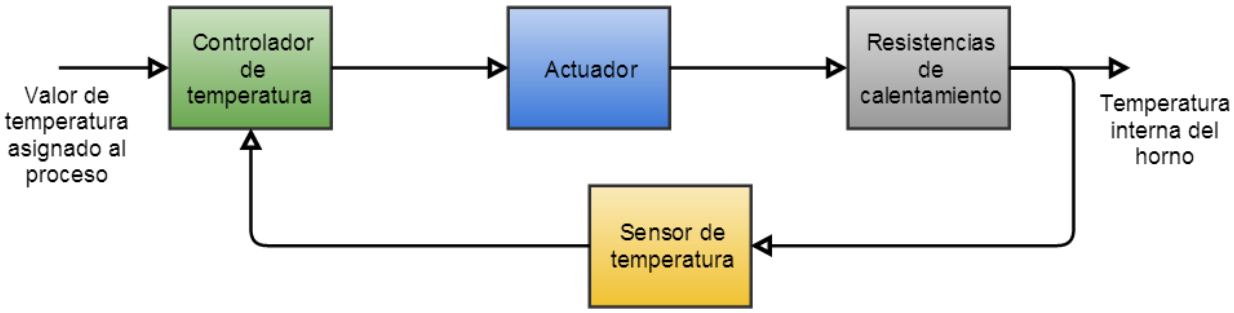


Figura 2.18. Esquema de control de temperatura en lazo cerrado

Adicionalmente se seleccionó el método de regulación de temperatura todo-nada (ON-OFF), puesto que en el proceso de recuperación y mantenimiento de electrodos el rango de control de temperatura es bastante amplio y por lo tanto no requiere de un método de mayor precisión.

2.3.2.3 Diseño del circuito eléctrico

El diseño del circuito eléctrico de fuerza y control se muestra en la Figura 2.19, para el diseño del circuito de control se utilizó el método de esquema eléctrico de contactos. El nivel de voltaje con el que funcionan los dispositivos de control es de 220 VAC.

A continuación se presenta una lista de los elementos utilizados en el circuito de control de la Figura 2.19:

- Fusibles (F1, F2).
- Paro de emergencia (S1).
- Interruptor general (S2).
- Sensor de Temperatura Pt-100.
- Controlador de Temperatura.
- Bobina del Contactor (K).
- Salidas del controlador de temperatura (OUT1, OUT2, OUT3).
- Selector de dos posiciones (S3).
- Luces piloto (H1, H2, H3).
- Relés electromagnéticos de mando (R1, R2, R3, R4, R5).
- Temporizador (RT).
- Micro interruptor de puerta (SP).
- Elementos de conexión.

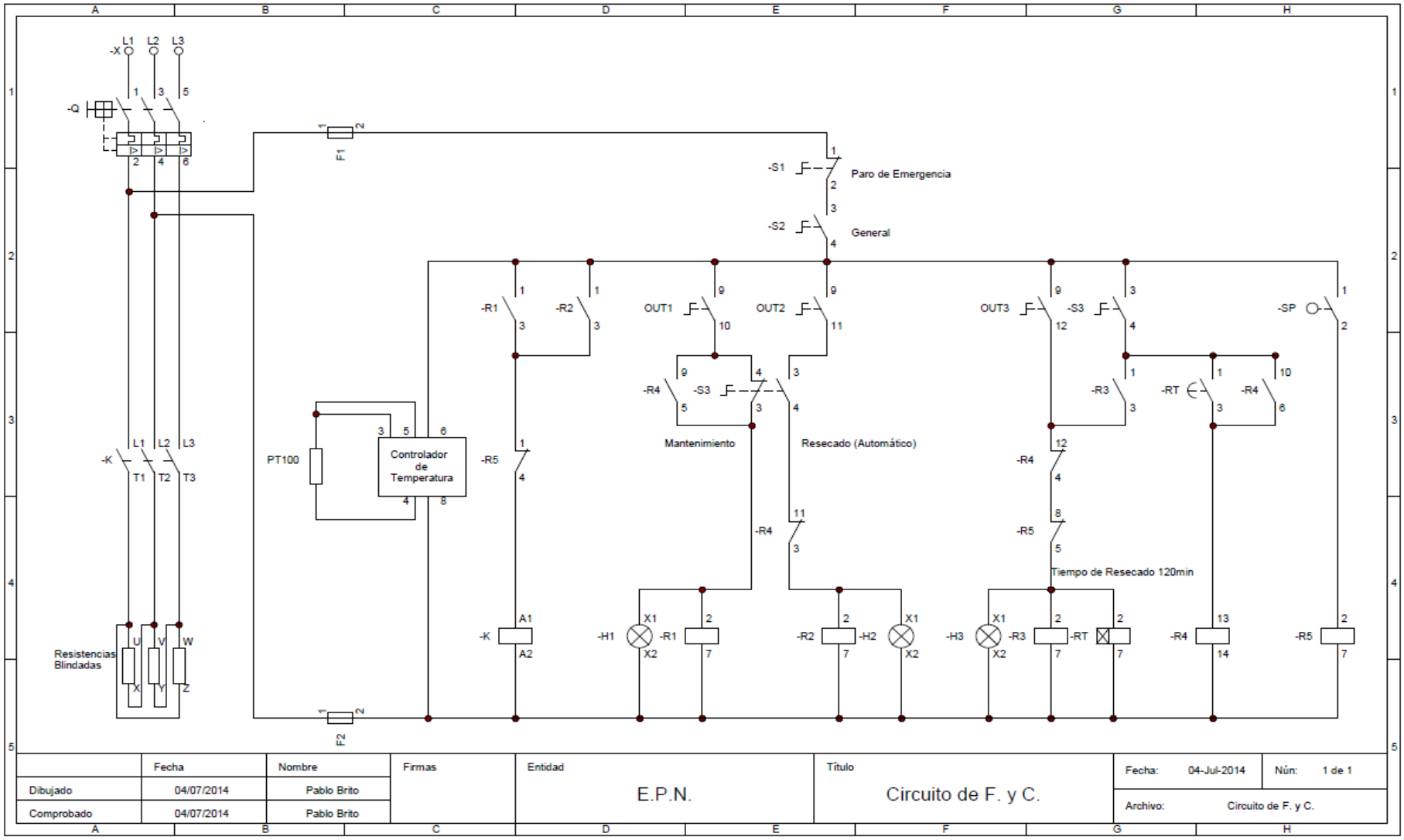


Figura 2.19. Circuito de fuerza y control del horno de mantenimiento y resecado de electrodos

2.3.2.4 Elementos del circuito de control

2.3.2.4.1 Controlador de temperatura

Este elemento es el encargado de mantener la temperatura lo más cerca posible al valor seleccionado para cada etapa del proceso (mantenimiento o resecado), esto lo realiza midiendo la temperatura dentro del horno por medio de un sensor y comparando este valor con el valor elegido, para luego abrir o cerrar un contacto de salida que conecta o desconecta de manera indirecta las resistencias blindadas; por lo tanto:

- Si el valor medido es menor al valor elegido, el contacto de salida se cierra y las resistencias se conectan, y
- Si el valor medido es mayor al valor elegido, el contacto de salida se abre y las resistencias se desconectan.

Se ha escogido un controlador digital de temperatura de tipo ON-OFF marca Full Gauge, modelo MT-543R*i plus,* como puede observarse en la Figura 2.20.

Figura 2.20. Controlador digital de temperatura MT-543R*i plus*

En el ANEXO 17 se han recogido las especificaciones técnicas más relevantes de este controlador:

- Alimentación: 115/230 Vac ±10% (50/60 Hz)
- Temperatura de control:
  - Con termocupla: -50 hasta 105 ºC (± 0.1 ºC)
  - Con Pt-100: -99 hasta 300 ºC (± 1 ºC)
- Posee tres contactos de salida independientes el uno del otro, que se pueden configurar para modo calefacción o refrigeración, y se puede asignar un set point distinto a cada uno.
- Dimensiones: 71 x 28 x 71 mm.
- Temperatura de operación: 0 hasta 50 ºC
- Humedad de operación: 10 hasta 90% HR (no condensante)
- Carga máxima: 5(3)A / 250 Vac 1/8HP por contacto de salida.
- Salida serial RS-485, para comunicación con el ordenador mediante el software Sitrad.

La instalación eléctrica de este instrumento se ha realizado tomando en cuenta el esquema de conexiones de la Figura 2.21

Figura 2.21. Esquema de conexiones del controlador de temperatura MT-543R*i plus.*

2.3.2.4.2 Sensor de temperatura

El sensor se encarga de medir la temperatura dentro del horno, para elegirlo se ha tomado en cuenta la compatibilidad con el controlador y el rango de temperatura a controlar del proceso. Por lo tanto se ha seleccionado un detector de temperatura resistivo (RTD) con hilo de platino (Pt-100) de marca Watlow estilo RB, como se observa en la Figura 2.22, este sensor posee un rango de detección de -50 a 260°C.

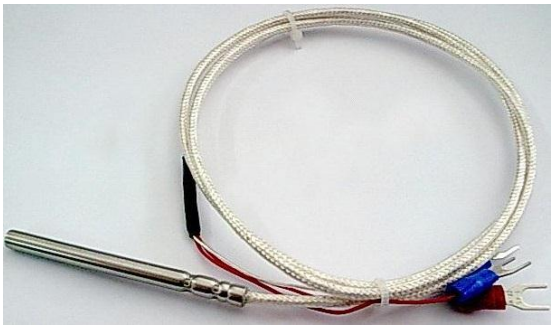


Figura 2.22. Sensor Pt-100 marca Watlow estilo RB

Del ANEXO 18 se ha obtenido el número de parte para este sensor, el cual es RBJR0TA040BA040; en este número se resumen las especificaciones técnicas, las cuales son:

RB: modelo o estilo del sensor.

J: diámetro de la vaina; 0.250“= ¼” y galga del cable conductor 24 AWG (ver Figura 2.23).

R: construcción del cable conductor; aislamiento de fibra de vidrio trenzado con armadura metálica flexible.

0: modo de sujeción; sin sujeción.

T: terminal del cable conductor; cable estándar

A: construcción de la vaina; acero inoxidable 316L.

04: longitud de la vaina; L=4” de longitud (ver Figura 2.23).

0: fracciones de la longitud de la vaina; ninguna fracción.

B: elemento sensor; de 100 Ω individual con tres cables conductores.

A: precisión inicial del elemento a 0°C; DIN Clase A (±0.06%).

04: longitud del cable conductor en pies; 4 pies =1.21m (ver Figura 2.23).

0: requerimientos especiales.

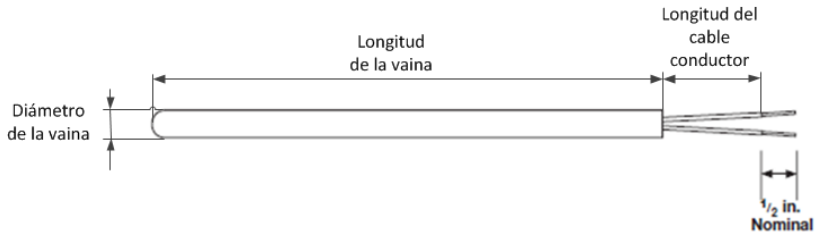


Figura 2.23. Cotas del sensor Pt-100 marca Watlow estilo RB

El sensor se instaló dentro del horno junto a las resistencias calefactoras con la ayuda de un soporte metálico, como se observa en la Figura 2.24. Se colocó a una separación mínima de 1 pulgada de las resistencias, con el fin de conseguir una medición correcta de la temperatura.

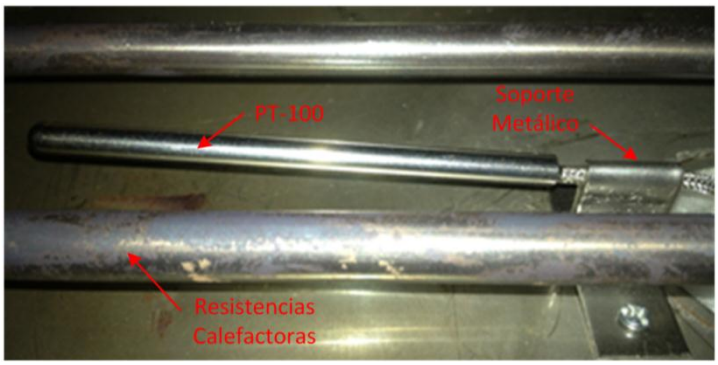


Figura 2.24. Instalación del sensor de temperatura PT-100

La conexión del cable conductor del sensor se realizó en los bornes 3, 4 y 5 del controlador de temperatura como se observa en el esquema de la Figura 2.25.

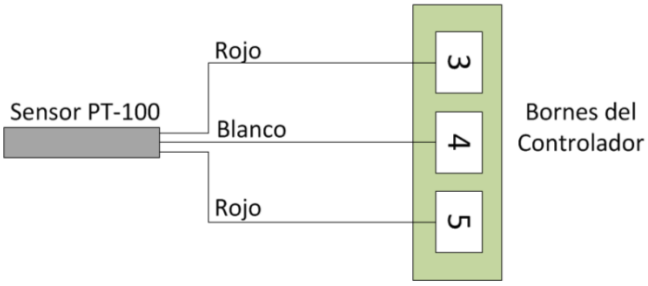


Figura 2.25. Esquema de conexión del sensor PT-100

2.3.2.4.3 Relés electromagnéticos de mando

Estos elementos se utilizan en el circuito de control como auxiliares de mando para cumplir con las condiciones de automatización del proceso, de tal modo que:

- R1 sirve para accionar la bobina del contactor en la etapa de mantenimiento, protegiéndola de fallas eléctricas.
- R2 sirve para accionar la bobina del contactor en la etapa del resecado, protegiéndola de fallas eléctricas.
- R3 sirve como elemento de memoria, permite que el temporizador (RT) permanezca encendido mientras transcurre el tiempo de resecado.
- R4 sirve como elemento de memoria, se encarga de cambiar automáticamente del proceso de resecado al de mantenimiento mediante la multiplicación de sus contactos.
- R5 sirve para apagar la bobina del contactor cuando las puertas del horno están abiertas, y además detiene el conteo de tiempo del proceso de resecado si se abren las puertas.

Se seleccionaron los relés en marca Camsco, y las especificaciones técnicas principales se han tomado del ANEXO 19:

Para los relés R1, R2, R3, R5:

- Modelo: MK2P-I
- Forma de los contactos: 2A2B, dos normalmente abiertos y dos normalmente cerrados (contactos conmutados).
- Capacidad de corriente de los contactos: 5A.
- Voltaje de la bobina: 220 VAC.
- Accesorio de montaje: TC-085A para riel DIN.

Para el relé R4:

- Modelo: MY-4
- Forma de los contactos: 4A4B, cuatro normalmente abiertos y cuatro normalmente cerrados (contactos conmutados).
- Capacidad de corriente de los contactos: 5A.
- Voltaje de la bobina: 220 VAC.
- Accesorio de montaje: PYF-14AE para riel DIN.

2.3.2.4.4 Temporizador

El temporizador tiene la función de realizar el conteo de tiempo requerido en el proceso de resecado, para eliminar el exceso de humedad presente en los electrodos, este conteo se efectúa desde el momento en que la temperatura dentro del horno llega al valor programado para dicho proceso.

Para la elección de este elemento se tomó en consideración el tiempo de resecado de los electrodos, el cual es de 120 minutos. Por lo tanto se ha seleccionado un temporizador o relé de tiempo electrónico de estado sólido marca Camsco modelo AH3 como se ve en la Figura 2.26.

Figura 2.26. Temporizador Camsco AH3

A continuación se presentan las principales especificaciones de este dispositivo técnicas obtenidas del ANEXO 20:

- Forma de operación: retardo a la excitación (on-delay).
- Rango de control de tiempo: regulable mediante dip-switches: de 0 a 3min o 30min; y de 0 a 3horas o 30 horas.
- Voltaje de Alimentación: 220VAC (50/60 Hz).
- Rango de temperatura: -10°C a +55°C.
- Contactos de salida: dos normalmente abiertos y dos normalmente cerrados (conmutados).
- Capacidad de carga de los contactos: 10A, 250 VAC.

2.3.2.4.5 Elementos de señalización y mando

Estos elementos permiten al operador poner en marcha y seleccionar las funciones del horno, así como también visualizar el estado en el que se encuentra el proceso, por lo tanto se seleccionaron los elementos de mando y señalización en marca Camsco que se observan en la Figura 2.27.

Figura 2.27. Elementos de señalización y mando utilizados en el horno.

A continuación se presenta un listado de los elementos utilizados y la función que cumplen en el circuito.

- Un interruptor con botón tipo hongo, de enclavamiento de giro con contacto normalmente cerrado (S1). Tiene la función de desconectar las resistencias de calentamiento y el circuito de control como seguridad ante una eventual emergencia.
- Un selector de dos posiciones de tipo permanente con un contacto normalmente abierto (S2). Sirve como interruptor general de encendido o apagado del circuito.

- Un selector de dos posiciones de tipo permanente (S3) para elegir entre el proceso de mantenimiento o el proceso de resecado de electrodos, con tres contactos normalmente abiertos.
- Tres luces piloto o de señalización de 220 VAC (H1, H2, H3); dos en color verde para indicar la activación de cada uno de los procesos y una en color amarillo para indicar el conteo del tiempo del proceso de resecado.

2.3.2.4.6 Micro interruptor de puerta

El micro interruptor tiene las siguientes funciones cuando las puertas del horno se abren:

- Desconecta las resistencias calefactoras
- Detiene el conteo de tiempo en el proceso de resecado

Se colocó en el lado izquierdo debido a que la puerta derecha posee un tope metálico (ver Figura 2.28), lo que obliga a abrir primero la puerta izquierda. Se instaló un micro interruptor marca EBC con accionamiento de vástago de cúpula roscado con recorrido prolongado como se observa en la Figura 2.28, este dispositivo posee las siguientes características:

- Terminales de tornillo
- Un contacto normalmente abierto y otro normalmente cerrado (conmutado).
- Capacidad de corriente del contacto: 15 A.
- Voltaje máximo de trabajo 480 VAC y 250VDC.

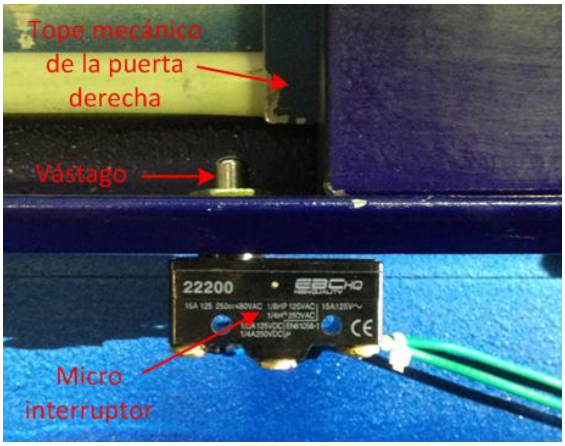


Figura 2.28. Micro interruptor de puerta instalado en el horno

2.3.2.4.7 Fusibles

Los fusibles del circuito de control son los elementos encargados de proteger los diferentes dispositivos contra eventuales sobrecargas y corto circuitos. Se dimensionaron considerando que para cada carga conectada en el circuito de la Figura 2.19 circulan alrededor de 0.5 A, dado que se tienen 11 cargas conectadas, la corriente total de circulación es de 5.5 A.

Por lo tanto se eligieron dos fusibles cilíndricos de cerámica de tipo cartucho con base para riel DIN marca Camsco, como se observa en la Figura 2.29 (uno por cada línea de entrada del circuito).

Figura 2.29. Fusible cilíndrico de cerámica y base de montaje

Del ANEXO 21 se han obtenido las especificaciones técnicas principales de estos elementos:

- Modelo: RT14-20
- Voltaje nominal: máximo 500 V.
- Corriente nominal: 6 A.
- Dimensiones: altura 38 mm, diámetro: 10.3 mm
- Base: RT18-32, 500 V, 32 A, para montaje en riel DIN.

2.3.2.4.8 Elementos de conexión

Para el conexionado eléctrico del circuito de control se utilizó cable de cobre flexible con las siguientes características técnicas: (obtenidas del ANEXO 16)

- Calibre: 18 AWG (0.823 mm^2).
- Capacidad de corriente: 7 Amperios
- Aislamiento: termoplástico PVC.
- Temperatura máxima del aislamiento: 105°C
- Tensión máxima de servicio: 600 V.

Además, con el fin conseguir conexiones eléctricas seguras y organizadas se han utilizado los siguientes accesorios para la instalación de los elementos de control:

- Gabinete metálico con doble fondo de 30 x 40 cm, para la colocación y conexión de los elementos del circuito de fuerza y control.
- Borneras con puentes y topes para separar las líneas de energía L1 y L2.

- Manguera metálica flexible BX de ½” con conectores rectos.
- Canaleta auto extinguible de PVC perforada de 25 x 25 mm.
- Riel DIN de 35mm por 7.5mm.
- Amarras de nylon.
- Terminales aislados de tipo: horquilla, hembra y pin dependiendo de los bornes de cada elemento de control.
- Marquillas en los extremos de los cables indicando el número del borne de cada elemento de control.

En la Figura 2.30 se observan los elementos de control instalados con la ayuda de los accesorios anteriormente mencionados.

Figura 2.30. Tablero de control del horno.

2.3.2.5 Funcionamiento del Circuito de Control

En este punto se explicará el funcionamiento del circuito de la Figura 2.19.

Para empezar se debe conectar el enchufe a una red trifásica de 220 VAC por línea, luego se coloca el interruptor termo-magnético Q en posición 1 (encendido) y se mueve el selector S2 a la posición de encendido (ver Figura 2.31), es importante mencionar que el interruptor de emergencia S1 debe estar levantado, de lo contrario el sistema no se pondrá en marcha.

Figura 2.31. Panel frontal de mando del horno.

2.3.2.5.1 Proceso de mantenimiento

Si el operador desea realizar el proceso de mantenimiento deberá mover el selector S3 (ver Figura 2.31) hacia la izquierda, de este modo la salida OUT1 del

controlador de temperatura (que trabaja en modo directo) se cerrará activando el relé R1 y a su vez la luz piloto H1 (color verde), al mismo tiempo un contacto abierto de R1 se cerrará para activar la bobina del contactor K que encenderá las resistencias calefactoras. Cuando la temperatura del horno alcance el valor programado para el mantenimiento la salida OUT1 se abrirá y las resistencias dejarán de calentar, hasta cuando la temperatura descienda un grado centígrado por debajo del valor programado, en ese momento la salida OUT1 se cerrará nuevamente y las resistencias calefactoras se encenderán compensando el calor absorbido por la carga, esto continuará ocurriendo de manera sucesiva para mantener la temperatura lo más cerca posible al valor programado.

Si durante este proceso las puertas del horno se abren el micro interruptor SP activará al relé R5 y un contacto cerrado de este se abrirá para desconectar la bobina del contactor K que apagará las resistencias. Cuando las puertas se vuelvan a cerrar el proceso continuará su funcionamiento anteriormente descrito.

En cualquier momento se apagará el sistema al presionar el paro de emergencia S1 (ver Figura 2.31).

2.3.2.5.2 Proceso de resecado

Cuando el operador decida realizar el proceso de resecado deberá mover el selector S3 hacia la derecha (ver Figura 2.31), de este modo la salida OUT2 del controlador de temperatura (que trabaja en modo directo) se cerrará activando el relé R2 y la luz piloto H2 (color verde), al mismo tiempo un contacto abierto de R2 se cerrará para activar la bobina del contactor K que encenderá las resistencias calefactoras. Cuando la temperatura del horno alcance el valor programado para el proceso de resecado sucederá a la vez lo siguiente:

- La salida OUT2 se abrirá y las resistencias dejarán de calentar, hasta cuando la temperatura descienda un grado centígrado por debajo del valor programado, en ese momento la salida OUT2 se cerrará nuevamente y las

resistencias calefactoras se encenderán compensando el calor absorbido por la carga, esto continuará ocurriendo de manera sucesiva para mantener la temperatura lo más cerca posible al valor programado para el resecado.

- La salida OUT3 (que trabaja en modo inverso) se cerrará y memorizará al relé R3 activando el timer RT que iniciará el conteo del tiempo de resecado, el cual será visible en el panel frontal (ver Figura 2.31) mediante la luz piloto H3 (color amarillo). Cuando el tiempo de resecado haya transcurrido un contacto abierto de RT se cerrará y memorizará al relé R4, entonces sucederá lo siguiente:

    - Un contacto cerrado de R4 se abrirá para apagar la luz piloto el relé R3 y el timer RT.
    - Un contacto cerrado de R4 se abrirá y apagará al relé R2, este a su vez desactivará la bobina del contactor K el cual desconectará las resistencias.
    - Un contacto abierto de R4 se cerrará y activará al relé R1 y este por ende a la bobina del contactor K que encenderá las resistencias siempre y cuando la temperatura descienda un grado centígrado por debajo del valor programado para el proceso de mantenimiento en donde empezará a actuar la salida OUT1 del controlador. De esta manera los electrodos pasarán automáticamente del proceso de resecado al proceso de mantenimiento sin dejar que se enfríen hasta la temperatura ambiente.

Si durante el transcurso del tiempo de resecado las puertas del horno se abren el micro interruptor SP activará al relé R5 y un contacto cerrado de este se abrirá para desconectar la bobina del contactor K que apagará las resistencias. Además un contacto cerrado de R5 se abrirá y desconectará el relé R3, la luz piloto H3 y el timer RT para suspender el conteo del tiempo de resecado. Si las puertas se

vuelven a cerrar se repetirá el proceso anteriormente descrito dependiendo de la temperatura a la que se encuentre el horno.

En cualquier momento se apagará el sistema al presionar el paro de emergencia S1 (ver Figura 2.31).

2.4 INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE GERENCIAMIENTO A DISTANCIA

El sistema de gerenciamiento a distancia permite al operador monitorear y controlar continuamente el proceso de mantenimiento y resecado de electrodos de manera remota, es decir, sin la necesidad de estar junto al horno. Este sistema consta de los siguientes elementos:

- Interfaz de comunicación.
- Software de gerenciamiento a distancia.

En los puntos siguientes se describirán cada uno de los elementos antes mencionados.

2.4.1 INTERFAZ DE COMUNICACIÓN

Se utilizó una interfaz serial de marca Full Gauge modelo CONV 32, como se observa en la Figura 2.32. Este dispositivo permite que el controlador de temperatura con comunicación serial se conecte a un ordenador que posea un puerto de comunicación USB. La interfaz se encarga de transformar el estándar eléctrico utilizado por el ordenador al estándar eléctrico RS-485 utilizado por el

controlador. Del ANEXO 22 se han obtenido las principales especificaciones técnicas de este dispositivo:

- Alimentación eléctrica: por medio del puerto USB.
- Temperatura de operación: de 0 a 50°C.
- Puerto USB compatible solamente con el estándar USB 2.0 y Windows NT, 2000, 2003 y XP.
- Consta de un conector USB-B hembra para conexión con la PC (cable blindado provisto con la interfaz).
- Posee un puerto RS-485 para conexión de hasta 32 controladores.
- La extensión de la red RS-485 debe tener como máximo 1000 m.
- Se debe utilizar el cable USB blindado con un largo máximo de 1,8 metros.

Figura 2.32. Interfaz serial USB-RS485.

La instalación de la red RS485 se realizó mediante cable de red UTP Categoría 5, de una longitud aproximada de 10 metros desde el tablero de control hasta el computador. Se han utilizado dos hilos A y B, de este modo se establece una comunicación Half-Duplex en la cual el ordenador es el máster y el controlador o instrumento es el esclavo, tal como se observa en el esquema de la Figura 2.33.

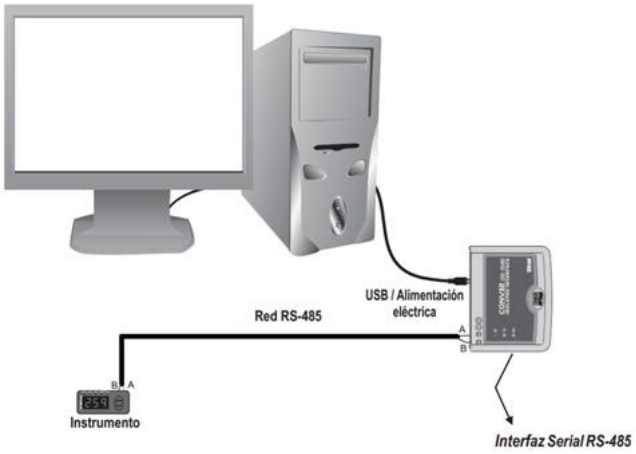


Figura 2.33. Esquema de conexión del interfaz serial USB-RS485.

2.4.2 SOFTWARE DE GERENCIAMIENTO A DISTANCIA

En este proyecto se han empleado los módulos Local y Mobile, en los puntos siguientes se describirán las funciones utilizadas de cada módulo. Para la instalación del módulo Local se ha puesto a disposición un computador de escritorio perteneciente al laboratorio de soldadura con acceso a internet, ubicado en la habitación contigua al horno. Para la instalación del módulo Mobile se utilizó una Tableta de uso personal.

2.4.2.1 Sitrad Local

Para instalar este módulo se han tomado en cuenta los requisitos mínimos del computador mencionados en el apartado 1.13.1. Se realizó la descarga gratuita desde el portal de internet www.sitrad.com/es, y se instaló en el computador siguiendo las instrucciones del archivo ejecutable. Una vez instalado el programa se conectó el cable USB de la interfaz en uno de los puertos del ordenador con el fin de cerrar el circuito de transferencia de datos tal como se muestra en la Figura 2.33.

2.4.2.1.1 Configuraciones de la comunicación

Para configurar la comunicación con el controlador se debe abrir el Sitrad por primera vez, el sistema exhibirá la ventana inicial sin mostrar ningún modelo de instrumento, tal como se muestra la Figura 2.34.

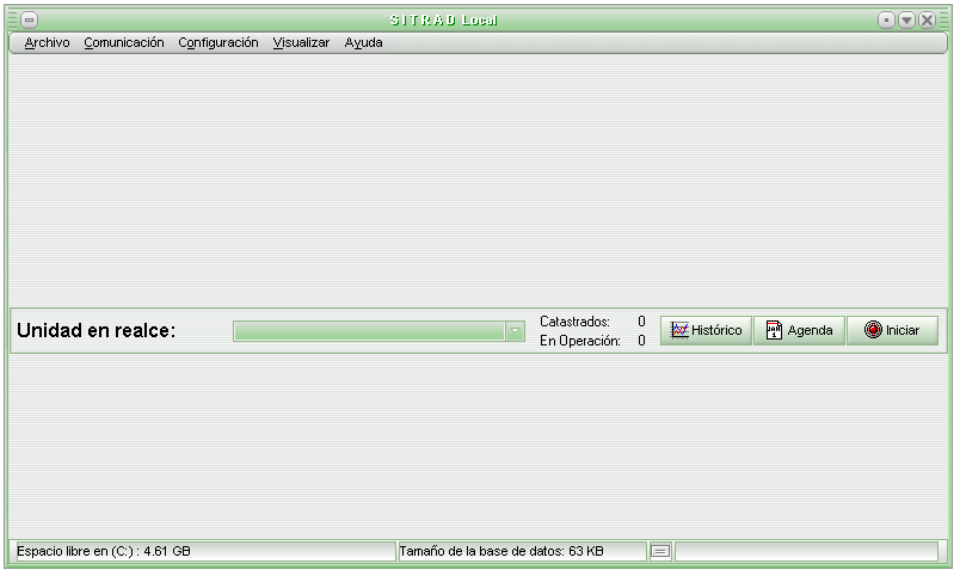


Figura 2.34. Ventana inicial del Sitrad

Luego se hace clic en el ítem Configuración de la barra de menú y después en el ítem Opciones. El cuadro de diálogo Opciones de Configuración se mostrará como se ve en la Figura 2.35. En el grupo comunicación se marca “utilizar comunicación USB”. En el tiempo entre barreduras se escoge 0.1 segundos, este el período de tiempo entre las adquisiciones de datos de los instrumentos para ser exhibidos en pantalla.

En el grupo muestreo en banco de datos, se escoge en 5 seg., el período de tiempo entre cada muestra que es almacenada en el archivo de datos; y en la casilla variación se elige “si” para indicar que el archivo será actualizado cuando haya alguna variación en los datos de temperatura, estados de las salidas o en el status del instrumento.

En el grupo de otras opciones se elige “iniciar comunicación al ejecutar el sistema”, esto permite que, cuando el sistema windows se inicie, se establezca automáticamente la comunicación con el controlador. Las demás opciones se deja sin marcar y para confirmar la configuración se hace clic en el botón OK, se digita el código de acceso 123 y nuevamente clic en OK. Para activar la comunicación basta con pinchar el botón “iniciar” que se encuentra de la pantalla principal.

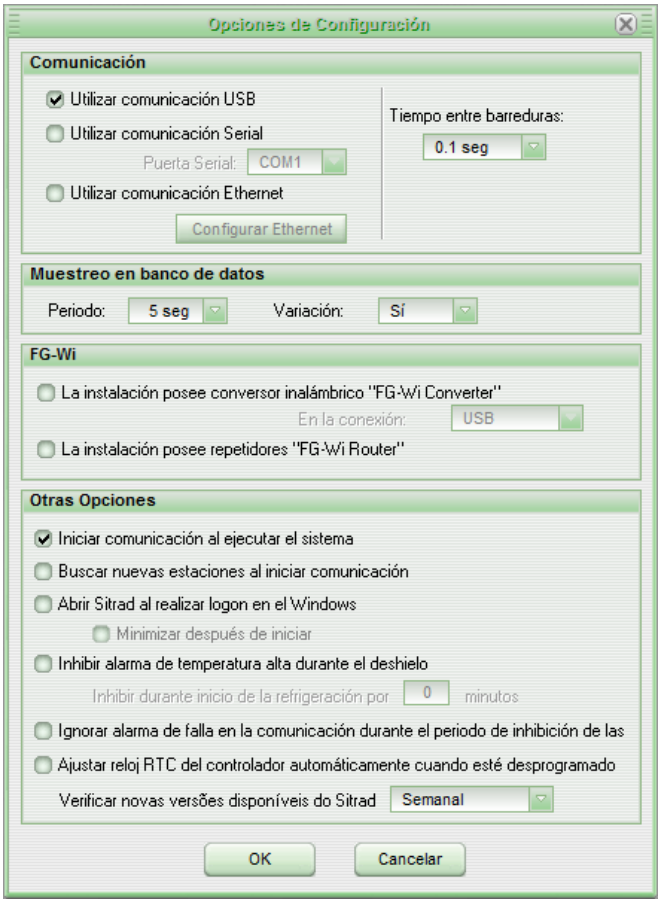


Figura 2.35. Ventana de opciones de configuración del Sitrad

2.4.2.1.2 Ventana Principal

Una vez establecida la comunicación se despliega la pantalla principal del Sitrad (ver Figura 2.36), en ella se puede notar cinco partes distintas que son: Barra de

Menú, Panel de Informaciones, Panel Común, Guías de Modelos y Barra de Estado. A continuación se describen cada una de ellas:

Figura 2.36. Ventana principal del Sitrad

La Barra de Menú se encuentra en la parte superior y contiene ítems para acceder a la configuración y funciones del sistema.

El Panel de Informaciones se encuentra en la parte media y exhibe los datos más importantes del controlador MT-543R*i plus*, los cuales indican lo siguiente:

- En los casilleros de la izquierda del panel se muestra el estado de las tres etapas del instrumento, en este caso la primera y segunda en calefacción o directo y la tercera en refrigeración o inverso. Además se observa la temperatura de control o set point de cada una de ellas.
- Junto a los casilleros anteriormente citados se observa el display virtual del instrumento, en él se muestra la temperatura del sensor. El display puede indicar también el estado del instrumento, por ejemplo; cuando muestre

"N/R", se debe a que el instrumento en destaque no está respondiendo, por lo tanto el estado indicará "Falla" o "Desconectado", o, si el en el display se muestra "---", significa que el instrumento se encuentra en "Mantenimiento"

- Bajo el display virtual se muestran el estado y rango de actuación del Buzzer o zumbador, que se trata de una alarma sonora que se activa cuando la temperatura del sensor sale del rango establecido.
- A la derecha del display virtual están los indicadores del estado de las salidas del instrumento: OUT1, OUT2, OUT3 y BUZZ. Cuando el espacio correspondiente a la salida se torna de color rojo, significará que dicha salida está activada.
- Bajo los indicadores de las salidas se encuentra la información referente a las alarmas del instrumento. Si alguna alarma se activase, el punto de indicación junto a cada una se pondrá de color amarillo.
- Bajo las alarmas se encuentra el botón Parámetros para acceder a las funciones del instrumento. Para esto, será necesario informar el código de acceso que por defecto es 123. Además se muestra el tipo de sensor que está siendo utilizado.

El Panel Común se encuentra debajo del Panel de Informaciones y contiene funciones e informaciones del sistema, tales como:

- La unidad en realce que muestra la descripción del instrumento, es también una caja combinada en la cual el usuario puede seleccionar el instrumento que desea resaltar.
- Junto a la unidad en realce, se muestra: el número de instrumentos registrados o catastrados en el sistema, el número de instrumentos en operación y el número de instrumentos en mantenimiento, cuando la comunicación está conectada.
- En la derecha se encuentran los botones Historial, Agenda e Iniciar. El botón Iniciar se transforma en Interrumpir cuando la comunicación está conectada y viceversa.

La Guía de Modelos que se encuentra bajo el panel común exhibe la lista de instrumentos registrados, además de un resumen de los parámetros de cada uno.

La Barra de Estatus se localiza en la parte inferior de la pantalla y muestra la cantidad de espacio libre en la unidad de disco en el cual se graba el banco de datos y el tamaño del mismo.

2.4.2.1.3 Edición de Parámetros

Para acceder a los parámetros del instrumento, se hace clic en el botón Parámetros de la ventana principal, luego el sistema solicitará el código de acceso (123) y enseguida se exhibirá la ventana que se observa en la Figura 2.37

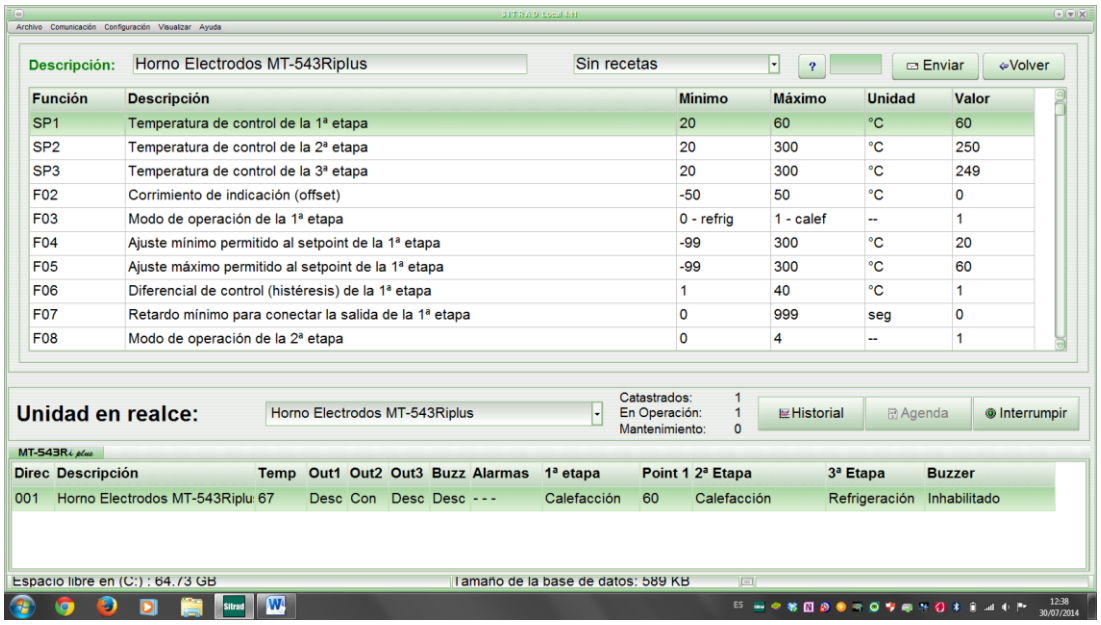


Figura 2.37. Pantalla de edición de parámetros

En la pantalla de los parámetros del MT-543Ri plus, es posible ajustar todas las funciones y las temperaturas de control (setpoint) de las tres etapas del instrumento. Para alterar un parámetro se hace clic sobre la función deseada y se coloca el valor en el campo en blanco junto al signo de interrogación, después clic

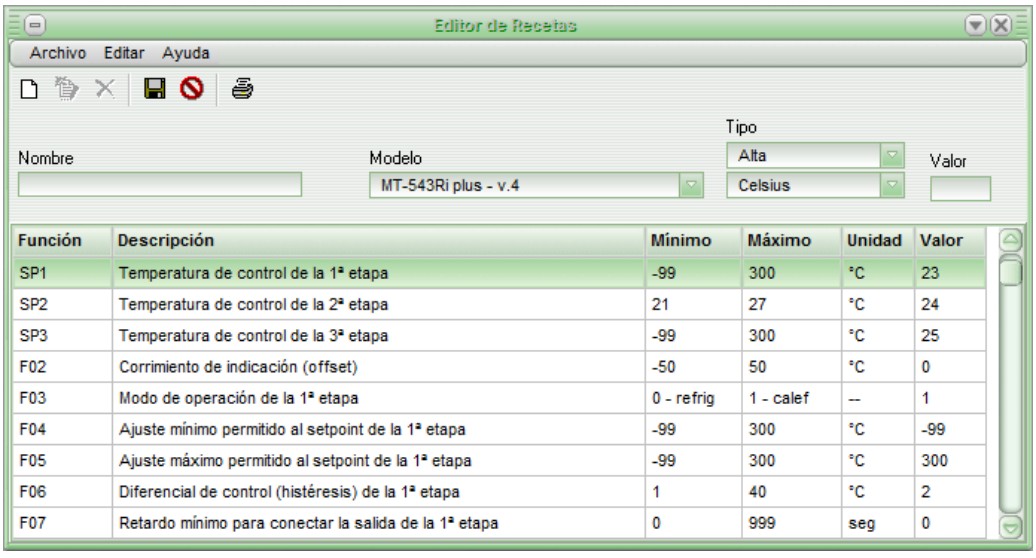
en Enviar o presionar Enter para confirmar la función. Al hacer clic en el botón de ayuda (interrogación azul) el sistema muestra el descriptivo de la función que esté seleccionada. (Ver Figura 2.37)

Además en esta ventana es posible ajustar todas las funciones del instrumento enviando una receta previamente creada en el Editor de Recetas, para enviarla se debe seleccionar una receta del cuadro que se encuentra en la parte superior junto al botón de ayuda.

2.4.2.1.4 Editor de Recetas

Esta función permite configurar parámetros del proceso de resecado y mantenimiento para cada tipo de electrodo. Al crear recetas es posible alterar todas las funciones del instrumento en pocos segundos, todo lo contrario de configurar cada función individualmente.

Para crear una receta se deben seguir las siguientes instrucciones: (la ventana del editor de recetas se observa en la Figura 2.38)



Función	Descripción	Mínimo	Máximo	Unidad	Valor
SP1	Temperatura de control de la 1ª etapa	-99	300	°C	23
SP2	Temperatura de control de la 2ª etapa	21	27	°C	24
SP3	Temperatura de control de la 3ª etapa	-99	300	°C	25
F02	Corrimiento de indicación (offset)	-50	50	°C	0
F03	Modo de operación de la 1ª etapa	0 - refrig	1 - calef	--	1
F04	Ajuste mínimo permitido al setpoint de la 1ª etapa	-99	300	°C	-99
F05	Ajuste máximo permitido al setpoint de la 1ª etapa	-99	300	°C	300
F06	Diferencial de control (histéresis) de la 1ª etapa	1	40	°C	2
F07	Retardo mínimo para conectar la salida de la 1ª etapa	0	999	seg	0

Figura 2.38. Editor de recetas del Sitrad

- Clic en Archivo y después en Editor de Recetas, se mostrará una ventana en blanco, luego clic en Archivo y después en Nueva.
- Escribir un identificativo para la nueva receta en el campo Nombre,
- Seleccionar el modelo deseado en la caja combinada Modelo,
- Configurar los parámetros del modelo del instrumento elegido, se debe hacer clic en la función deseada y digitar el valor de la función en el campo Valor. Luego presionar Enter para que el cambio se aplique a la receta.
- Después de ajustar los valores deseados, clic en el botón Guardar en la barra de herramienta para agregar esta receta a la lista de registros.
- Cuando el modelo del instrumento seleccionado tenga configuración especial como por ejemplo, opción de °C y °F o rango de actuación, se mostrará una caja combinada junto al nombre del modelo.

En la figura anterior se muestran las opciones del editor de recetas, estas se encuentran debajo de la barra de menú, por medio de las cuales es posible: crear, editar, eliminar, guardar, cancelar e imprimir una receta. No existe límite en lo referente a la cantidad de registros de recetas, estas se guardan automáticamente en la carpeta de datos, en un archivo denominado recetas.cfg.

Para enviar una receta previamente programada, desde la ventana principal se da clic en el botón Parámetros, se digita el código de acceso (123), inmediatamente se despliega la ventana de la Figura 2.37, junto al campo Descripción se muestra una caja combinada con todas las recetas guardadas pertenecientes al instrumento seleccionado. Luego se selecciona la receta deseada y ésta se enviará inmediatamente al instrumento, de este modo los valores de las funciones serán configuradas según la receta enviada.

2.4.2.1.5 Generador de Informes

Este utilitario del sistema ofrece visualizar los datos almacenados como Gráfico y Texto. También es posible generar un informe del histórico de alarmas ocurridas,

de los límites configurados para alarmas virtuales y de los instrumentos que están en mantenimiento.

Para acceder a los informes en el Sitrad, se hace clic en el menú Archivo y después en Generador de Informes, o se puede pinchar el botón Historial de la ventana principal, aparecerá la ventana que se muestra en la Figura 2.39. En la parte superior de la ventana se puede elegir mediante los botones el tipo de informe que se desea generar; el cual puede ser: gráfico, texto, alarmas o límites de alarmas. Incluso, si es necesario es posible importar o exportar datos.

En la izquierda de la ventana se puede elegir el banco de datos a utilizar. En la derecha se muestra la dirección en la que los datos están siendo guardados, además del nombre del instrumento, el número de muestras registradas y el período de registro de dichas muestras.

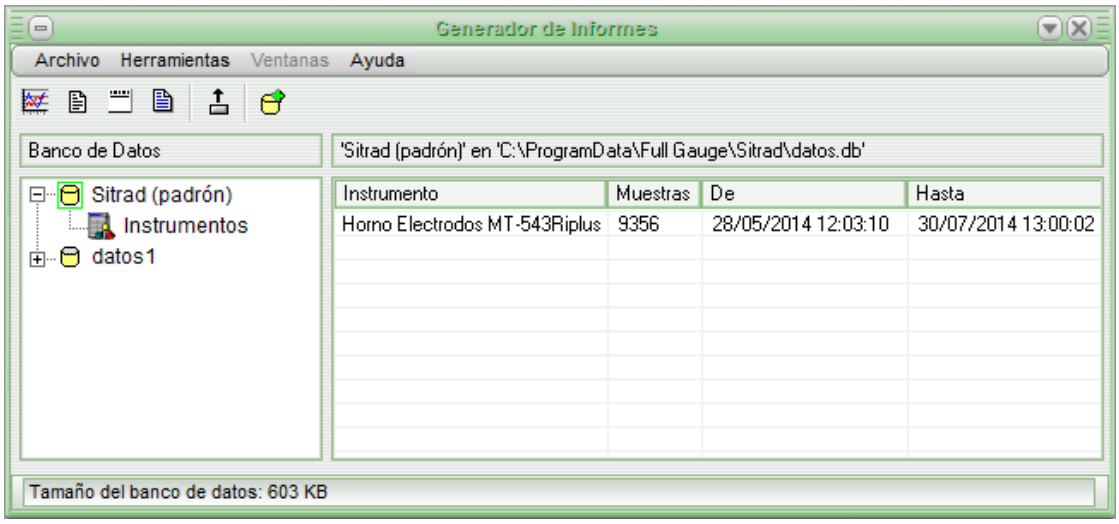


Figura 2.39. Generador de Informes del Sitrad

2.4.2.1.6 Control de Usuarios

Un usuario tendrá la posibilidad de acceder de forma remota al Sitrad Local desde el módulo Remote o Mobile, mediante un nombre y una contraseña que se

registrarán en el sistema. Los perfiles de los usuarios se clasifican en tres niveles de gerenciamiento:

- Operador; tiene mínimo acceso a las funciones del sistema.
- Técnico; puede acceder a todas las funciones del sistema, excepto a las de configuración y comunicación.
- Supervisor; tiene acceso a todas las funciones sin restricción.

Para acceder al control de usuarios se hace clic en el menú Archivo de la pantalla principal, luego en Gerenciador de Acceso Remoto, después en Archivo y luego en Usuarios. Se solicitará un usuario y contraseña predeterminados para el primer acceso, los cuales son: usuario "super" y contraseña "master", se da clic en OK. En la ventana siguiente, por seguridad, el sistema pide cambiar la contraseña; ésta se ha elegido con la palabra “electrodo”, se confirma la contraseña y se da clic en el botón OK, se mostrará la siguiente ventana:

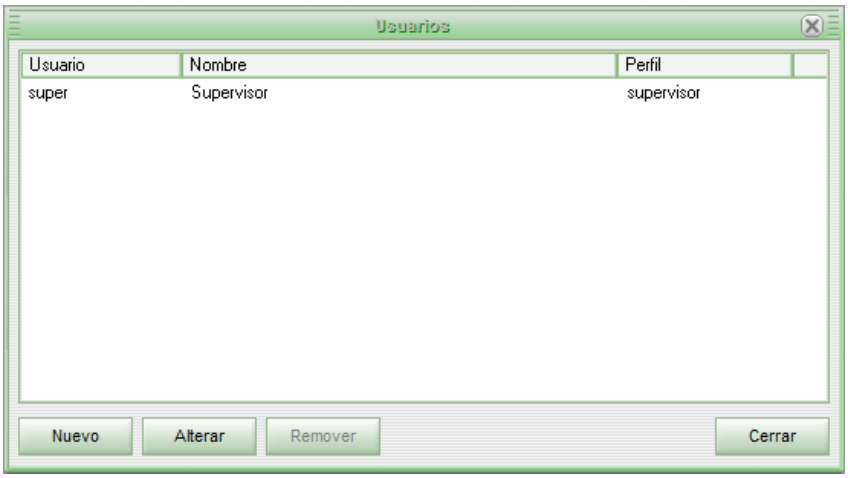


Figura 2.40. Ventana de Control de Usuarios

En la ventana anterior se observa la lista de usuarios con su respectivo nombre y perfil. Este cuadro de diálogo también posibilita registrar nuevos usuarios, alterar sus nombres, perfiles y contraseñas, e incluso removerlos del sistema.

2.4.2.2 Sitrad Mobile

Para el uso de este módulo del sistema de gerenciamiento, se ha utilizado una tableta modelo IPad Air de Apple, en la cual se ha descargado e instalado la aplicación Sitrad Mobile de forma gratuita, siguiendo las instrucciones del aplicativo App Store. A continuación se explican las funciones de este módulo aplicadas en este proyecto.

2.4.2.2.1 Configuraciones de la comunicación

Al abrir por primera vez la aplicación la pantalla mostrará un solo servidor en la lista, el cual se utiliza para pruebas, capacitaciones y demostraciones del funcionamiento del programa (ver Figura 2.41).

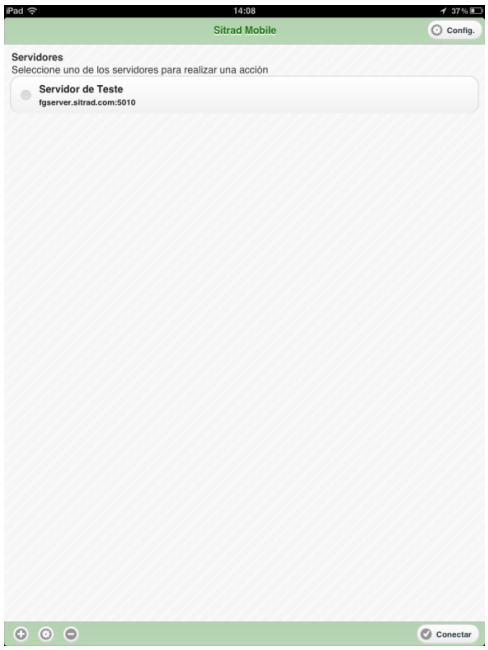


Figura 2.41. Ventana inicial del Sitrad Mobile

Antes de realizar la comunicación es necesario conocer el número de puerta de enlace y la dirección IP del Sitrad Local; para esto, en la pantalla principal del

Sitrad Local se da clic en Archivo y luego en Gerenciador de acceso Remoto, se despliega la ventana de la Figura 2.42, de allí se obtiene la dirección IP que se encuentra en el cuadro de informaciones locales.

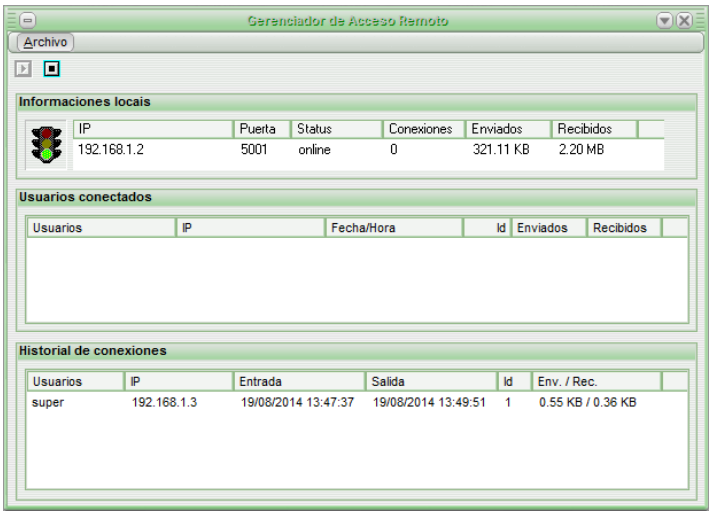


Figura 2.42. Gerenciador de Acceso Remoto

Para obtener la puerta de enlace, en la ventana anterior se hace clic en archivo y luego en Configuraciones entonces se muestra la ventana siguiente:

Figura 2.43. Configuraciones del Gerenciador de Acceso Remoto

De la ventana anterior se obtiene el número de la puerta de enlace estándar para la comunicación con el Sitrad Mobile, ésta es la 5010.

Una vez obtenidos la dirección IP y la puerta de enlace, se hace clic en el signo (+) que se encuentra en la esquina inferior izquierda de la ventana de la Figura 2.41, entonces se mostrará el cuadro de diálogo siguiente:

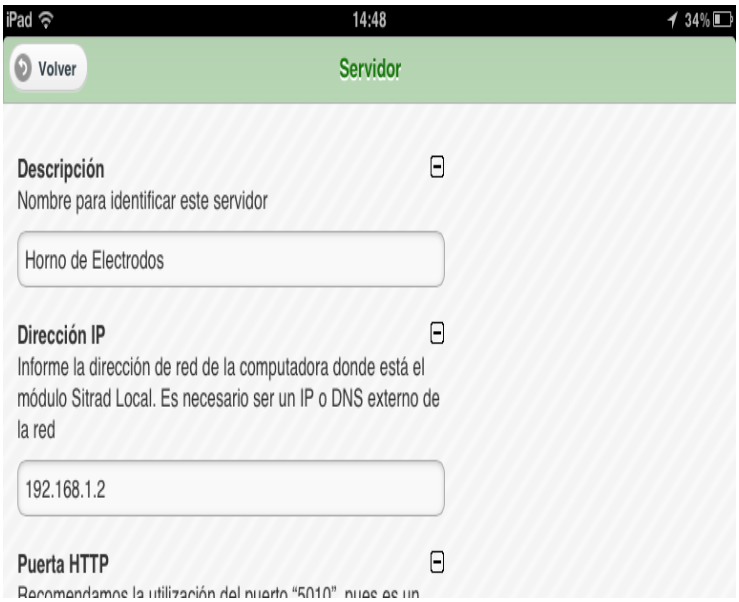


Figura 2.44. Ventana de Configuración del Servidor en el Sitrad Mobile

En la ventana de la Figura 2.44 se deben llenar los campos con la información obtenida anteriormente (dirección IP y puerta de enlace). En el campo “Descripción” se asigna un nombre para identificar al servidor, en este caso es “Horno de Electrodos”. Luego se da clic en Guardar y el nuevo servidor estará visible en la lista de la ventana inicial del Sitrad Mobile.

Después se selecciona el servidor y se hace clic en el botón Conectar que se encuentra en la esquina inferior derecha de la ventana (ver Figura 2.41), el sistema solicitará ingresar el nombre de usuario y contraseña (ver Figura 2.45), los cuales fueron cambiados en el apartado 2.4.2.1.6 a usuario “super” y contraseña “electrodo”.

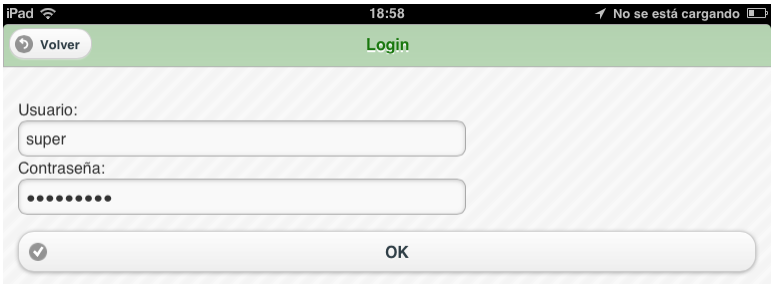


Figura 2.45. Ventana de autenticación del servidor

Luego se da clic en OK y se mostrará la lista de controladores conectados al servidor Sitrad Local (ver Figura 2.46) El instrumento exhibe su status a través de un círculo colorido; el color verde significa que la estación está funcionando normalmente, amarillo que está en mantenimiento y rojo que presenta algún error. Seleccionando la opción "Desconectar", el sistema se desconectará del servidor actual. Para visualizar los instrumentos nuevamente, será necesario volver a registrarse con el usuario y contraseña.

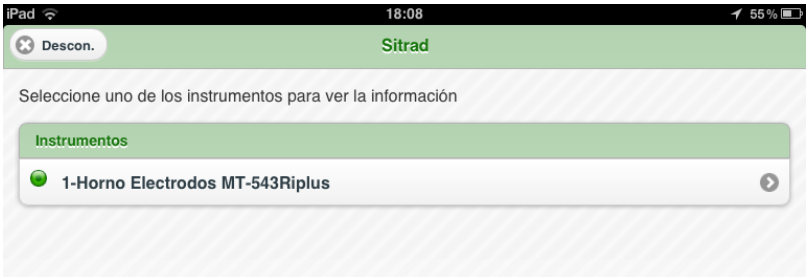


Figura 2.46. Lista de controladores conectados al Sitrad Local

2.4.2.2.2 Ventana de informaciones

La pantalla de informaciones muestra las principales funciones del controlador del horno, en la Figura 2.47 se observa la temperatura del ambiente del sensor y el estado de las 3 salidas más el Buzzer, cuando el color de la salida cambia a verde es porque está activa, de lo contrario está inactiva.

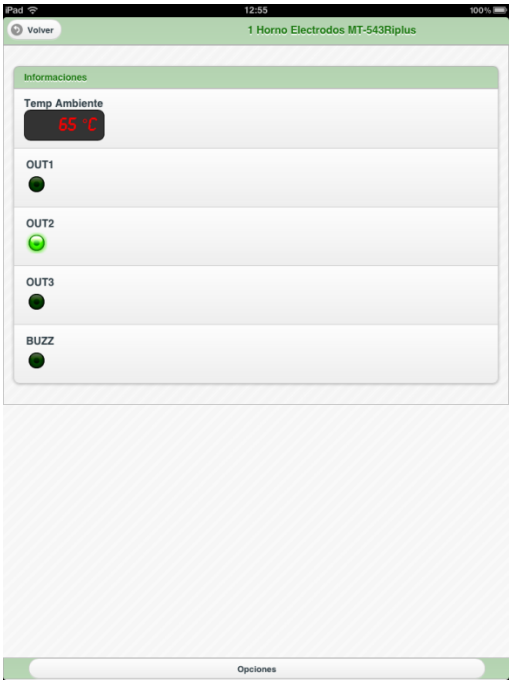


Figura 2.47. Ventana de informaciones del Sitrad Mobile

2.4.2.2.3 Ventana de parámetros

En la ventana de la Figura 2.48 se muestra la lista de parámetros o funciones del instrumento. Cada ítem de la lista muestra el código del parámetro y su respectivo valor. Para alterar los valores de los parámetros se pulsa el botón que está en el lado derecho de cada función, luego aparecerá una pantalla con un deslizador (Ver Figura 2.48), desde el cual se altera el valor de la función, después se da clic en "OK" para que el nuevo valor sea enviado al instrumento. Para visualizar el texto explicativo del parámetro se puede seleccionar la opción "Descripción" en la parte inferior de la pantalla.

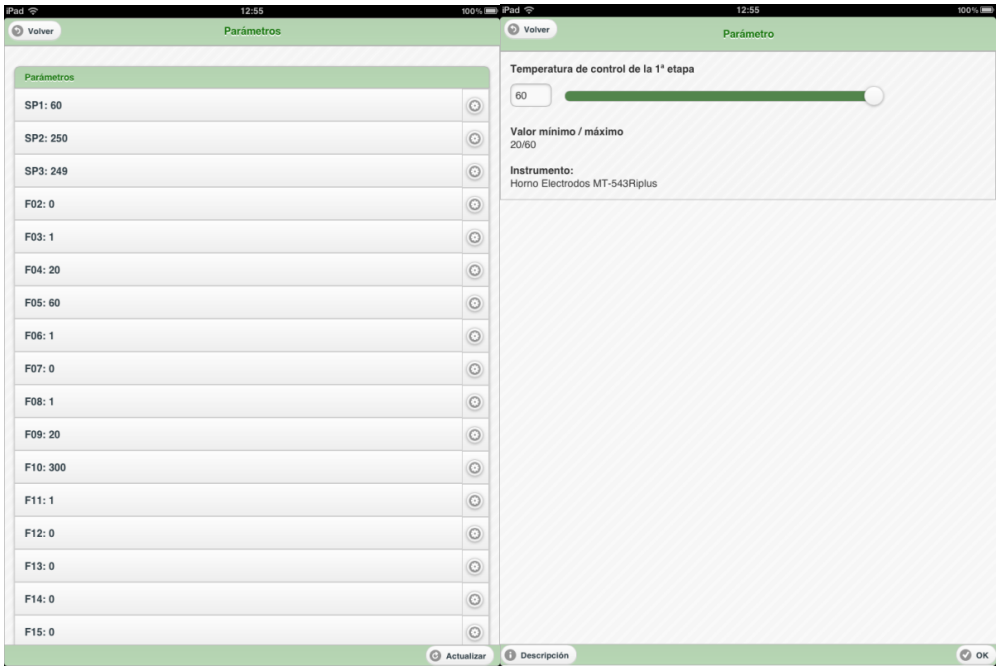


Figura 2.48. Ventana de selección y edición de parámetros

2.4.2.2.4 Generador de gráficos

A través del Sitrad Mobile es posible visualizar gráficos en función del tiempo de las variables controladas; para esto se marcan las variables que desea visualizar y el periodo de tiempo del gráfico, conforme se muestra en la Figura 2.49.

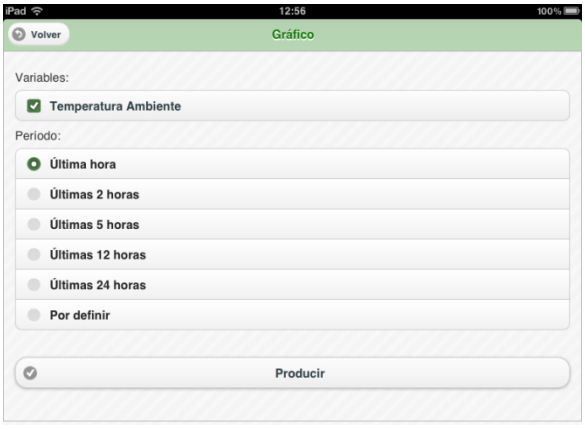


Figura 2.49. Opciones de generación de gráficos del Sitrad Mobile

Después se debe seleccionar "Producir Gráfico", a continuación será exhibida la ventana de la Figura 2.50 con el gráfico de la variable controlada, que para este caso es la temperatura del interior del horno de electrodos. Para actualizar el gráfico con los valores almacenados en el servidor, se puede pulsar la opción "Actualizar".

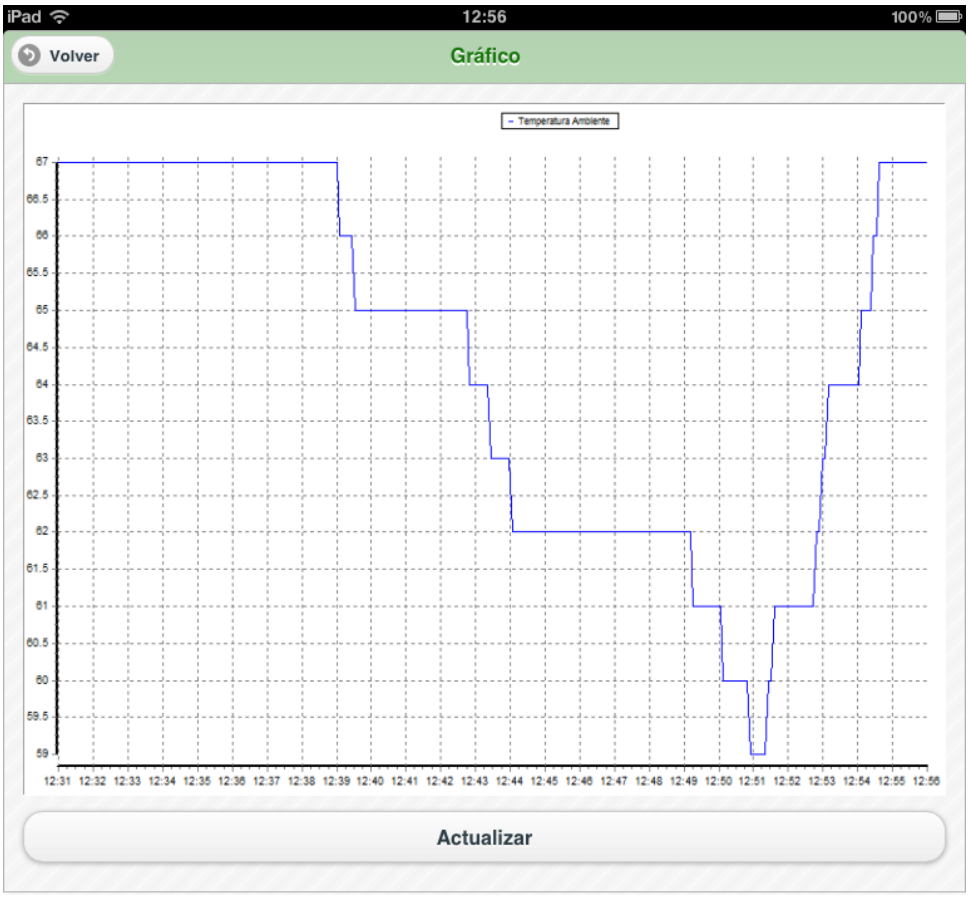


Figura 2.50. Gráfico de Temperatura vs. Tiempo generado en el Sitrad Mobile

2.5 PROGRAMACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE CONTROL

Para programar el controlador y el Timer se han elegido los valores de temperatura y tiempo del proceso de mantenimiento y resecado de electrodos revestidos de acuerdo a las recomendaciones del fabricante Indura (Ver Tabla 1.5 y Tabla 1.6). Los valores elegidos se muestran en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Valores de temperatura y tiempo elegidos para el proceso de mantenimiento y resecado de electrodos

Electrodo		**Temperatura de almacenamiento (cajas cerradas)**	**Temperatura de mantenimiento (fuera de caja)**	**Temperatura de Resecado**	**Tiempo de resecado**
Clase	**Tipo de Revestimiento**				
EXX12	Rutilo	30°C	30°C	100°C	120 min
EXX13					
EXX14					
EXX24					
Inoxidables Austeníticos					
EXX15	Básico	35°C	60°C	250°C	
EXX16					
EXX18					
EXX28					
EXX48					
Electrodos de baja aleación					
Inoxidables Martensíticos y Ferríticos					
Inox. E70					
Inox. E120					

2.5.1 PROGRAMACIÓN DEL CONTROLADOR DE TEMPERATURA

Con los valores de temperatura anteriores se han elaborado recetas mediante el utilitario “Editor de Recetas” del Sitrad Local que se explicó en apartado 2.4.2.1.4.

2.5.1.1 Recetas para electrodos de revestimiento de rutilo

Para los electrodos de revestimiento de rutilo se han elaborado tres diferentes recetas, las cuales se muestran a continuación:

2.5.1.1.1 Almacenamiento de electrodos de rutilo en cajas cerradas

Full Gauge Controls - SITRAD

Instrumento : MT-543Ri plus - v.4

Receta : Electrodos de Rutilo (almacenamiento caja cerrada

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

Función	Descripción	Mínimo	Máximo	Unidad	Valor
SP1	Temperatura de control de la 1ª etapa	30	50	°C	30
SP2	Temperatura de control de la 2ª etapa	30	50	°C	30
SP3	Temperatura de control de la 3ª etapa	0	0	°C	0
F02	Corrimiento de indicación (offset)	-50	50	°C	0
F03	Modo de operación de la 1ª etapa	0 - refrig	1 - calef	--	1
F04	Ajuste mínimo permitido al setpoint de la 1ª etapa	-99	300	°C	30
F05	Ajuste máximo permitido al setpoint de la 1ª etapa	-99	300	°C	50
F06	Diferencial de control (histéresis) de la 1ª etapa	1	40	°C	1
F07	Retardo mínimo para conectar la salida de la 1ª etapa	0	999	seg	0
F08	Modo de operación de la 2ª etapa	0	4	--	1
F09	Ajuste mínimo permitido al setpoint de la 2ª etapa	-99	300	°C	30
F10	Ajuste máximo permitido al setpoint de la 2ª etapa	-99	300	°C	50
F11	Diferencial de control (histéresis) de la 2ª etapa	1	40	°C	1
F12	Retardo mínimo para conectar la salida de la 2ª etapa	0	999	seg	0
F13	Tiempo de inhibición de la alarma al conectar el controlador	0	999	min	0
F14	Tiempo de reactivación de la alarma al inhibirse manualmente	-1	999	min	-1
F15	Tiempo de alarma conectada	0	999	seg	1
F16	Tiempo de alarma desconectada	0	999	seg	1
F17	Modo de operación de la 3ª etapa	0	2	--	1
F18	Ajuste mínimo permitido al setpoint de la 3ª etapa	-99	300	°C	0
F19	Ajuste máximo permitido al setpoint de la 3ª etapa	-99	300	°C	0
F20	Diferencial de control (histéresis) de la 3ª etapa	1	40	°C	1
F21	Retardo mínimo para conectar salida de la 3ª etapa	0	999	seg	0
F22	Base de tiempo del timer cíclico de la 3ª etapa	0	1	--	0
F23	Tiempo para activación del timer cíclico de la 3ª etapa	0	999	seg	0
F24	Tiempo de timer cíclico de la 3ª etapa conectada	0	999	seg	0
F25	Tiempo de timer cíclico de la 3ª etapa desconectada	0	999	seg	0
F26	Modo de operación del timer cíclico	0	4	--	0
F27	Modo de operación del Buzzer	0	2	--	1
F28	Punto de actuación del Buzzer (límite inferior)	-99	300	°C	15
F29	Punto de actuación del Buzzer (límite superior)	-99	300	°C	80
F30	Tiempo de Buzzer conectado	0	999	seg	1
F31	Tiempo de Buzzer desconectado	0	999	seg	1
F32	Tiempo de inhibición del Buzzer en la energización	0	999	min	0
F33	Tiempo de reactivación del Buzzer al inhibirse manualmente	-1	999	min	-1
F34	Intensidad del filtro digital	0	9	--	0

Figura 2.51. Receta para el almacenamiento de electrodos de rutilo en cajas cerradas

Cuando se desee almacenar electrodos de rutilo en cajas cerradas, el operador deberá enviar la receta de la Figura 2.51 desde el Sitrad Local, con este grupo de parámetros pre-configurados la temperatura de control del horno será de 30°C, pudiendo modificarse valores entre 30 y 50°C. El horno realizará siempre el mismo proceso sin importar la posición del selector S3 (mantenimiento–resecado), y el circuito de conteo de tiempo permanecerá inhabilitado.

2.5.1.1.2 Mantenimiento de electrodos de rutilo fuera de caja

Full Gauge Controls - SITRAD

Instrumento : MT-543Ri plus - v.4

Receta : Electrodos de Rutilo (mantenimiento)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

Función	Descripción	Mínimo	Máximo	Unidad	Valor
SP1	Temperatura de control de la 1ª etapa	25	35	°C	30
SP2	Temperatura de control de la 2ª etapa	25	35	°C	30
SP3	Temperatura de control de la 3ª etapa	0	0	°C	0
F02	Corrimiento de indicación (offset)	-50	50	°C	0
F03	Modo de operación de la 1ª etapa	0 - refrig	1 - calef	--	1
F04	Ajuste mínimo permitido al setpoint de la 1ª etapa	-99	300	°C	25
F05	Ajuste máximo permitido al setpoint de la 1ª etapa	-99	300	°C	35
F06	Diferencial de control (histéresis) de la 1ª etapa	1	40	°C	1
F07	Retardo mínimo para conectar la salida de la 1ª etapa	0	999	seg	0
F08	Modo de operación de la 2ª etapa	0	4	--	1
F09	Ajuste mínimo permitido al setpoint de la 2ª etapa	-99	300	°C	25
F10	Ajuste máximo permitido al setpoint de la 2ª etapa	-99	300	°C	35
F11	Diferencial de control (histéresis) de la 2ª etapa	1	40	°C	1
F12	Retardo mínimo para conectar la salida de la 2ª etapa	0	999	seg	0
F13	Tiempo de inhibición de la alarma al conectar el controlador	0	999	min	0
F14	Tiempo de reactivación de la alarma al inhibirse manualmente	-1	999	min	-1
F15	Tiempo de alarma conectada	0	999	seg	1
F16	Tiempo de alarma desconectada	0	999	seg	1
F17	Modo de operación de la 3ª etapa	0	2	--	0
F18	Ajuste mínimo permitido al setpoint de la 3ª etapa	-99	300	°C	0
F19	Ajuste máximo permitido al setpoint de la 3ª etapa	-99	300	°C	0
F20	Diferencial de control (histéresis) de la 3ª etapa	1	40	°C	1
F21	Retardo mínimo para conectar salida de la 3ª etapa	0	999	seg	0
F22	Base de tiempo del timer cíclico de la 3ª etapa	0	1	--	0
F23	Tiempo para activación del timer cíclico de la 3ª etapa	0	999	seg	0
F24	Tiempo de timer cíclico de la 3ª etapa conectada	0	999	seg	0
F25	Tiempo de timer cíclico de la 3ª etapa desconectada	0	999	seg	0
F26	Modo de operación del timer cíclico	0	4	--	0
F27	Modo de operación del Buzzer	0	2	--	1
F28	Punto de actuación del Buzzer (límite inferior)	-99	300	°C	15
F29	Punto de actuación del Buzzer (límite superior)	-99	300	°C	65
F30	Tiempo de Buzzer conectado	0	999	seg	1
F31	Tiempo de Buzzer desconectado	0	999	seg	1
F32	Tiempo de inhibición del Buzzer en la energización	0	999	min	0
F33	Tiempo de reactivación del Buzzer al inhibirse manualmente	-1	999	min	-1
F34	Intensidad del filtro digital	0	9	--	0

Figura 2.52. Receta para el mantenimiento de electrodos de rutilo fuera de caja

Cuando los electrodos de rutilo estén fuera de caja, el operador deberá enviar la receta de la Figura 2.52 desde el Sitrad Local, con este grupo de parámetros pre-configurados la temperatura de control del horno será de 30°C, pudiendo modificarse valores entre 25 y 35°C. El horno realizará siempre el mismo proceso sin importar la posición del selector S3 (mantenimiento–resecado), y el circuito de conteo de tiempo permanecerá inhabilitado.

2.5.1.1.3 Resecado de electrodos de rutilo

Full Gauge Controls - SITRAD

Instrumento : MT-543Ri plus - v.4

Receta : Electrodos de Rutilo (resecado)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

Función	Descripción	Mínimo	Máximo	Unidad	Valor
SP1	Temperatura de control de la 1ª etapa	25	35	°C	30
SP2	Temperatura de control de la 2ª etapa	100	100	°C	100
SP3	Temperatura de control de la 3ª etapa	99	99	°C	99
F02	Corrimiento de indicación (offset)	-50	50	°C	0
F03	Modo de operación de la 1ª etapa	0 - refrig	1 - calef	--	1
F04	Ajuste mínimo permitido al setpoint de la 1ª etapa	-99	300	°C	25
F05	Ajuste máximo permitido al setpoint de la 1ª etapa	-99	300	°C	35
F06	Diferencial de control (histéresis) de la 1ª etapa	1	40	°C	1
F07	Retardo mínimo para conectar la salida de la 1ª etapa	0	999	seg	0
F08	Modo de operación de la 2ª etapa	0	4	--	1
F09	Ajuste mínimo permitido al setpoint de la 2ª etapa	-99	300	°C	100
F10	Ajuste máximo permitido al setpoint de la 2ª etapa	-99	300	°C	100
F11	Diferencial de control (histéresis) de la 2ª etapa	1	40	°C	1
F12	Retardo mínimo para conectar la salida de la 2ª etapa	0	999	seg	0
F13	Tiempo de inhibición de la alarma al conectar el controlador	0	999	min	0
F14	Tiempo de reactivación de la alarma al inhibirse manualmente	-1	999	min	-1
F15	Tiempo de alarma conectada	0	999	seg	1
F16	Tiempo de alarma desconectada	0	999	seg	1
F17	Modo de operación de la 3ª etapa	0	2	--	0
F18	Ajuste mínimo permitido al setpoint de la 3ª etapa	-99	300	°C	99
F19	Ajuste máximo permitido al setpoint de la 3ª etapa	-99	300	°C	99
F20	Diferencial de control (histéresis) de la 3ª etapa	1	40	°C	1
F21	Retardo mínimo para conectar salida de la 3ª etapa	0	999	seg	0
F22	Base de tiempo del timer cíclico de la 3ª etapa	0	1	--	0
F23	Tiempo para activación del timer cíclico de la 3ª etapa	0	999	seg	0
F24	Tiempo de timer cíclico de la 3ª etapa conectada	0	999	seg	0
F25	Tiempo de timer cíclico de la 3ª etapa desconectada	0	999	seg	0
F26	Modo de operación del timer cíclico	0	4	--	0
F27	Modo de operación del Buzzer	0	2	--	1
F28	Punto de actuación del Buzzer (límite inferior)	-99	300	°C	15
F29	Punto de actuación del Buzzer (límite superior)	-99	300	°C	150
F30	Tiempo de Buzzer conectado	0	999	seg	1
F31	Tiempo de Buzzer desconectado	0	999	seg	1
F32	Tiempo de inhibición del Buzzer en la energización	0	999	min	0
F33	Tiempo de reactivación del Buzzer al inhibirse manualmente	-1	999	min	-1
F34	Intensidad del filtro digital	0	9	--	0

Figura 2.53. Receta para el resecado de electrodos de rutilo

Si el operador desea realizar el resecado de electrodos de rutilo deberá enviar la receta de la Figura 2.53 desde el Sitrad Local, y luego ubicar el selector S3 en la posición de resecado. La temperatura de control del horno para el proceso será de 100°C durante 120 min; transcurrido el tiempo, el proceso pasará automáticamente a modo mantenimiento con una temperatura de control de 30°C.

2.5.1.2 Recetas para electrodos de revestimiento básico

2.5.1.2.1 Almacenamiento de electrodos básicos en cajas cerradas

Full Gauge Controls - SITRAD

Instrumento : MT-543Ri plus - v.4

Receta : Electrodos Básicos (almacenamiento caja cerrada)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

Función	Descripción	Mínimo	Máximo	Unidad	Valor
SP1	Temperatura de control de la 1ª etapa	35	60	°C	35
SP2	Temperatura de control de la 2ª etapa	35	60	°C	35
SP3	Temperatura de control de la 3ª etapa	0	0	°C	0
F02	Corrimiento de indicación (offset)	-50	50	°C	0
F03	Modo de operación de la 1ª etapa	0 - refrig	1 - calef	--	1
F04	Ajuste mínimo permitido al setpoint de la 1ª etapa	-99	300	°C	35
F05	Ajuste máximo permitido al setpoint de la 1ª etapa	-99	300	°C	60
F06	Diferencial de control (histéresis) de la 1ª etapa	1	40	°C	1
F07	Retardo mínimo para conectar la salida de la 1ª etapa	0	999	seg	0
F08	Modo de operación de la 2ª etapa	0	4	--	1
F09	Ajuste mínimo permitido al setpoint de la 2ª etapa	-99	300	°C	35
F10	Ajuste máximo permitido al setpoint de la 2ª etapa	-99	300	°C	60
F11	Diferencial de control (histéresis) de la 2ª etapa	1	40	°C	1
F12	Retardo mínimo para conectar la salida de la 2ª etapa	0	999	seg	1
F13	Tiempo de inhibición de la alarma al conectar el controlador	0	999	min	0
F14	Tiempo de reactivación de la alarma al inhibirse manualmente	-1	999	min	-1
F15	Tiempo de alarma conectada	0	999	seg	1
F16	Tiempo de alarma desconectada	0	999	seg	1
F17	Modo de operación de la 3ª etapa	0	2	--	1
F18	Ajuste mínimo permitido al setpoint de la 3ª etapa	-99	300	°C	0
F19	Ajuste máximo permitido al setpoint de la 3ª etapa	-99	300	°C	0
F20	Diferencial de control (histéresis) de la 3ª etapa	1	40	°C	1
F21	Retardo mínimo para conectar salida de la 3ª etapa	0	999	seg	0
F22	Base de tiempo del timer cíclico de la 3ª etapa	0	1	--	0
F23	Tiempo para activación del timer cíclico de la 3ª etapa	0	999	seg	0
F24	Tiempo de timer cíclico de la 3ª etapa conectada	0	999	seg	0
F25	Tiempo de timer cíclico de la 3ª etapa desconectada	0	999	seg	0
F26	Modo de operación del timer cíclico	0	4	--	0
F27	Modo de operación del Buzzer	0	2	--	1
F28	Punto de actuación del Buzzer (límite inferior)	-99	300	°C	15
F29	Punto de actuación del Buzzer (límite superior)	-99	300	°C	90
F30	Tiempo de Buzzer conectado	0	999	seg	1
F31	Tiempo de Buzzer desconectado	0	999	seg	1
F32	Tiempo de inhibición del Buzzer en la energización	0	999	min	0
F33	Tiempo de reactivación del Buzzer al inhibirse manualmente	-1	999	min	-1
F34	Intensidad del filtro digital	0	9	--	0

Figura 2.54. Receta para el almacenamiento de electrodos básicos en cajas cerradas

Cuando se desee almacenar electrodos básicos en cajas cerradas, el operador deberá enviar la receta de la Figura 2.54 desde el Sitrad Local, con este grupo de parámetros pre-configurados la temperatura de control del horno será de 35°C, pudiendo modificarse valores entre 35 y 60°C. El horno realizará siempre el mismo proceso sin importar la posición del selector S3 (mantenimiento–resecado), y el circuito de conteo de tiempo permanecerá inhabilitado.

2.5.1.2.2 Mantenimiento de electrodos básicos fuera de caja

Full Gauge Controls - SITRAD

Instrumento : MT-543Ri plus - v.4

Receta : Electrodos Básicos (mantenimiento)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

Función	Descripción	Mínimo	Máximo	Unidad	Valor
SP1	Temperatura de control de la 1ª etapa	45	155	°C	60
SP2	Temperatura de control de la 2ª etapa	45	155	°C	60
SP3	Temperatura de control de la 3ª etapa	0	0	°C	0
F02	Corrimiento de indicación (offset)	-50	50	°C	0
F03	Modo de operación de la 1ª etapa	0 - refrig	1 - calef	--	1
F04	Ajuste mínimo permitido al setpoint de la 1ª etapa	-99	300	°C	45
F05	Ajuste máximo permitido al setpoint de la 1ª etapa	-99	300	°C	155
F06	Diferencial de control (histéresis) de la 1ª etapa	1	40	°C	1
F07	Retardo mínimo para conectar la salida de la 1ª etapa	0	999	seg	0
F08	Modo de operación de la 2ª etapa	0	4	--	1
F09	Ajuste mínimo permitido al setpoint de la 2ª etapa	-99	300	°C	45
F10	Ajuste máximo permitido al setpoint de la 2ª etapa	-99	300	°C	155
F11	Diferencial de control (histéresis) de la 2ª etapa	1	40	°C	1
F12	Retardo mínimo para conectar la salida de la 2ª etapa	0	999	seg	0
F13	Tiempo de inhibición de la alarma al conectar el controlador	0	999	min	0
F14	Tiempo de reactivación de la alarma al inhibirse manualmente	-1	999	min	-1
F15	Tiempo de alarma conectada	0	999	seg	1
F16	Tiempo de alarma desconectada	0	999	seg	1
F17	Modo de operación de la 3ª etapa	0	2	--	0
F18	Ajuste mínimo permitido al setpoint de la 3ª etapa	-99	300	°C	0
F19	Ajuste máximo permitido al setpoint de la 3ª etapa	-99	300	°C	0
F20	Diferencial de control (histéresis) de la 3ª etapa	1	40	°C	1
F21	Retardo mínimo para conectar salida de la 3ª etapa	0	999	seg	0
F22	Base de tiempo del timer cíclico de la 3ª etapa	0	1	--	0
F23	Tiempo para activación del timer cíclico de la 3ª etapa	0	999	seg	0
F24	Tiempo de timer cíclico de la 3ª etapa conectada	0	999	seg	0
F25	Tiempo de timer cíclico de la 3ª etapa desconectada	0	999	seg	0
F26	Modo de operación del timer cíclico	0	4	--	0
F27	Modo de operación del Buzzer	0	2	--	1
F28	Punto de actuación del Buzzer (límite inferior)	-99	300	°C	15
F29	Punto de actuación del Buzzer (límite superior)	-99	300	°C	190
F30	Tiempo de Buzzer conectado	0	999	seg	1
F31	Tiempo de Buzzer desconectado	0	999	seg	1
F32	Tiempo de inhibición del Buzzer en la energización	0	999	min	0
F33	Tiempo de reactivación del Buzzer al inhibirse manualmente	-1	999	min	-1
F34	Intensidad del filtro digital	0	9	--	0

Figura 2.55. Receta para el mantenimiento de electrodos básicos fuera de caja

Cuando los electrodos básicos estén fuera de caja, el operador deberá enviar la receta de la Figura 2.55 desde el Sitrad Local, con este grupo de parámetros pre-configurados la temperatura de control del horno será de 60°C, pudiendo modificarse valores entre 45 y 155°C. El horno realizará siempre el mismo proceso sin importar la posición del selector S3 (mantenimiento–resecado), y el circuito de conteo de tiempo permanecerá inhabilitado.

2.5.1.2.3 Resecado de electrodos básicos

Full Gauge Controls - SITRAD

Instrumento : MT-543Ri plus - v.4

Receta : Electrodos Básicos (resecado)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

Función	Descripción	Mínimo	Máximo	Unidad	Valor
SP1	Temperatura de control de la 1ª etapa	45	155	°C	60
SP2	Temperatura de control de la 2ª etapa	250	250	°C	250
SP3	Temperatura de control de la 3ª etapa	249	249	°C	249
F02	Corrimiento de indicación (offset)	-50	50	°C	0
F03	Modo de operación de la 1ª etapa	0 - refrig	1 - calef	--	1
F04	Ajuste mínimo permitido al setpoint de la 1ª etapa	-99	300	°C	45
F05	Ajuste máximo permitido al setpoint de la 1ª etapa	-99	300	°C	155
F06	Diferencial de control (histéresis) de la 1ª etapa	1	40	°C	1
F07	Retardo mínimo para conectar la salida de la 1ª etapa	0	999	seg	0
F08	Modo de operación de la 2ª etapa	0	4	--	1
F09	Ajuste mínimo permitido al setpoint de la 2ª etapa	-99	300	°C	250
F10	Ajuste máximo permitido al setpoint de la 2ª etapa	-99	300	°C	250
F11	Diferencial de control (histéresis) de la 2ª etapa	1	40	°C	1
F12	Retardo mínimo para conectar la salida de la 2ª etapa	0	999	seg	0
F13	Tiempo de inhibición de la alarma al conectar el controlador	0	999	min	0
F14	Tiempo de reactivación de la alarma al inhibirse manualmente	-1	999	min	-1
F15	Tiempo de alarma conectada	0	999	seg	1
F16	Tiempo de alarma desconectada	0	999	seg	1
F17	Modo de operación de la 3ª etapa	0	2	--	0
F18	Ajuste mínimo permitido al setpoint de la 3ª etapa	-99	300	°C	249
F19	Ajuste máximo permitido al setpoint de la 3ª etapa	-99	300	°C	249
F20	Diferencial de control (histéresis) de la 3ª etapa	1	40	°C	1
F21	Retardo mínimo para conectar salida de la 3ª etapa	0	999	seg	0
F22	Base de tiempo del timer cíclico de la 3ª etapa	0	1	--	0
F23	Tiempo para activación del timer cíclico de la 3ª etapa	0	999	seg	0
F24	Tiempo de timer cíclico de la 3ª etapa conectada	0	999	seg	0
F25	Tiempo de timer cíclico de la 3ª etapa desconectada	0	999	seg	0
F26	Modo de operación del timer cíclico	0	4	--	0
F27	Modo de operación del Buzzer	0	2	--	1
F28	Punto de actuación del Buzzer (límite inferior)	-99	300	°C	15
F29	Punto de actuación del Buzzer (límite superior)	-99	300	°C	300
F30	Tiempo de Buzzer conectado	0	999	seg	1
F31	Tiempo de Buzzer desconectado	0	999	seg	1
F32	Tiempo de inhibición del Buzzer en la energización	0	999	min	0
F33	Tiempo de reactivación del Buzzer al inhibirse manualmente	-1	999	min	-1
F34	Intensidad del filtro digital	0	9	--	0

Figura 2.56. Receta para el resecado de electrodos básicos

Si el operador desea realizar el resecado de electrodos básicos deberá enviar la receta de la Figura 2.56 desde el Sitrad Local, y luego ubicar el selector S3 en la posición de resecado. La temperatura de control del horno para el proceso será de 250°C durante 120 min; transcurrido el tiempo, el proceso pasará automáticamente a modo mantenimiento con una temperatura de control de 60°C.

2.5.1.3 Receta de mantenimiento y resecado libre

Full Gauge Controls - SITRAD

Instrumento : MT-543Ri plus - v.4

Receta : Mantenimiento y resecado libre

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

Función	Descripción	Mínimo	Máximo	Unidad	Valor
SP1	Temperatura de control de la 1ª etapa	15	155	°C	60
SP2	Temperatura de control de la 2ª etapa	15	250	°C	150
SP3	Temperatura de control de la 3ª etapa	15	250	°C	149
F02	Corrimiento de indicación (offset)	-50	50	°C	0
F03	Modo de operación de la 1ª etapa	0 - refrig	1 - calef	--	1
F04	Ajuste mínimo permitido al setpoint de la 1ª etapa	-99	300	°C	15
F05	Ajuste máximo permitido al setpoint de la 1ª etapa	-99	300	°C	155
F06	Diferencial de control (histéresis) de la 1ª etapa	1	40	°C	1
F07	Retardo mínimo para conectar la salida de la 1ª etapa	0	999	seg	0
F08	Modo de operación de la 2ª etapa	0	4	--	1
F09	Ajuste mínimo permitido al setpoint de la 2ª etapa	-99	300	°C	15
F10	Ajuste máximo permitido al setpoint de la 2ª etapa	-99	300	°C	250
F11	Diferencial de control (histéresis) de la 2ª etapa	1	40	°C	1
F12	Retardo mínimo para conectar la salida de la 2ª etapa	0	999	seg	0
F13	Tiempo de inhibición de la alarma al conectar el controlador	0	999	min	0
F14	Tiempo de reactivación de la alarma al inhibirse manualmente	-1	999	min	-1
F15	Tiempo de alarma conectada	0	999	seg	1
F16	Tiempo de alarma desconectada	0	999	seg	1
F17	Modo de operación de la 3ª etapa	0	2	--	0
F18	Ajuste mínimo permitido al setpoint de la 3ª etapa	-99	300	°C	15
F19	Ajuste máximo permitido al setpoint de la 3ª etapa	-99	300	°C	250
F20	Diferencial de control (histéresis) de la 3ª etapa	1	40	°C	1
F21	Retardo mínimo para conectar salida de la 3ª etapa	0	999	seg	0
F22	Base de tiempo del timer cíclico de la 3ª etapa	0	1	--	0
F23	Tiempo para activación del timer cíclico de la 3ª etapa	0	999	seg	0
F24	Tiempo de timer cíclico de la 3ª etapa conectada	0	999	seg	0
F25	Tiempo de timer cíclico de la 3ª etapa desconectada	0	999	seg	0
F26	Modo de operación del timer cíclico	0	4	--	0
F27	Modo de operación del Buzzer	0	2	--	1
F28	Punto de actuación del Buzzer (límite inferior)	-99	300	°C	15
F29	Punto de actuación del Buzzer (límite superior)	-99	300	°C	300
F30	Tiempo de Buzzer conectado	0	999	seg	1
F31	Tiempo de Buzzer desconectado	0	999	seg	1
F32	Tiempo de inhibición del Buzzer en la energización	0	999	min	0
F33	Tiempo de reactivación del Buzzer al inhibirse manualmente	-1	999	min	-1
F34	Intensidad del filtro digital	0	9	--	0

Figura 2.57. Receta de mantenimiento y resecado libre

Esta receta se ha creado con el fin de brindar al operador libertad para elegir los valores de temperatura de control en el proceso de mantenimiento y resecado; esto puede aplicarse cuando se procesen electrodos de varios tipos, de distintos fabricantes o para realizar pruebas de niveles de humedad del revestimiento. En este caso el operador tendrá que elegir e ingresar los valores de temperatura de control de cada etapa, ya sea desde el Sitrad Local o desde las teclas de acceso rápido del controlador, además debe seleccionar el proceso que desea realizar mediante el selector S3 del tablero de control.

2.5.2 CALIBRACIÓN DEL TEMPORIZADOR O TIMER

El tiempo de resecado se calibró en el timer de acuerdo al valor elegido en la Tabla 2.3, esto se efectuó colocando el dip-switch superior hacia la derecha (en 3) (Ver Figura 2.58) y el dip-switch inferior hacia la izquierda (en H), de esta manera se consiguió un rango de control de tiempo de 0 a 3 horas, luego se movió la perilla hasta la marca de 2 horas que equivalen a 120 minutos, esta calibración puede verse en la Figura 2.58.

Figura 2.58. Calibración del Timer

CAPÍTULO III

3 PRUEBAS Y RESULTADOS

3.1 GENERALIDADES

En este capítulo se presenta el procedimiento y resultados de las pruebas realizadas para comprobar el correcto funcionamiento de las diferentes partes del horno, esto con el fin de que cumpla con la tarea del mantenimiento y resecado de electrodos recubiertos. Se seleccionaron como muestra electrodos 7018 del fabricante Indura; puesto que, como se mencionó anteriormente, este electrodo es el más utilizado para ensayos en el laboratorio de soldadura, y además es uno de los más exigentes en cuanto al contenido de humedad relativa del revestimiento; de 0.40% conforme a la norma AWS A5.1 (ver Tabla 1.3). Por lo tanto se ha considerado importante realizar las siguientes pruebas:

- Prueba de funcionamiento
- Prueba de reducción de humedad del revestimiento

3.2 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO

3.2.1 PROCEDIMIENTO

Para esta prueba se utilizaron 25 Kg de electrodos 7018 que habían permanecido fuera del empaque a temperatura ambiente por más de cuatro horas en el laboratorio de soldadura, se procedió a ubicarlos sobre los estantes dentro del horno como se observa en la Figura 3.1. Luego de encender el horno se envió la receta para el resecado de electrodos básicos del apartado 2.5.1.2.3 desde el

computador mediante el Sitrad Local, después se cerraron las puertas del horno y se colocó el selector S3 del tablero de control en la posición de resecado. El proceso fue monitoreado en todo momento utilizando el Sitrad Local y Mobile.

Figura 3.1. Electrodos 7018 distribuidos sobre estantes dentro del horno

3.2.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como resultado de esta prueba se ha generado el gráfico de la Figura 3.2 de Tiempo vs. Temperatura mediante el utilitario Generador de Informes del Sitrad Local, esto con el fin de observar y analizar las variaciones de temperatura con respecto al tiempo en el proceso de resecado y mantenimiento de los electrodos. En esta gráfica se observa que cuando la curva alcanza la temperatura de resecado de 250°C (línea azul) la salida OUT3 (franja roja) comienza a actuar; en ese momento empieza el conteo del tiempo de resecado el cual transcurre desde las 11:50 hasta las 13:50 cumpliéndose las dos horas o 120 minutos. Durante este tiempo se observa que la temperatura fluctúa alrededor de 245 y 265°C. Después del transcurso del tiempo la curva desciende lentamente hasta mantenerse en la temperatura de mantenimiento de 60°C aproximadamente. El análisis de esta gráfica muestra que tanto el sistema de calentamiento, el de control y el de monitoreo del horno actúan correctamente, de acuerdo al funcionamiento propuesto en el apartado 2.3.2.5.2.

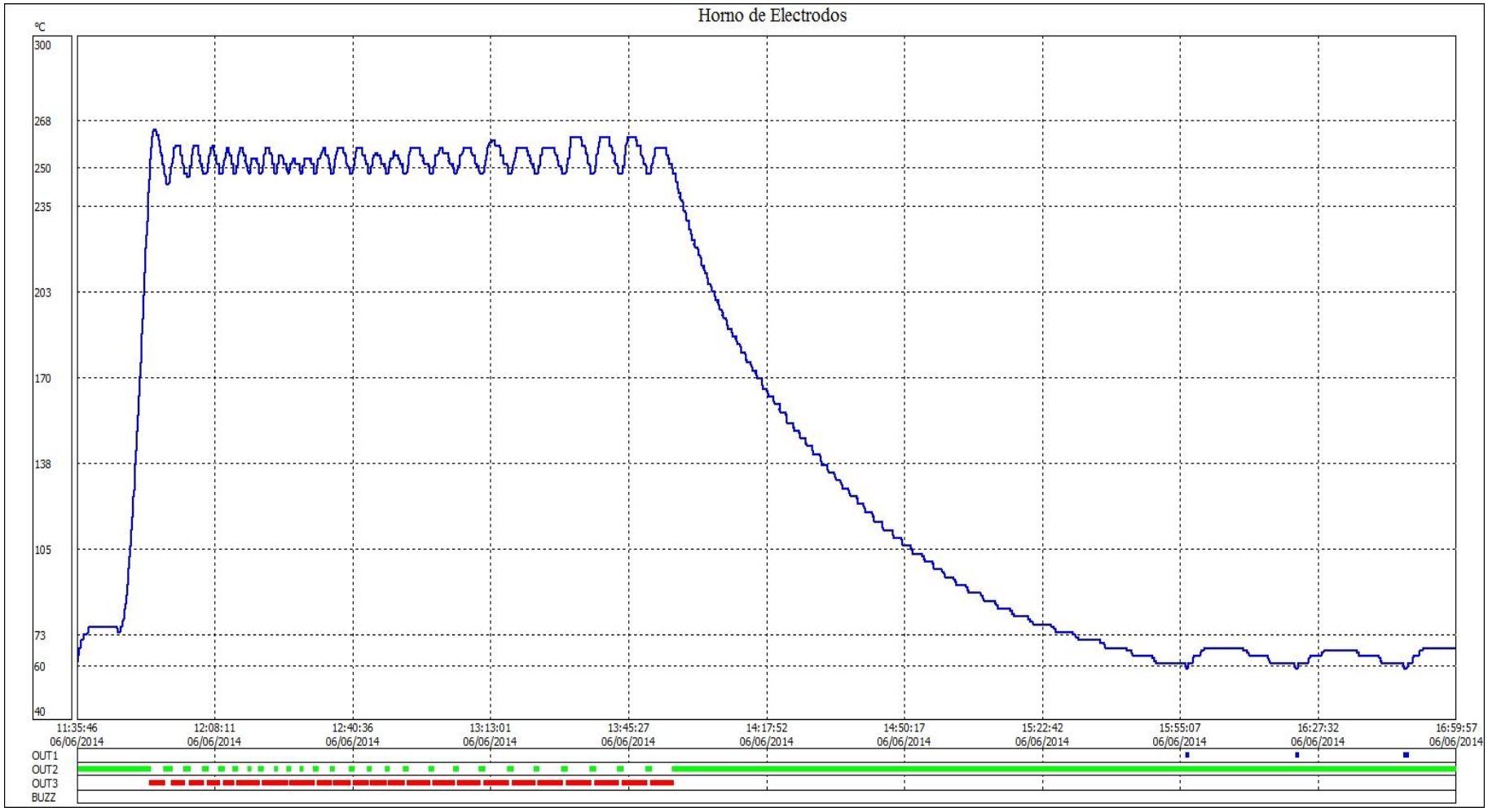


Figura 3.2. Tiempo vs. Temperatura del proceso de resecado y mantenimiento de electrodos 7018.

3.3 PRUEBA DE REDUCCIÓN DE HUMEDAD DEL REVESTIMIENTO

3.3.1 PROCEDIMIENTO

Para realizar esta prueba se ha utilizado una muestra de 2Kg de electrodos 7018 del fabricante Indura, además del apartado 2.2.2.1 se conoce que: un electrodo 7018 de diámetro 3.2mm (nuevo recién sacado del empaque) pesa: 35.7g, y que en 2 Kg. de electrodos 7018 Indura hay 56 unidades.

Se sumergió completamente en agua durante 5 minutos los 56 electrodos 7018, con el fin de simular la situación de humedad más extrema. Luego se sacó del agua y se dejó escurrir el electrodo unos minutos más, e inmediatamente se realizó el pesaje de cada electrodo, obteniéndose un valor promedio de 37.8 g. por cada electrodo.

Posteriormente se introdujeron los electrodos al horno a temperaturas de 50, 100, 150, 200 y 250°C; para esto, se repartió la muestra en cinco grupos; cuatro grupos de 11 electrodos y uno de 12 electrodos, de esta manera se completa el total de la muestra.

Se pesó uno a uno los electrodos de cada grupo al cabo de 20, 40, 60, 80, 100 y 120 minutos para cada valor de temperatura de resecado, esto se realizó mediante el conteo del Timer.

Para la programación del controlador de temperatura, se envió desde el computador la receta de mantenimiento y resecado libre del apartado 2.5.1.3, y se colocó el selector S3 en la posición de resecado.

3.3.2 RESULTADOS

3.3.2.1 Prueba de reducción de humedad a 50°C

En la Tabla 3.1 se muestra la recolección de datos de peso del primer grupo de electrodos sometidos a prueba a temperatura de 50°C en distintos intervalos de tiempo, además al final de cada columna se observa el promedio de peso para cada tiempo de resecado.

Tabla 3.1. Pesaje de electrodos 7018 resecados a 50°C en distintos intervalos de tiempo

Muestra	Peso (g) Temperatura de 50°C					
	20 min.	**40 min.**	**60 min.**	**80 min.**	**100 min.**	**120 min.**
1	37,75	37,7	37,65	37,6	37,55	37,5
2	37,8	37,6	37,65	37,59	37,54	37,49
3	37,7	37,5	37,64	37,58	37,52	37,5
4	37,8	37,7	37,66	37,6	37,55	37,5
5	37,75	37,7	37,66	37,61	37,57	37,49
6	37,75	37,6	37,65	37,58	37,58	37,49
7	37,8	37,7	37,66	37,6	37,55	37,5
8	37,7	37,7	37,64	37,6	37,52	37,48
9	37,6	37,8	37,62	37,59	37,54	37,5
10	37,9	37,8	37,63	37,59	37,56	37,49
11	37,75	37,8	37,65	37,61	37,56	37,48
Promedio	**37,75**	**37,69**	**37,65**	**37,60**	**37,55**	**37,5**

Con el valor promedio se ha calculado el contenido de humedad[1] que absorben los electrodos en cada intervalo de tiempo, mediante la siguiente expresión:

$$\%H_{bs} = \frac{mh - ms}{ms} \times 100 \qquad \text{(Ecuación 3.1)}$$

[1] Martines L., E., & Lira C., L. (27 al 29 de Octubre de 2010). *Análisis y Aplicación de las Expresiones del Contenido de Humedad en Sólidos.*

Donde:

H_{bs}: Humedad de cada electrodo (%)

mh: masa del electrodo húmedo (g)

ms: masa del electrodo seco (g)

A continuación se realizarán dos ejemplos de cálculo del contenido de humedad con los siguientes datos:

- El promedio de peso de los electrodos 7018 humedecidos es de 37.8 gramos a 0 minutos de resecado.
- El promedio de peso de los electrodos 7018 humedecidos que permanecieron 120 minutos a 50°C es de 37.5 gramos (Ver Tabla 3.2).
- El peso del electrodo 7018 nuevo es de 35.7 gramos (valor de referencia)

$$\%H_{bs} = \frac{mh - ms}{ms} \times 100$$

$$\%H_{bs} = \frac{(37.8 - 35.7)g}{35.7g} \times 100$$

$$\%\boldsymbol{H_{bs}} = \mathbf{5.8824}\%$$

$$\%H_{bs} = \frac{(37.5 - 35.7)g}{35.7g} \times 100$$

$$\%\boldsymbol{H_{bs}} = \mathbf{5.042}\%$$

Del mismo modo se calcularon el resto de valores del contenido de humedad para cada intervalo de tiempo, estos datos se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 3.2. Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 7018 resecados a 50°C en distintos intervalos de tiempo

Tiempo (min)	Humedad (%)	Promedio de Peso (g)
0	5,8824	37,8
20	5,7423	37,75
40	5,6022	37,7
60	5,4622	37,65
80	5,3221	37,6
100	5,1821	37,55
120	5,042	37,5

Con los valores de la Tabla 3.2 se ha elaborado un gráfico que muestra la tendencia de variación del contenido de humedad obtenida con respecto al tiempo de resecado de los electrodos sometidos a prueba (Ver Figura 3.3). También se observa la línea de referencia del valor de humedad recomendada de 0.40%.

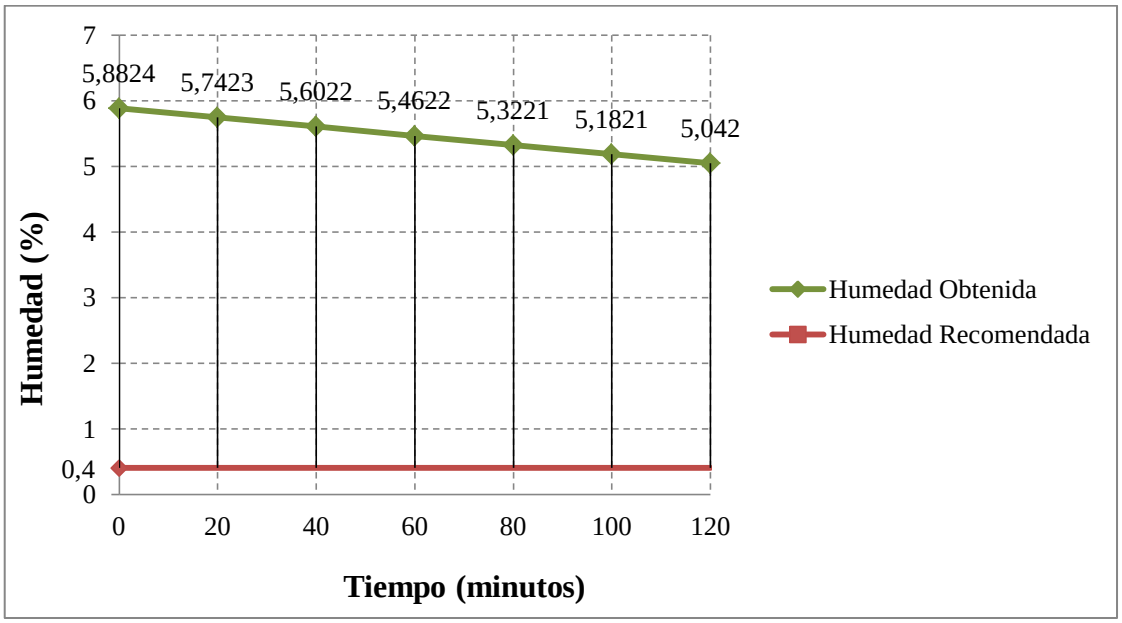


Figura 3.3. Tiempo vs. Humedad de electrodos 7018 resecados a 50°C

3.3.2.2 Prueba de reducción de humedad a 100°C

Para este ensayo se procedió de manera similar al apartado anterior, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 3.3. Pesaje de electrodos 7018 resecados a 100°C en distintos intervalos de tiempo

Muestra	Peso (g) Temperatura de 100°C					
	20 min.	**40 min.**	**60 min.**	**80 min.**	**100 min.**	**120 min.**
1	37,5	37,4	37,3	37,2	37,1	37,03
2	37,5	37,3	37,2	37,3	37,1	37,05
3	37,6	37,4	37,4	37,3	37,2	37,04
4	37,3	37,5	37,5	37,2	37,3	37,04
5	37,5	37,6	37,4	37,2	37,1	37,05
6	37,6	37,4	37,3	37,1	37,1	37,04
7	37,7	37,3	37,2	37,1	37	37,04
8	37,4	37,5	37,5	37,3	37,1	37,03
9	37,5	37,4	37,2	37,3	37,2	37,05
10	37,6	37,5	37,4	37,2	37,1	37,04
11	37,5	37,4	37,4	37,2	37,1	37,05
Promedio	**37,52**	**37,43**	**37,35**	**37,22**	**37,13**	**37,04**

Tabla 3.4. Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 7018 resecados a 100°C en distintos intervalos de tiempo

Tiempo (min)	Humedad (%)	Promedio de Peso (g)
0	5,8824	37,8
20	5,098	37,52
40	4,846	37,43
60	4,622	37,35
80	4,257	37,22
100	4,006	37,13
120	3,754	37,04

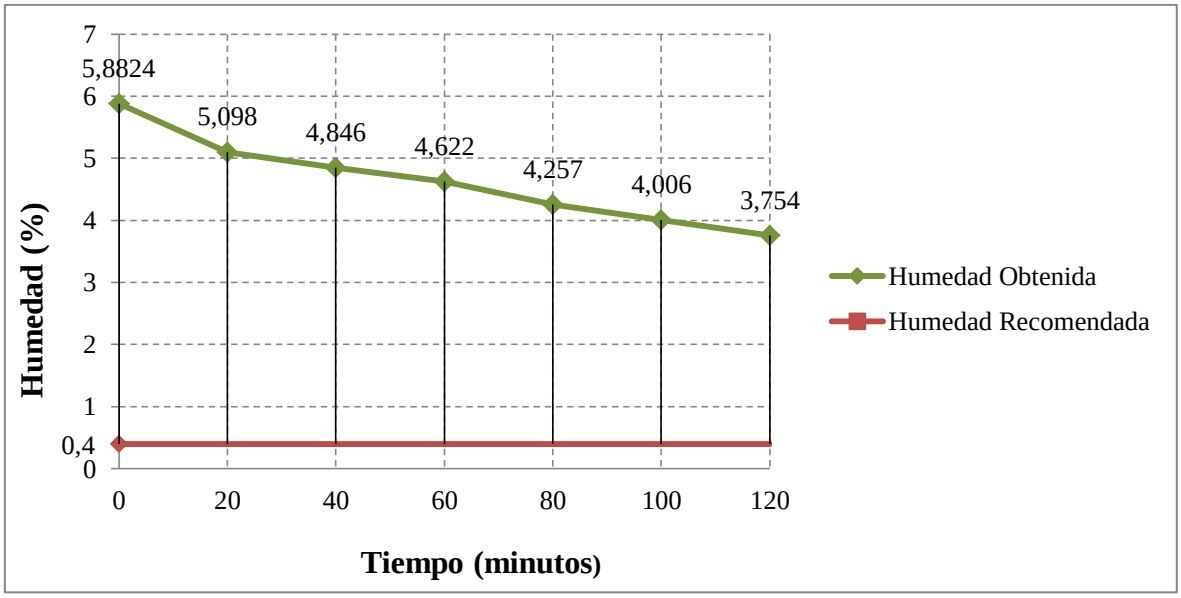


Figura 3.4. Tiempo vs. Humedad de electrodos 7018 resecados a 100°C

3.3.2.3 Prueba de reducción de humedad a 150°C

Tabla 3.5. Pesaje de electrodos 7018 resecados a 150°C en distintos intervalos de tiempo

Muestra	Peso (g) Temperatura de 150°C					
	20 min.	40 min.	60 min.	80 min.	100 min.	120 min.
1	37,02	37,01	36,9	36,8	36,7	36,6
2	37,02	37,02	36,9	36,8	36,6	36,5
3	37,03	37,01	37	36,7	36,8	36,7
4	37,01	37	36,8	36,7	36,7	36,6
5	37,03	37,03	36,9	36,7	36,8	36,6
6	37,02	37,02	36,8	36,8	36,7	36,5
7	37,02	37,01	36,9	36,8	36,7	36,5
8	37,01	37,01	36,9	36,9	36,6	36,7
9	37,02	37,02	37	36,9	36,8	36,7
10	37,01	37	36,9	36,8	36,7	36,5
11	37,02	37,01	36,9	36,9	36,6	36,6
Promedio	**37,02**	**37,01**	**36,90**	**36,80**	**36,70**	**36,59**

Tabla 3.6. Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 7018 resecados a 150°C en distintos intervalos de tiempo

Tiempo (min)	Humedad (%)	Promedio de Peso (g)
0	5,8824	37,8
20	3,6975	37,02
40	3,6695	37,01
60	3,3613	36,9
80	3,0812	36,8
100	2,8011	36,7
120	2,493	36,59

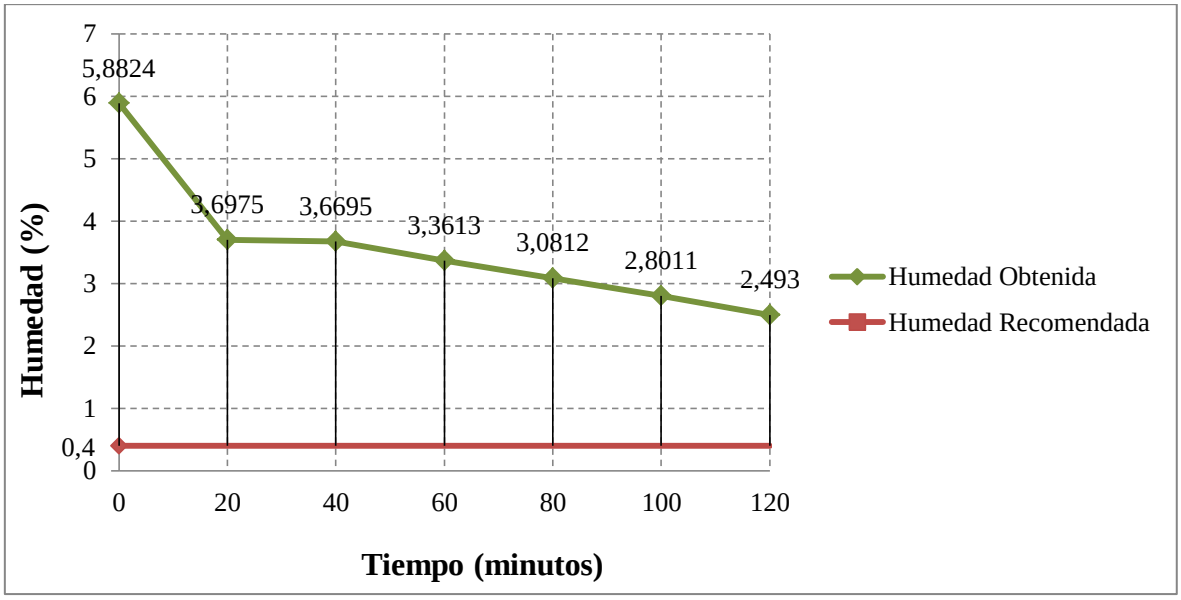


Figura 3.5. Tiempo vs. Humedad de electrodos 7018 resecados a 150°C

3.3.2.4 Prueba de reducción de humedad a 200°C

Tabla 3.7. Pesaje de electrodos 7018 resecados a 200°C en distintos intervalos de tiempo

Muestra	Peso (g) Temperatura de 200°C					
	20 min.	**40 min.**	**60 min.**	**80 min.**	**100 min.**	**120 min.**
1	36,6	36,5	36,4	36,3	36,2	36,15
2	36,5	36,5	36,4	36,4	36,2	36,13
3	36,7	36,6	36,3	36,2	36,3	36,14
4	36,5	36,4	36,5	36,3	36,1	36,15
5	36,5	36,4	36,2	36,4	36,2	36,16
6	36,6	36,5	36,1	36,4	36,2	36,16
7	36,7	36,5	36,4	36,4	36,3	36,15
8	36,6	36,6	36,5	36,3	36,1	36,15
9	36,7	36,7	36,4	36,3	36,3	36,14
10	36,5	36,4	36,5	36,4	36,3	36,15
11	36,6	36,6	36,5	36,2	36,3	36,16
Promedio	**36,6**	**36,52**	**36,38**	**36,33**	**36,23**	**36,15**

Tabla 3.8. Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 7018 resecados a 200°C en distintos intervalos de tiempo

Tiempo (min)	Humedad (%)	Promedio de Peso (g)
0	5,8824	37,8
20	2,521	36,6
40	2,297	36,52
60	1,905	36,38
80	1,765	36,33
100	1,485	36,23
120	1,2605	36,15

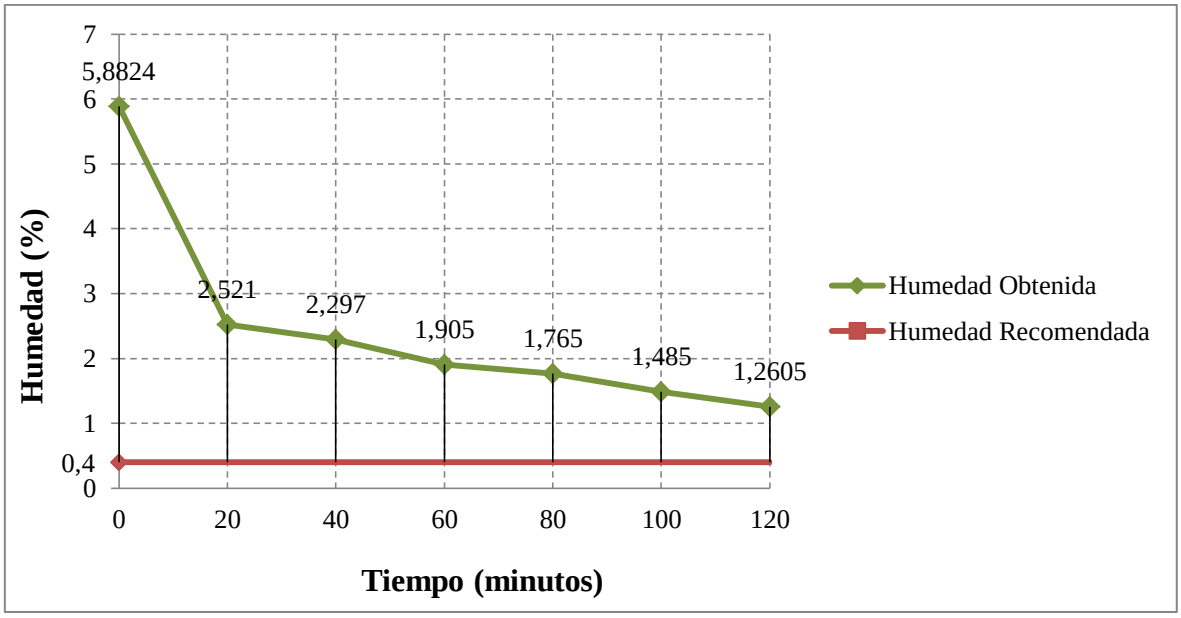


Figura 3.6. Tiempo vs. Humedad de electrodos 7018 resecados a 200°C

3.3.2.5 Prueba de reducción de humedad a 250°C

Tabla 3.9. Pesaje de electrodos 7018 resecados a 250°C en distintos intervalos de tiempo

Muestra	Peso (g) Temperatura de 250°C					
	20 min.	**40 min.**	**60 min.**	**80 min.**	**100 min.**	**120 min.**
1	36,15	36,1	36	35,9	35,8	35,84
2	36,14	36,2	36,1	35,9	36	35,85
3	36,15	36,1	35,9	35,9	35,9	35,84
4	36,13	36	35,8	35,8	35,6	35,83
5	36,15	36,1	36	36	35,9	35,85
6	36,15	36,1	36	35,8	35,9	35,84
7	36,15	36	36,1	35,9	35,8	35,84
8	36,16	36,09	36,1	35,9	36	35,83
9	36,16	36,2	36	36	35,9	35,85
10	36,15	36,2	35,9	35,8	36	35,84
11	36,15	36,1	36	35,9	35,7	35,84
12	36,16	36,1	36	35,9	36	35,85
Promedio	**36,15**	**36,11**	**36**	**35,9**	**35,88**	**35,84**

Tabla 3.10. Valores de humedad y promedios de peso de electrodos 7018 resecados a 250°C en distintos intervalos de tiempo

Tiempo (min)	Humedad (%)	Promedio de Peso (g)
0	5,8824	37,8
20	1,2605	36,15
40	1,1485	36,11
60	0,8403	36
80	0,5602	35,9
100	0,5042	35,88
120	0,3922	35,84

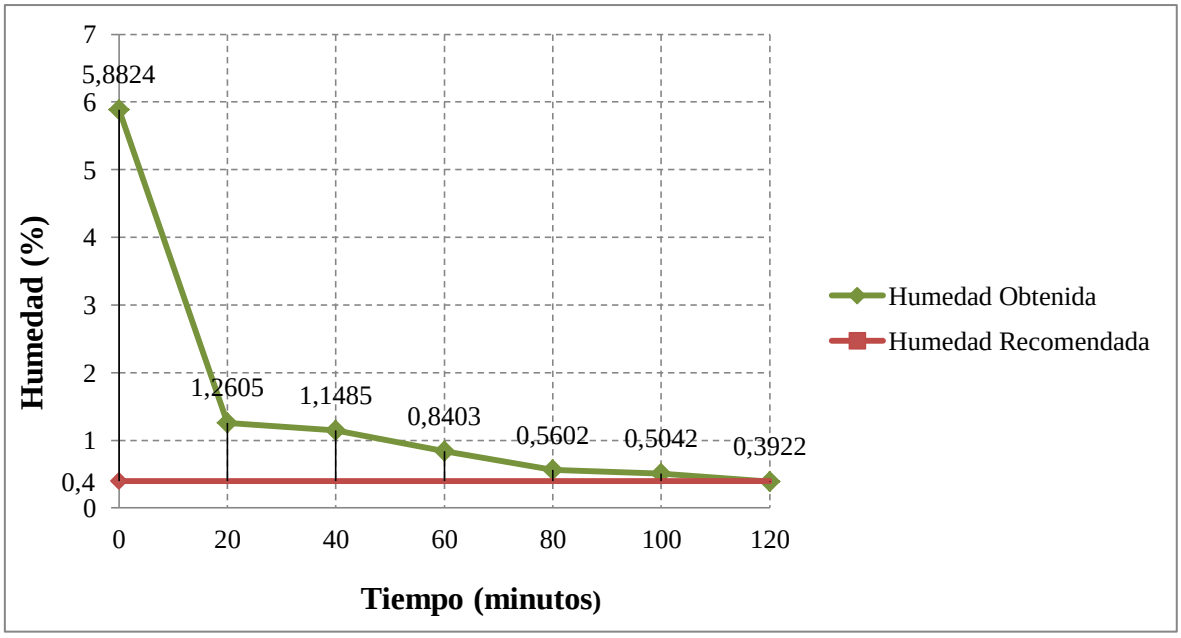


Figura 3.7. Tiempo vs. Humedad de electrodos 7018 resecados a 250°C

3.3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el gráfico de la Figura 3.8 se observa que conforme aumenta la temperatura y el tiempo de resecado de los electrodos 7018, el porcentaje de contenido de humedad relativa disminuye y se acerca al nivel recomendado. También se observa que en el intervalo de 120 minutos a una temperatura de 250 °C, la humedad alcanza un valor de 0,39 %, que es muy cercano al contenido recomendado por la norma AWS A5.1, este dato señala que la muestra de electrodos ha sido recuperada.

Estos resultados muestran que el horno es capaz de cumplir con la función de retirar la humedad excesiva presente en el revestimiento de los electrodos, hasta los niveles indicados por la norma AWS A5.1. De esta manera se pueden devolver las características operativas a electrodos que han absorbido humedad más allá de los límites.

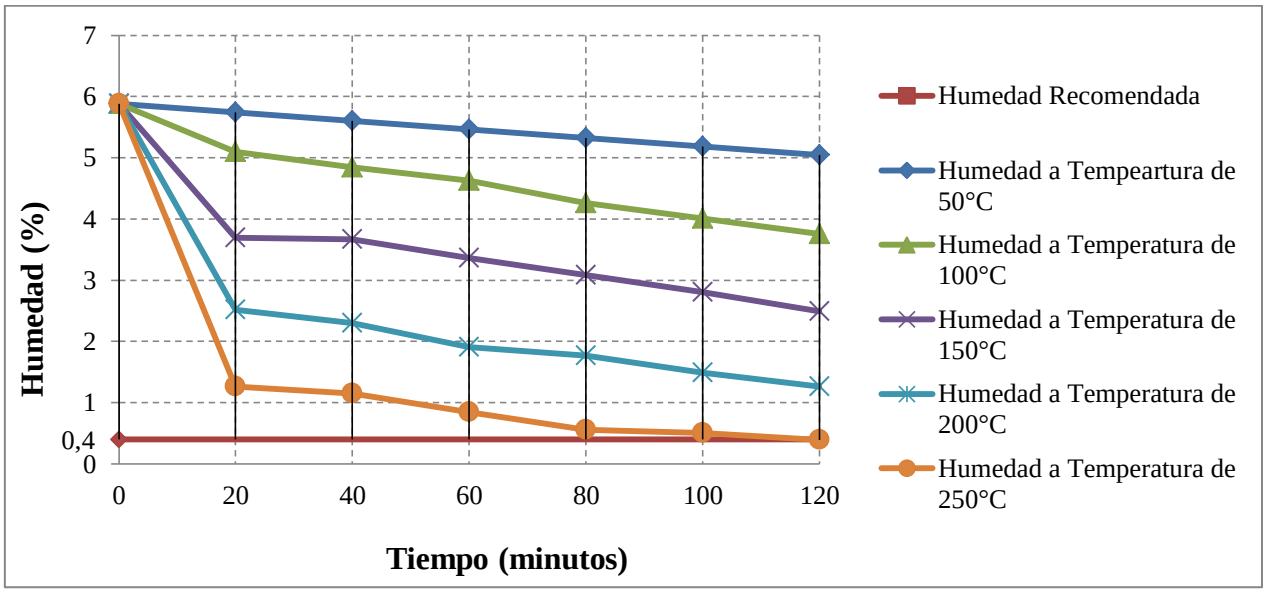


Figura 3.8. Tiempo vs Humedad de electrodos 7018 resecados a varias temperaturas

CAPÍTULO IV

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Para reparar y automatizar un horno de electrodos es imprescindible conocer a profundidad las funciones que desempeña el revestimiento al momento de soldar; de igual manera, es indispensable tomar en cuenta las sugerencias de los fabricantes en cuanto a los parámetros de temperatura y tiempo para el proceso de mantenimiento y resecado de electrodos recubiertos.

- Para la reparación y automatización del horno de electrodos es necesario conocer cada una de sus partes y la función que cumplen dentro de la máquina, además es importante realizar un diagnóstico inicial de cada una de ellas.

- En la inspección inicial del estado del horno se observa que las resistencias eléctricas y el circuito de control de temperatura presentan mayor deterioro, y su reparación es más crítica en comparación al resto de partes.

- La convección libre es un método de transferencia de calor perfectamente aplicable al proceso de mantenimiento y resecado de electrodos, puesto que los electrodos alcanzan absorben calor uniformemente.

- El resultado del análisis y cálculo del calor total suministrado por el horno (5.5654 KW), es un dato de gran importancia para diseñar correctamente los sistemas de calentamiento y control de temperatura. Puesto que con este valor de potencia se calculan los valores de los parámetros eléctricos.

- Mediante la conexión en trifásica en delta a 220 voltios por línea de las resistencias de calentamiento se distribuye de manera uniforme la absorción de corriente y permite mayor disipación de calor hacia la carga.

- Las resistencias eléctricas de calentamiento blindadas o tubulares son de fácil instalación; puesto que se adaptan a cualquier forma de la cámara de calentamiento, además la funda metálica puede estar en contacto con la superficie de la cámara, sin la necesidad de instalar aisladores cerámicos.

- El método de regulación de temperatura todo-nada permite controlar el horno de manera fácil, segura y económica, además brinda el nivel de precisión adecuado para mantener y resecar electrodos.

- La lógica de funcionamiento del sistema de control automático permite ahorrar tiempo y energía, además brinda precisión y seguridad en el proceso de almacenamiento y recuperación de electrodos,

- Mediante el software Sitrad Local se controla y monitorea continuamente los procesos del horno, además es posible enviar recetas, generar informes y ajustar parámetros, todo esto con gran facilidad desde el computador de escritorio.

- Con el uso del Sitrad Mobile se hizo posible monitorear, controlar, editar parámetros y generar informes de los procesos del horno de manera remota, a través de internet, sin la necesidad de hallarse presente junto al horno.

- El software Sitrad es un programa seguro; puesto que restringe el acceso de los usuarios en tres niveles de gerenciamiento, además para cada uno es indispensable registrarse con nombre y contraseña para entrar remotamente al sistema.

- El controlador se programa con rapidez gracias al utilitario “Editor de Recetas” del Sitrad Local, ya que, con solo dar la orden de envío de una receta previamente configurada desde el computador, el controlador cambia automáticamente todos sus parámetros.

- Mediante la prueba de funcionamiento se concluye que todas las partes horno funcionan correctamente; puesto que: primeramente la receta de resecado de electrodos básicos se envía sin ningún problema desde el Sitrad Local, después la temperatura alcanza los 250°C (valor recomendado para el proceso de resecado), luego este valor se mantiene durante 120 minutos, después la temperatura desciende automáticamente y se mantiene en 60°C (valor recomendado para el mantenimiento) y finalmente todo el proceso se observa y monitorea mediante una gráfica generada a través del utilitario “Generador de informes” del Sitrad.

- La prueba de reducción de humedad del revestimiento de electrodos básicos (7018), indica que el horno está en plena capacidad de reducir el contenido de humedad excesiva de los electrodos, ya que ésta baja desde 5.8824% hasta 0.39% en 120 minutos a una temperatura de 250°C, lo más cercano al nivel recomendado por la norma AWS A5.1. (0.4%), y además se cumplen los parámetros de temperatura y tiempo de resecado sugeridas por el fabricante.

4.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar guantes de cuero para la manipulación de los electrodos al término de los procesos, con el fin de evitar quemaduras en las manos.

- No se deben colocar dentro del horno objetos que contengan papel o plástico, puesto que podrían incinerarse y provocar daños al equipo. De igual manera no se deben colocar recipientes con líquidos o alimentos.

- Se deben seguir las recomendaciones de cada fabricante a fin de conservar o recuperar electrodos correctamente, en especial los que requieren bajos contenidos de humedad como los de revestimiento básico (7018) o de rutilo (6013).

- Los electrodos que se encuentren fisurados, agrietados o con manchas de grasa o pintura no se pueden recuperar y deben ser desechados, conforme a las recomendaciones de los fabricantes.

- No es recomendable abrir las puertas del horno durante el resecado, ya que esto causa imprecisiones en el proceso, y este no se realiza correctamente, debido a que el conteo del tiempo se reinicia al abrir las puertas.

- Es importante seleccionar y enviar la receta adecuada para el proceso y tipo de electrodo que se desea tratar, de lo contrario los electrodos podrían echarse a perder.

- Se recomienda limpiar periódicamente los residuos que podrían acumularse en la cámara interna del horno, para esto se debe: desconectar el enchufe principal, retirar los electrodos y el estante, dejar que el horno se enfríe hasta la temperatura ambiente y después realizar la limpieza con la

ayuda de un paño limpio y seco o con una brocha, este procedimiento se debe efectuar para conseguir un mejor aprovechamiento del calor. No deben usarse solventes para realizar la limpieza.

- Es necesario dar mantenimiento periódico al sistema operativo del computador en el que se ha instalado el Sitrad Local, con el fin de evitar lentitud y presencia de archivos maliciosos que podrían afectar la comunicación con el sistema.

- Si se desea realizar pruebas de reducción de humedad del revestimiento se debe enviar desde el computador la receta de mantenimiento y resecado libre, para poder variar los valores de temperatura independientemente.

- Se recomienda mantener el mayor tiempo posible un computador (con el Sitrad Local instalado) conectado al sistema y con acceso a internet, con el fin de monitorear los procesos desde el Sitrad Mobile en cualquier momento y lugar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIBROS

Angulo Sánchez, P. (1990). *Control Industrial.* Quito: E.P.N.

Astigarraga Urquiza, J. (1995). *Hornos industriales de resistencias.* Bogotá: McGraw Hill.

Bakker, F. J., & Hovestreijdt, A. J. (1968). *Soldadura por arco.* Madrid: Biblioteca técnica Philips.

Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2006). *Termodinámica.* México: McGraw-Hill.

Creus Solé, A. (2006). *Instrumentación Industrial.* México: Alfaomega.

Incropera, F. P., & Dewitt, D. P. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor.* México: Prentice Hall.

Perry, R. H., & Green, D. W. (1999). *Perry`s Chemical Engineer`s Handbook.* New York: McGraw-Hill.

Poling, B. E., Prausnitz, J. M., & O Connel, J. P. (1976). *The Properties of Gases and Liquids.* New York: McGraw-Hill.

Romera, J. P., Lorite, J. A., & Montoro, S. (2000). *Automatización.* Madrid: Paraninfo.

Séférian, D. (1985). *Las Soldaduras.* Ediciones Urmo S.A.

Simon, A. (1995). *Autómatas Programables.* Madrid: Paraninfo.

Toro, J. F. (2005). *Colección de Tablas, Gráficas y Ecuaciones de Transmisión de Calor.* Sevilla: Universidad de Sevilla.

Trinks, W., & Mawhinney, M. H. (1971). *Hornos Industriales.* Bilbao: Urmo.

CATÁLOGOS Y REVISTAS

Indura. (2007). *Manual de sistemas y materiales de soldadura.*

Lincoln Electric. (2013). Catálogo de electrodos revestidos.

Rodríguez Durán, J., & Rodríguez Pérez, M. (1994 Volúmen 19 (2)). La humedad en los revestimientos de electrodos. *Construcción de maquinaria*, 88-94.

Suárez, V. D. (2013). *Informe de la calidad del aire.* Quito: Secretaría del ambiente.

DOCUMENTOS DE SITIOS WEB

Arian. (septiembre de 2013). *Pt 100, su operación, instalación y tablas.* Obtenido de http://www.arian.cl

Automatización Industrial. (14 de Enero de 2011). *Neumática, Hidráulica, MicroControladores y Autómatas*. Obtenido de http://industrial-automatica.blogspot.com/

Euromatel. (29 de octubre de 2013). *Finales de carrera de posición*. Obtenido de http://www.euromatel.es/Documentos/ERSCE.htm

Full Gauge. (22 de julio de 2014). *Visión General sobre el Sitrad.* Obtenido de http://www.sitrad.com/es/user_guide/index.html

Ingemecánica. (septiembre de 2013). *Soldadura por arco con electrodos revestidos*. Obtenido de http://www.ingemecanica.com

Inventable. (29 de octubre de 2013). *La electrónica simple y clara*. Obtenido de http://www.inventable.eu/introduccion-a-los-reles/

Jinan North Equipment. (22 de septiembre de 2014). *Alibaba.com*. Obtenido de http://spanish.alibaba.com/product-gs/130kgs-welding-electrodes-oven 542101575.html

Kountaras. (2008). *Resistencias eléctricas de calentamiento tipo tubulares*. Obtenido de http://www.kountaras.com/documentos_html/tubulares.html.

Lincoln Electric. (22 de septiembre de 2014). *Soldeo Manual con electrodos revestidos.* Obtenido de http://solysol.com.es/data/documents/soldadura=20 electrodo=20rec.doc.pdf

Martines L., E., & Lira C., L. (27 al 29 de Octubre de 2010). *Análisis y Aplicación de las Expresiones del Contenido de Humedad en Sólidos.* Obtenido de Simposio de Metrología 2010: https://www.cenam.mx/sm2010/info/pviernes/sm2010-vp01b.pdf

Omega. (17 de octubre de 2013). *Introducción a los controladores de temperatura*. Obtenido de http://es.omega.com

R.A. Electrónica S. A. (29 de octubre de 2013). *Material Industrial*. Obtenido de http://www.raelectronica.es/material_industrial_2.php

Testo. (septiembre de 2008). *Termografía, guía de bolsillo.* Obtenido de http://www.testosites.de/export/sites/default/thermalimaging/es_ES/local_downloads/testo_thermalimager_pocketguide.pdf

TESIS

Mendez, J., & Suasnavas, W. (enero de 2012). *Diseño y construcción de un horno eléctrico para el secado de los bobinados de motores de hasta 10 HP.* Obtenido de http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4639/1/CD-4270.pdf

Rosero Jimenez, J. E. (Junio de 2012). *Estudio de conservación de electrodos revestidos para cumplir normas AWS en los procesos de soldadura en la empresa carrocerías IMCE.* Obtenido de http://repo.uta.edu.ec/handle/123456789/3741

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Acero al carbono.- Los aceros al carbono forman más del 90% de todos los aceros. Contienen diversas cantidades de carbono y menos del 1,65% de manganeso, el 0,60% de silicio y el 0,60% de cobre.

Acero de baja aleación.- Los aceros de baja aleación contienen cantidades menores de los elementos de aleación. Sin embargo, reciben un tratamiento especial que les da una resistencia mucho mayor que la del acero al carbono

Acero inoxidable.- El acero inoxidable es un acero de elevada resistencia a la corrosión, dado que el cromo, u otros metales aleados que contiene, poseen gran afinidad por el oxígeno y reaccionan con él formando una capa protectora, evitando así la corrosión del hierro.

Arco Eléctrico.- En electricidad se denomina arco eléctrico o también arco voltaico a la descarga eléctrica que se forma entre dos electrodos sometidos a una diferencia de potencial y colocados en el seno de una atmósfera gaseosa enrarecida, normalmente a baja presión, o al aire libre.

Asbesto.- El asbesto, también llamado amianto, es un grupo de minerales metamórficos fibrosos. Están compuestos de silicatos de cadena doble.

AWG.- El calibre de alambre estadounidense (en inglés American Wire Gauge) es un número de referencia de clasificación para diámetros, cuanto más alto es este número, más delgado es el alambre.

AWS.- La American Welding Society (AWS) es una asociación que proporciona códigos, directrices y normas utilizadas para evaluar las estructuras soldadas y componentes de las mismas.

Bentonita.- Es un tipo de arcilla muy plástica, de origen volcánico, que se añade a otras pastas, en pequeñas cantidades, para que estas mejoren su plasticidad.

Cable UTP.- es el cable de par trenzado usado en telecomunicaciones en el que dos conductores eléctricos aislados son entrelazados para anular las interferencias de fuentes externas y la diafonía de los cables opuestos.

Calibrar.- Significa establecer una relación entre la entrada y la salida con el fin de obtener del sistema la exactitud deseada.

Caolín.- Arcilla blanca muy pura usada principalmente en la fabricación de porcelana.

Carbonato de Calcio.- (CaCO3) Es un producto obtenido por molienda fina o micronización de calizas extremadamente puras, por lo general con más del 98.5% de contenido.

Carbonato de Magnesio.- Es un compuesto químico de fórmula MgCO3. De aspecto sólido y blanco, existe en la naturaleza como mineral.

Carga resistiva.- Son aquellas en las que la electricidad produce calor y no movimiento. Las cargas de este tipo son las lámparas incandescentes o los radiadores eléctricos. Su consumo se mide en Watts.

Celsius.- Escala de temperatura en la cual 0 grados representa el punto de congelamiento del agua y 100 grados el punto de ebullición.

Celulosa.- Sustancia sólida, blanca, amorfa, inodora, sin sabor, e insoluble en agua, alcohol y éter, que constituye la membrana celular de muchos hongos y vegetales; se emplea en la fabricación de papel, tejidos, explosivos, barnices, etc.

Circuito de control.- Es una combinación de componentes eléctricos, electrónicos, mecánicos o electromecánicos que rigen indirectamente el comportamiento de máquinas industriales o domésticas.

Circuito de fuerza.- Es un conjunto de elementos eléctricos de alta capacidad de corriente utilizados para accionar directamente una máquina.

Circuito RC.- Es un circuito compuesto de resistencias y condensadores alimentados por una fuente eléctrica. Los circuitos RC pueden usarse para filtrar una señal, al bloquear ciertas frecuencias y dejar pasar otras.

Circuito térmico.- Es el conjunto de resistencias térmicas de un sistema de transferencia de calor.

Circuito trifásico.- Está formado por tres corrientes alternas monofásicas de igual frecuencia y amplitud que presentan una cierta diferencia de fase entre ellas, en torno a 120°, y están dadas en un orden determinado.

Coeficiente de convección.- El coeficiente de película o de convección (h), cuantifica la influencia de las propiedades del fluido, de la superficie y del flujo cuando se produce transferencia de calor por convección.

Coeficiente de dilatación.- Es el cociente que mide el cambio relativo de longitud o volumen que se produce cuando un cuerpo sólido o un fluido dentro de un recipiente cambia de temperatura provocando una dilatación térmica.

Coeficiente de radiación.- Es un número adimensional que relaciona la habilidad de un objeto real para irradiar energía térmica con la radiación emitida si éste fuera un cuerpo negro.

Coeficiente de temperatura.- Es una propiedad intensiva de los materiales que cuantifica la relación entre la variación de la propiedad física de un material y el cambio de temperatura.

Comunicación Half-Duplex.- Una es una conexión en la que los datos fluyen en una u otra dirección, pero no los dos al mismo tiempo, es decir, cada extremo de la conexión transmite uno después del otro.

Conductividad Eléctrica.- Es la medida de la capacidad de un material para dejar circular libremente la corriente eléctrica, su valor depende de la estructura atómica y molecular del material y de la temperatura.

Conductividad Térmica.- Es una propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor.

Constante de Stefan-Boltzmann.- "La energía radiada por un radiador de cuerpo negro por segundo, por unidad de superficie, es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta".

Control de lazo abierto.- Es aquel sistema en que solo actúa el proceso sobre la señal de entrada y da como resultado una señal de salida independiente a la señal de entrada, pero basada en la primera, sin retroalimentación.

Control de lazo cerrado.- Son los sistemas en los que la acción de control está en función de la señal de salida. Los sistemas de circuito cerrado usan la retroalimentación desde un resultado final para ajustar la acción de control en consecuencia.

Control.- Esta palabra se usa para designar regulación, gobierno, dirección o comando.

Corriente alterna.- Corriente eléctrica variable en la que las cargas eléctricas cambian el sentido del movimiento de manera periódica.

Corriente continua.- Corriente de intensidad constante en la que el movimiento de las cargas siempre es en el mismo sentido.

Corriente eléctrica.- Es el flujo de carga eléctrica por unidad de tiempo que recorre un material, debido al movimiento de las cargas en el interior del mismo. En el Sistema Internacional de Unidades se expresa en C/s (culombios sobre segundo), unidad que se denomina amperio.

Cuarzo.- Óxido de silicio que se presenta en cristales hexagonales o en masas cristalinas o compactas, con diversos colores y grados de transparencia; es uno de los constituyentes del granito y otras rocas.

Densidad.- Es una magnitud vectorial referida a la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia.

Dextrina.- Sustancia sólida, gomosa y soluble que se obtiene del almidón por la acción de los ácidos, el calor y un fermento.

Difusividad Térmica.- Es el valor obtenido de la conductividad térmica de un cierto material dividida entre el producto de su densidad y la capacidad calorífica específica del mismo.

DIN.- Es un acrónimo de “Deutsches Institut für Normung”, o bien, “Instituto Alemán de Normalización”, elabora, en cooperación con el comercio, la industria, la ciencia, los consumidores e instituciones públicas, estándares técnicos para la racionalización y el aseguramiento de la calidad.

Dirección IP.- Es una etiqueta numérica que identifica de manera lógica y jerárquica, a una interfaz (elemento de comunicación/conexión) de un dispositivo (habitualmente una computadora) dentro de una red que utilice el protocolo IP (Internet Protocol).

Ebullición.- Movimiento violento del agua u otro líquido, con producción de burbujas, como consecuencia del aumento de su temperatura o por estar sometido a fermentación o efervescencia.

Efecto Joule.- Es un fenómeno irreversible por el cual, si en un conductor circula corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor debido a los choques que sufren con los átomos del material conductor por el que circulan, elevando la temperatura del mismo.

Emisividad.- Es la proporción de radiación térmica emitida por una superficie u objeto debida a una diferencia de temperatura con su entorno.

Entrada de un sistema.- Es una variable del sistema elegida de tal manera que se la utiliza como excitación del mismo.

Escoria.- Sustancia de desecho que contiene las impurezas de los metales cuando se funden.

Espato Flúor.- Mineral constituido por fluoruro de calcio, compacto e incoloro o de colores variados (violáceo, rosado, amarillo o verde), debido a los óxidos o las impurezas, se emplea en metalurgia como fundente.

Estufa.- Aparato que sirve para calentar espacios cerrados mediante la combustión de carbón, de leña, de gas o por medio de energía eléctrica.

Fahrenheit.- Es una escala de temperatura que establece como las temperaturas de congelación y ebullición del agua, 32 °F y 212 °F, respectivamente.

Feldespato.- Mineral silicato de aluminio que es el principal componente de la corteza terrestre; se emplea en la fabricación de vidrio y cerámica.

Fuerza electromotriz.- Se denomina fuerza electromotriz (FEM) a la energía proveniente de cualquier fuente, medio o dispositivo que suministre corriente eléctrica.

Gerenciamiento a distancia.- Es la acción por la cual se administra o dirige un proceso de manera remota.

Gravedad.- Es una fuerza física que la Tierra ejerce sobre todos los cuerpos hacia su centro. También se trata de la fuerza de atracción de los cuerpos en razón de su masa.

Horno.- Es un dispositivo que genera calor y que mantiene el mismo dentro de un compartimento herméticamente cerrado.

Humedad ambiental.- Se denomina humedad ambiental a la cantidad de vapor de agua presente en el aire.

Humedad relativa.- La humedad relativa es la relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua real que contiene el aire y la que necesitaría contener para saturarse a idéntica temperatura.

IEC.- La International Electrotechnical Commission por sus siglas en inglés o Comisión Electrotécnica Internacional, es una organización de normalización en los campos eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas.

Impedancia.- Es la medida de oposición que presenta un circuito a una corriente cuando se aplica un voltaje.

Indura.- Es una empresa multinacional chilena. Indura nace en 1948 para satisfacer las necesidades del sector metalmecánico con una moderna planta de electrodos.

Interfaz.- Dispositivo capaz de transformar las señales generadas por un aparato en señales comprensibles por otro.

Internet.- Es una red de redes que permite la interconexión descentralizada de computadoras a través de un conjunto de protocolos denominado TCP/IP.

Java.- Es un lenguaje de programación de propósito general, concurrente, orientado a objetos y basado en clases que fue diseñado específicamente para tener tan pocas dependencias de implementación como fuera posible.

Kelvin.- Unidad de temperatura del Sistema Internacional, de símbolo K, que equivale 1/273,15 de la temperatura termodinámica del punto triple del agua, en la cual el sólido, el líquido y el gas están en equilibrio.

LAN.- (Red de Área Local) Consiste en un grupo de computadores que pertenecen a la misma organización y están conectados dentro de un área geográfica pequeña a través de una red, generalmente con la misma tecnología.

Lana de Vidrio.- La lana de vidrio es una fibra mineral fabricada con millones de filamentos de vidrio unidos con un aglutinante. El espacio libre con aire atrapado entre las fibras aumenta la resistencia a la transmisión de calor.

Ley de Ohm.- Establece que "la intensidad de la corriente eléctrica que circula por un conductor eléctrico es directamente proporcional a la diferencia de potencial aplicada e inversamente proporcional a la resistencia del mismo"

Material refractario.- Se refiere a la propiedad de ciertos materiales de resistir altas temperaturas sin descomponerse. Éstos, se utilizan para hacer crisoles y recubrimientos de hornos e incineradoras.

Memoria RAM.- Memoria principal de la computadora, donde residen programas y datos, sobre la que se pueden efectuar operaciones de lectura y escritura.

Monitoreo.- Es la acción por la cual se captan determinados parámetros de un proceso ya sea de forma visual o sonora con el fin de poder alarmarlos o controlarlos.

Mufla.- Es un tipo de horno que alcanza temperaturas medianamente altas para cumplir con los diferentes procesos que requieren este tipo de característica dentro de los laboratorios, pueden realizar trabajos como: procesos de control, tratamientos térmicos y secado de objetos.

Nivel higroscópico.- Es la capacidad de algunas sustancias de absorber humedad del medio circundante.

Número de Grashof.- Es un número adimensional en mecánica de fluidos que es proporcional al cociente entre las fuerzas de flotación y las fuerzas viscosas que actúan en un fluido. Se llama así en honor al ingeniero alemán Franz Grashof.

Número de Nusselt.- Es un número adimensional que mide el aumento de la transmisión de calor desde una superficie por la que un fluido discurre, (transferencia de calor por convección) comparada con la transferencia de calor si ésta ocurriera solamente por conducción.

Número de Prandtl.- El Número de Prandtl es un número adimensional proporcional al cociente entre la difusividad de momento y la difusividad térmica. Se llama así en honor a Ludwig Prandtl.

Número de Rayleigh.- Es un número adimensional asociado con la transferencia de calor en el interior del fluido.

Planta.- Es cualquier objeto físico que pueda ser controlado. Puede ser un equipo, un juego de piezas de una máquina funcionando juntas, cuyo objetivo es realizar una operación determinada.

Potasa.- Hidróxido de potasio, capaz de absorber la humedad del aire y disolverse en ella, y soluble en agua con desprendimiento de calor; se emplea en análisis químicos y en la industria.

Precisión.- Es la tolerancia de medida o de transmisión del instrumento, define los límites de los errores cometidos cuando el instrumento se emplea en condiciones normales de servicio.

Procesador Pentium 2.- Es un microprocesador con arquitectura x86 diseñado por Intel, introducido en el mercado el 7 de mayo de 1997.

Proceso.- Es una operación o conjuntos de pasos con una secuencia determinada, que producen una serie de cambios graduales, llevan de un estado a otro, y que tienden a un determinado resultado final.

Puente de Wheatstone.- Se utiliza para medir resistencias desconocidas mediante el equilibrio de los brazos del puente. Estos están constituidos por cuatro resistencias que forman un circuito cerrado, siendo una de ellas la resistencia bajo medida.

Puerta de enlace.- Es un dispositivo que permite interconectar redes con protocolos y arquitecturas diferentes a todos los niveles de comunicación.

Puerto serial.- Es una interfaz de comunicaciones de datos digitales, frecuentemente utilizado por computadoras y periféricos, donde la información es transmitida bit a bit enviando un solo bit a la vez.

PVC.- Policloruro de vinilo, polímero termoplástico.

Rango.- La región entre los límites dentro de los cuales una cantidad es medida, recibida o transmitida, expresada por rango de valores inferiores y superiores.

Rankine.- En esta escala, cada grado de temperatura equivale a un grado en la escala Fahrenheit. En la escala de Rankine, el punto de congelación del agua equivale a 492 ° R y su punto de ebullición a 672 ° R

Realimentación.- Es una propiedad de los sistemas que permiten que la salida del sistema o cualquier variable del mismo sea comparada con la entrada del sistema, de tal manera que pueda establecerse la acción de control apropiada entre la entrada y la salida.

Receta.- Grupo de parámetros de un instrumento previamente configurados mediante el software Sitrad.

Resistencia a la tracción.- Máximo esfuerzo de tracción que un cuerpo puede soportar antes de romperse.

Resistencia al Creep.- (deformación por fluencia lenta) Es la resistencia al incremento de deformación que sufre un material visco elástico cuando está sometido a una tensión mecánica constante.

Resistencia Eléctrica.- Oposición que presenta un conductor al paso de la corriente eléctrica.

Resistencia Térmica.- La resistencia térmica de un material representa la capacidad del material de oponerse al flujo del calor.

Resistividad.- Resistencia proporcional de un material conductor según su longitud y anchura.

RS-485.- También conocido como EIA-485. Está definido como un sistema en bus de transmisión multipunto diferencial, es ideal para transmitir a altas velocidades sobre largas distancias y a través de canales ruidosos.

Rutilo.- Mineral de color rojo sangre y brillo semejante al diamante, que es explotado como mena del titanio y se utiliza en electricidad y en pintura.

Salida de un sistema.- Es una variable del sistema elegida de tal modo que se la utiliza para analizar los efectos que produjo una excitación en la entrada del mismo.

Semiconductor.- Es un elemento que se comporta como un conductor o como un aislante dependiendo de diversos factores; como por ejemplo: el campo eléctrico o magnético, la presión, la radiación que le incide, o la temperatura del ambiente en el que se encuentre.

Sensor.- Elemento primario que se encarga de captar la magnitud Física o Química directamente del proceso.

Serrín.- Polvo o conjunto de partículas que se desprenden de la madera al serrarla.

Servidor.- Es un computador que se ejecuta un programa y realiza alguna tarea en beneficio de otras aplicaciones llamadas clientes.

Set point.- Es cualquier punto de ajuste de alguna variable de un sistema de control automático, puede ser: nivel, presión, temperatura, desplazamiento, rotación, etc.

Sílice.- El dióxido de silicio (SiO_2) es un compuesto de silicio y oxígeno, es uno de los componentes de la arena, una de las formas en que aparece naturalmente es el cuarzo.

Sistema operativo.- Conjunto de órdenes y programas que controlan los procesos básicos de una computadora y permiten el funcionamiento de otros programas.

Sistema.- Es una combinación de componentes que actúan conjuntamente, con un determinado objetivo a cumplir.

Software.- Conjunto de programas y rutinas que permiten a la computadora realizar determinadas tareas.

Sosa.- También llamada carbonato de sodio, es una sal blanca y translúcida de fórmula química Na2CO3, usada entre otras cosas en la fabricación de jabón, vidrio y tintes.

Talco.- Mineral silicato de magnesio, de color verde claro, blanco o gris, brillo perlado y muy suave, que se emplea en la fabricación de pinturas, cerámica, papel, yeso y, pulverizado, como suavizante de la piel.

Transistor de unijuntura UJT.- Este dispositivo se utiliza, fundamentalmente, como generador de pulsos de disparo para SCR y TRIACs, es un componente que posee tres terminales: dos bases y un emisor.

USB.- Es un tipo de conexión que posibilita el envío y la recepción de información desde periféricos a un ordenador o computadora.

Voltaje.- Potencial eléctrico, expresado en voltios.

Voltímetro.- Instrumento para medir en voltios la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos de un circuito.

Wireless.- Red inalámbrica que permite conectar diversos ordenadores sin utilizar una conexión física, sino estableciendo la comunicación mediante ondas electromagnéticas.

Zona Muerta.- Es el campo de valores que no hace variar la indicación o señal de salida del instrumento, es decir, que no produce su respuesta.

ANEXOS

ANEXO 1

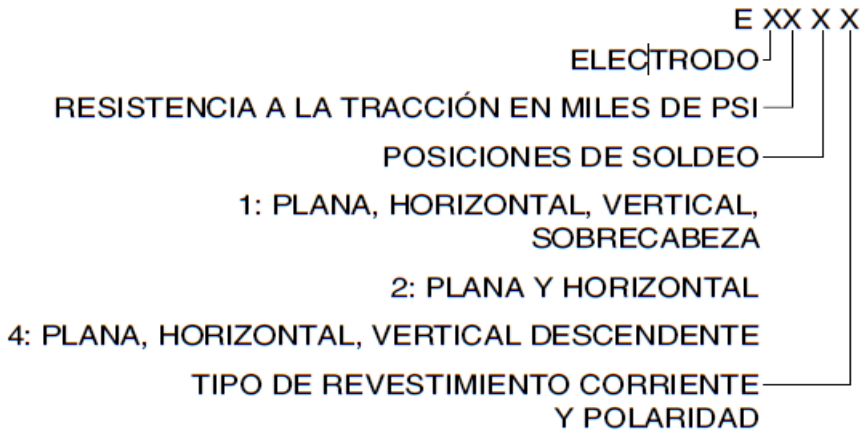
Clasificación AWS para electrodos revestidos

CLASIFICACIÓN AWS DE LOS ELECTRODOS PARA SOLDADURA DE ACEROS AL CARBONO

La clasificación está conformada por la letra E seguida de cuatro o cinco dígitos cuyo significado es el siguiente:

- E significa electrodo.
- Los dos primeros dígitos en la clasificación de cuatro dígitos o los tres primeros en la clasificación de cinco representan la mínima resistencia a la tracción del depósito de soldadura medida en KSI (miles de PSI).
- El tercer dígito en la clasificación de cuatro o el cuarto dígito en la clasificación de cinco dígitos indica la posición de soldadura para la cual se diseñó el electrodo.
- El último dígito indica el tipo de revestimiento del electrodo, la corriente y la polaridad que deben utilizarse.

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AWS



DIGITO	TIPO DE REVESTIMIENTO	CORRIENTE - POLARIDAD	
0	CELULOSA CON SODIO	CD	(+)
1	CELULOSA CON POTASIO	CA o CD	(+ o -)
2	RUTILO CON SODIO	CA o CD	(-)
3	RUTILO CON POTASIO	CA o CD	(-)
4	RUTILO CON POLVO DE HIERRO	CA o CD	(+ o -)
5	DE BAJO HIDRÓGENO CON SODIO	CD	(+)
6	DE BAJO HIDRÓGENO CON POTASIO	CA o CD	(+)
7	HIERRO EN POLVO Y ÓXIDOS DE HIERRO	CA o CD	(+ o -)
8	BAJO HIDRÓGENO CON POLVO DE HIERRO	CA o CD	(+)

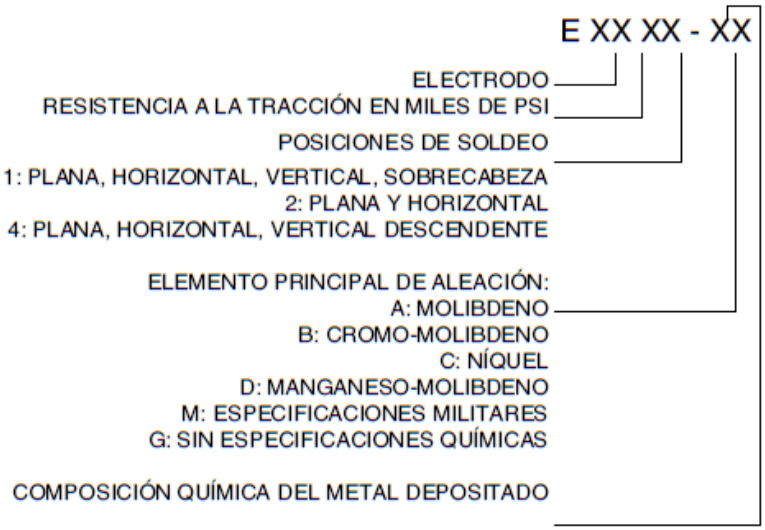
Ejemplos: E 6013; E 7018; E 11018.

Nota: Seleccionar el amperaje tomando en cuenta el diámetro del electrodo y la posición de soldadura.

CLASIFICACIÓN AWS DE LOS ELECTRODOS PARA SOLDADURA DE ACEROS DE BAJA ALEACIÓN

La clasificación está conformada por la letra E seguida de cuatro o cinco dígitos, cuyo significado es el mismo que en los electrodos para aceros al carbono. Se utilizan, adicionalmente, letras y números que indican: el tipo de aleantes principales, el nivel de carbono y la composición química.

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AWS



Sufijo	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	V
A1	0,12	0,60/0,90	0,40/0,80	-	-	0,40-0,65	-
B1	0,05-0,12	0,90	0,80	-	0,40-0,65	0,40-0,65	-
B2L	0,05	0,90	0,60/1.0	-	1,00-1,50	0,40-0,65	-
B2	0,05-0,12	0,90	0,80	-	1,00-1,50	0,40-0,65	-
B3L	0,05	0,90	0,80/1,0	-	2,00-2,50	0,90-1,20	-
B3	0,05-0,12	0,90	0,80	-	2,00-2,50	0,90-1,20	-
B4L	0,05	0,90	1,00	-	1,75-2,25	0,40-0,65	-
B5	0,07-0,15	0,40-0,70	0,30-0,60	-	0,40-0,60	1,0-1,25	0,05
B6	0,05-0,10	1,0	0,90	0,40	4,0 - 6,0	0,45-0,65	-
B8	0,05-0,10	1,0	0,90	0,40	8,0 - 10,5	0,85-1,20	-
C1	0,12	1,25	0,80	2,00-2,75	-	-	-
C2	0,12	1,25	0,60/0,80	3,00-3,75	-	-	-
C3	0,12	0,40-1,25	0,80	0,80-1,10	0,15	0,35	0,05
D1	0,12	1,0-1,75	0,60/0,80	0,90	-	0,25-0,45	-
D2	0,15	1,65-2,00	0,60/0,80	0,90	-	0,25-0,45	-
G	-	1,0 mín.	0,80 mín.	0,50 mín.	0,30 mín.	0,20 mín.	0,10 mín.
M**	0,10	0,60-2,25	0,60-0,80	1,40-3,80	0,15-1,50	0,20-0,55	0,05
W1***	0,12	0,40-0,70	0,40-0,70	0,20-0,40	0,15-0,30	-	0,08
W2****	0,12	0,50-1,30	0,35-0,80	0,40-0,80	0,45-0,70	-	0,08

NOTAS: Los valores únicos representan porcentajes máximos.

*** Existen diferentes clases de "M" conforme a las especificaciones militares.*
**** Este depósito presenta un porcentaje de Cu entre 0,30 y 0,60 %.*
***** Este depósito presenta un porcentaje de Cu entre 0,30 y 0,75 %*

Ejemplos: E8018-B2 E8018-B2L (L: indica que el depósito de soldadura es de bajo tenor de carbono)
E11018-G

Nota: Seleccionar el amperaje tomando en cuenta el diametro del electrodo y la posición de soldadura.

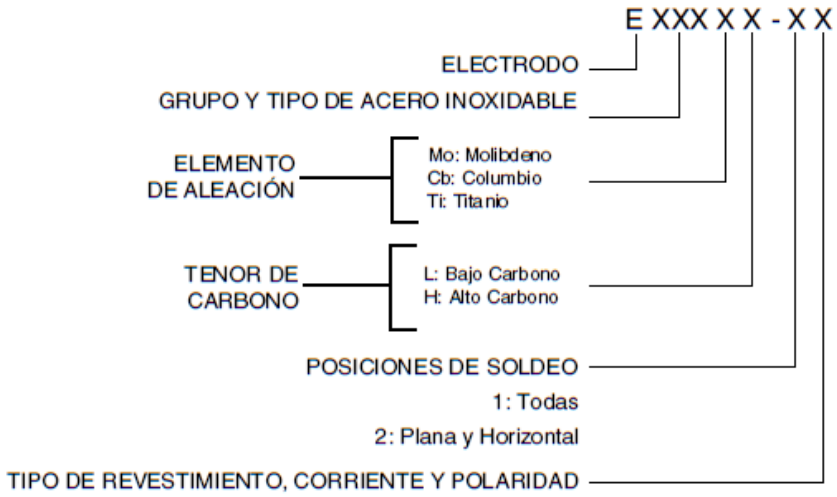
CLASIFICACIÓN AWS DE LOS ELECTRODOS PARA SOLDADURA DE ACEROS INOXIDABLES

Los aceros inoxidables son aleaciones sobre la base de hierro que contienen al menos un 12% de cromo. Este aleante garantiza que bajo condiciones oxidantes, se forma en la superficie del acero una capa, extremadamente fina pero estable de óxido de cromo que le confiere resistencia a la corrosión en medios oxidantes. Sin embargo, puede ocurrir que en medios químicamente reductores, la capa protectora de óxido puede ser atacada y el acero se corroe.

De acuerdo a la estructura metalúrgica existen tres grupos básicos de aceros inoxidables:

- AUSTENÍTICOS: Serie 300- No magnéticos.
  Cr: 16 - 26% Ni: 8 - 37% Mo: hasta 5% C: 0,03 - 0,45%
- FERRÍTICOS: Serie 400-Magnéticos.
  Cr: 11,5 - 30% C: 0,08 - 0,12% Mo: hasta 2,5%
- MARTENSÍTICOS: Serie 400 - Magnéticos.
  Cr: 11,5 - 18,0% C: 0,06 - 1,20% Ni: hasta 3 %
  Mo: hasta 1,25%

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AWS



SUFIJO	TIPO DE REVESTIMIENTO	CORRIENTE / POLARIDAD	POSICIONES DE SOLDADURA
15	Básico	DC (+)	Todas
16	Rutílico	AC/DC (+)	Todas
17	Rutílico con Sílice	AC/DC (+)	Todas
26	Rutílico	AC/DC (+)	Plana, Horizontal

Ejemplos: E309 Mo-16 E310H-15 E308L-16 E309 MoL-16 E410-16

Notas: Según la AWS A5.4-2006
Seleccionar el amperaje tomando en cuenta el diámetro del electrodo y la posición de soldadura.

ANEXO 2

Composición del núcleo y del revestimiento de varios tipos de electrodos

TABLA 1: DATOS DE LA COMPOSICION DEL NUCLEO DE ALAMBRE (%PESO)

Núcleo de acero	Fe	Mn	Cr	Ni	Cu	Sí
Análisis Típico	98-99	<0.6	<0.1	<0.1	<0.1	<0.2

INDURA

TABLA 2: DATOS DE LA COMPOSICIÓN DEL REVESTIMIENTO (%PESO)

Revestimiento	Celulosa E6010, 6011	Rutilo E6012, 6013	Básico Bajo Hidrogeno E7015, 7016, 7018	Hierro en polvo. Rutilo E7024	Hierro en polvo. Básico E7028	CAS No.
Piedra Caliza y/o Carbonato de Calcio	-	<10	20-30	<10	10-20	1317-65-3
Magnesita (polvo total inhalable) (polvo respirable)	5-10	<5	-	-	-	546-93-0
Celulosa (polvo total inhalable) (polvo respirable)	25-60	<15	-	-	-	9004-34-6
Oxidos de Hierro (como Fe)	<10	<10	<10	<10		1309-37-6
Fluoruros Inorgánicos (como F)	-	<10	10-30	<10	5-15	16984-48-8
Polvo Hierro	-	<10	10-35	10-60	10-60	7439-89-6
Manganeso y componentes inorgánicos (como Mn)	5-15	5-15	<15	<15	<10	7439-96-5 y otros
Rutilo/ Dióxido de Titanio (Polvo total inhalable) (Polvo respirable)	10-35	15-60	<10	10-30	<10	13463-67-7
Silicio y aleaciones de Silicio, (como Si)	-	-	<5	<5	<5	7440-21-3
Silicatos aglomerantes	<5	<5	<5	<5	<5	1344-09-8
Mica (Polvo total inhalable) (Polvo respirable)	<5	<20	<5	<5	<5	12001-26-2
Cuarzo/sílice Cristalino respirable	<10	<15	5-60	<10	<5	14808-60-7
Caolín (Polvo respirable)	-	<20	-	<5	<5	1332-58-7
Otros Silicatos minerales	5-30	5-30	5-10	5-30	5-10	1332-58-7

ANEXO 3

Datos técnicos del electrodo E7018 marca indura

INDURA 7018-RH — *Clasificación AWS: E-7018 / E-4918*

- ***Electrodo para acero al carbono***
- ***Revestimiento bajo hidrógeno con hierro en polvo. Color gris***
- ***Toda posición***
- ***Corriente continua, electrodo positivo***
- ***Certificado anualmente por American Bureau of Shipping, Lloyd´s Register of Shipping, Germanischer Lloyd y Nippon Kaiji Kyokai***

Descripción

El electrodo 7018-RH es de bajo contenido de hidrógeno y resistente a la humedad.

Está especialmente diseñado para soldaduras que requieren severos controles radiográficos en toda posición.

Su arco es suave y la pérdida por salpicadura es baja.

Usos

El 7018-RH es recomendado para trabajos donde se requiere alta calidad radiográfica, particularmente en calderas y cañerías.

Sus buenas propiedades físicas son ideales para ser usado en astilleros.

Aplicaciones típicas

- Aceros Cor-Ten, Mayari-R
- Lukens 45 y 50
- Yoloy y otros aceros estructurales de baja aleación

Procedimiento para soldar

Para soldaduras de filetes horizontales y trabajo de soldadura en sentido vertical descendente, debe usarse un arco corto. No se recomienda la técnica de arrastre.

En la soldadura en posición sobrecabeza debe usarse un arco corto con ligero movimiento oscilatorio en la dirección de avance. Debe evitarse la oscilación brusca del electrodo.

Para mayores detalles ver página 33. Observe las recomendaciones para almacenaje de los electrodos, página 20.

Composición química (típica) del metal depositado:

C 0,06%; Mn 1,05%; Si 0,49%; P 0,015%; S 0,010%

Características típicas del metal depositado (según norma AWS: A5.1/A5.1M-04):

Resultados de pruebas de tracción con probetas de metal de aporte	Requerimientos	Energía Absorbida Ch-v	Requerimientos
Resistencia a la tracción : 535 MPa Límite de fluencia : 445 MPa Alargamiento en 50 mm : 30%	490 MPa 400 MPa 22%	130J a -30°C	27J a -30°C

Amperajes recomendados:

Diámetro mm	Longitud mm	Amperaje mín.	Amperaje máx.	Electrodos x kg aprox.
2,4	300	70	120	55
3,2	350	120	150	28
4,0	350	140	200	20
4,8	350	200	275	14

ANEXO 4

Propiedades termo físicas del aire a presión atmosférica y a varias temperaturas

TABLA A.4 Propiedades termofísicas de gases a presión atmosférica*

T (K)	ρ (kg/m³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m²)	$\nu \cdot 10^6$ (m²/s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m²/s)	Pr
Aire							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	238	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536
Amoniaco (NH_3)							
300	0.6894	2.158	101.5	14.7	24.7	16.6	0.887
320	0.6448	2.170	109	16.9	27.2	19.4	0.870
340	0.6059	2.192	116.5	19.2	29.3	22.1	0.872
360	0.5716	2.221	124	21.7	31.6	24.9	0.872
380	0.5410	2.254	131	24.2	34.0	27.9	0.869

ANEXO 5

Emisividad total de superficies seleccionadas

Apéndice A • *Propiedades termofísicas de la materia* 8

TABLA A.11 Emisividad total, normal (ε) o hemisférica (h) de superficies seleccionadas

Sólidos metálicos y sus óxidos[a]

Descripción/composición		Emisividad, ε_n o ε_h a varias temperaturas (K)										
		100	200	300	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500
Aluminio												
Altamente pulido, película	(h)	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06						
Hoja, brillante	(h)	0.06	0.06	0.07								
Anodizado	(h)			0.82	0.76							
Cromo												
Pulido o plateado	(h)	0.05	0.07	0.10	0.12	0.14						
Cobre												
Altamente pulido	(h)			0.03	0.03	0.04	0.04	0.04				
Ennegrecimiento oxidado	(h)					0.50	0.58	0.80				
Oro												
Altamente pulido o película	(h)	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06				
Hoja, brillante	(h)	0.06	0.07	0.07								
Molibdeno												
Pulido	(h)					0.06	0.08	0.10	0.12	0.15	0.21	0.26
Limpiado con cloruro de perdigones, áspero	(h)					0.25	0.28	0.31	0.35	0.42		
Ennegrecimiento oxidado	(h)					0.80	0.82					
Níquel												
Pulido	(h)					0.09	0.11	0.14	0.17			
Ennegrecimiento oxidado	(h)					0.40	0.49	0.57				
Platino												
Pulido	(h)						0.10	0.13	0.15	0.18		
Plata												
Pulida	(h)			0.02	0.02	0.03	0.05	0.08				
Aceros inoxidables												
Tipico, pulido	(h)			0.17	0.17	0.19	0.23	0.30				
Tipico, limpio	(h)			0.22	0.22	0.24	0.28	0.35				
Tipico, ligeramente oxidado	(h)						0.33	0.40				
Tipico, altamente oxidado	(h)						0.67	0.70	0.76			
AISI 347, establemente oxidado	(h)					0.87	0.88	0.89	0.90			
Tantalio												
Pulido	(h)								0.11	0.17	0.23	0.28
Tungsteno												
Pulido	(h)							0.10	0.13	0.18	0.25	0.29

ANEXO 6

Propiedades termo físicas de solidos metálicos seleccionados

Apéndice A • *Propiedades termofísicas de la materia* 827

Tabla A.1 Propiedades termofísicas de sólidos metálicos seleccionados*

Composición	Punto de fusión (K)	Propiedades a 300 K ρ (kg/m³)	c_p (J/kg · K)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m²/s)	Propiedades a varias temperaturas (K) k (W/m · K)/c_p (J/kg · K) 100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500
Acero puro	1810	7870	447	80.2	23.1	134 216	94.0 384	69.5 490	54.7 574	43.3 680	32.8 975	28.1 609	32.1 654		
Aceros al carbón															
Carbón ordinario (Mn ≤ 1%, Si ≤ 0.1%) AISI 1010		7854 7832	434 434	60.5 63.9	17.7 18.8			56.7 487 58.7 487	48.0 559 48.8 559	39.2 685 39.2 685	30.0 1169 31.3 1168				
Carbón-silicio (Mn ≤ 1%, 0.1% < Si ≤ 0.6%)		7817	446	51.9	14.9			49.8 501	44.0 582	37.4 699	29.3 971				
Carbón-manganeso-silicio (1% < Mn ≤ 1.65%, 0.1% < Si ≤ 0.6%)		8131	434	41.0	11.6			42.2 487	39.7 559	35.0 685	27.6 1090				
Aceros con cromo (bajo)															
½Cr–½Mo–Si (0.18% C, 0.65% Cr, 0.23% Mo, 0.6% Si)		7822	444	37.7	10.9			38.2 492	36.7 575	33.3 688	26.9 969				
1 Cr–½ Mo (0.16% C, 1% Cr, 0.54% Mo, 0.39% Si)		7858	442	42.3	12.2			42.0 492	39.1 575	34.5 688	27.4 969				
1 Cr–V (0.2% C, 1.02% Cr, 0.15% V)		7836	443	48.9	14.1			46.8 492	42.1 575	36.3 688	28.2 969				
Aceros inoxidables															
AISI 302		8055	480	15.1	3.91			17.3 512	20.0 559	22.8 585	25.4 606				
AISI 304	1670	7900	477	14.9	3.95	9.2 272	12.6 402	16.6 515	19.8 557	22.6 582	25.4 611	28.0 640	31.7 682		
AISI 316		8238	468	13.4	3.48			15.2 504	18.3 550	21.3 576	24.2 602				
AISI 347		7978	480	14.2	3.71			15.8 513	18.9 559	21.9 585	24.7 606				

DEPARTAMENTO DE BI
Universidad Simón Bolívar

ANEXO 7

Capacidad de calor de elementos y compuestos inorgánicos

TABLE 2-194 Heat Capacities of the Elements and Inorganic Compounds (*Continued*)

Substance	State†	Heat capacity at constant pressure (T = K; 0°C = 273.1 K), cal/deg mol	Range of temperature, K	Uncertainty, %
Bismuth[4]				
Bi	*c*	$5.38 + 0.00260T$	273–544	3
	l	7.60	544–1273	3
Bi_2O_3	*c*	$23.27 + 0.01105T$	273–777	2
Bi_2S_3	*c*	30.4	284–372	?
Boron				
B	*c*	$1.54 + 0.00440T$	273–1174	5
B_2O_3	*gls*	$5.14 + 0.0320T$	273–513	3
	gls	30.4	513–623	3
BN	*c*	$1.61 + 0.00400T$	273–1173	5
Bromine				
Br_2	*g*	9.00	300–2000	5
Cadmium				
Cd	*c*	$5.46 + 0.0024667T$	273–594	1
	l	7.13	594–973	5
CdO	*c*	$9.65 + 0.00208T$	273–2086	?
CdS	*c*	$12.9 + 0.00090T$	273–1273	?
$CdSO_4$·8/3H_2O	*c*	51.3	293	?
Calcium				
Ca	*c*	$5.31 + 0.00333T$	273–673	2
	c	$6.29 + 0.00140T$	673–873	2
$CaCl_2$	*c*	$16.9 + 0.00386T$	273–1055	?
$CaCO_3$	*c*	$19.68 + 0.01189T - 307600/T^2$	273–1033	3
CaF_2	*c*	$14.7 + 0.00380T$	273–1651	?
$CaMg(CO_3)_2$	*c*	40.1	299–372	?
$CaMoO_4$	*c*	33	273–297	?
CaO	*c*	$10.00 + 0.00484T - 108000/T^2$	273–1173	2
$Ca(OH)_2$	*c*	21.4	276–373	?
$CaO·Al_2O_3·2SiO_2$	*c*, anorthite	$63.13 + 0.01500T - 1537000/T^2$	273–1673	1
	gls	$67.41 + 0.01048T - 1874000/T^2$	273–973	1
$CaO·MgO·2SiO_2$	*c*, diopside	$54.46 + 0.005746T - 1500000/T^2$	273–1573	1
	gls	$51.68 + 0.009724T - 1308000/T^2$	273–973	1
$CaO·SiO_2$	*c*, wollastonite	$27.95 + 0.002056T - 745600/T^2$	273–1573	1
	c, pseudowollastonite	$25.48 + 0.004132T - 488100/T^2$	273–1673	1
	gls	$23.16 + 0.009672T - 487100/T^2$	273–973	1
CaP_2O_6	*c*	39.5	287–371	?
$CaSO_4$	*c*	$18.82 + 0.02197T - 156800/T^2$	273–1373	5
$CaSO_4·2H_2O$	*c*	46.8	282–373	?
$CaWO_4$	*c*	27.9	292–322	?
Carbon[3]				
C	*c*, graphite	$2.673 + 0.0026177T - 116900/T^2$	273–1373	2
	c, diamond	$2.162 + 0.0030597T - 130300/T^2$	273–1313	3
CH_4	*g*	$5.34 + 0.0115T$	273–1200	2
CO[5]	*g*	$6.60 + 0.00120T$	273–2500	1½
CO_2	*g*	$10.34 + 0.00274T - 195500/T^2$	273–1200	1½
CS_2	*l*	18.4	293	?
Cerium				
Ce	*c*	$5.88 + 0.00123T$	273–908	?
CeO_2	*c*	15.1	273–373	?
$Ce_2(MoO_4)_3$	*c*	96	273–297	?
$Ce_2(SO_4)_3$	*c*	66.4	273–373	?
$Ce_2(SO_4)_3·3H_2O$	*c*	131.6	273–319	?
Cesium				
Cs	*c*	$1.96 + 0.01827T$	273–301	3
	l	8.00	302	3
	g	4.97	All	0
CsBr	*c*	$12.6 + 0.00259T$	273–909	?
CsCl	*c*	$11.7 + 0.00309T$	273–752	?
CsF	*c*	$11.3 + 0.00285T$	273–957	?
CsI	*c*	$11.6 + 0.00268T$	273–894	?
Chlorine				
Cl_2	*g*	$8.28 + 0.00056T$	273–2000	1½
Chromium[4]				
Cr	*c*	$4.84 + 0.00295T$	273–1823	5
	l	9.70	1823–1923	10
$CrCl_3$	*c*	23	286–319	?
Cr_2O_3	*c*	$26.0 + 0.00400T$	273–2263	?
CrSb	*c*	$12.3 + 0.00120T$	273–1383	?
$CrSb_2$	*c*	$19.2 + 0.00184T$	273–949	?
$Cr_2(SO_4)_3$	*c*	67.4	273–373	?
Cobalt[4]				
Co	*c*	$5.12 + 0.00333T$	273–1763	5
	l	8.40	1763–1873	5
$CoAs_2$-CoS_2	*c*	32.9	283–373	?
CoSb	*c*	$11.7 + 0.00156T$	273–1464	?
Co_2Sn	*c*	$15.83 + 0.00980T$	273–903	2
CoS	*c*	$10.6 + 0.00251T$	273–1373	?
$CoSO_4·7H_2O$	*c*	96	286–303	?

TABLE 2-194 Heat Capacities of the Elements and Inorganic Compounds (*Continued*)

Substance	State†	Heat capacity at constant pressure (T = K; 0°C = 273.1 K), cal/deg mol	Range of temperature, K	Uncertainty, %
Copper[7]				
Cu	*c*	$5.44 + 0.001462T$	273–1357	1
	l	7.50	1357–1573	3
CuAl	*c*	$9.88 + 0.00500T$	273–733	2
$CuAl_2$	*c*	$16.78 + 0.00366T$	273–773	2
Cu_9Al	*c*	$19.61 + 0.01054T$	273–775	2
CuI	*c*	$12.1 + 0.00286T$	273–675	?
CuI_2	*c*	20.1	274–328	?
CuO	*c*	$10.87 + 0.003576T - 150600/T^2$	273–810	2
$CuO\text{-}SiO_2\text{-}H_2O$	*c*	29	293–323	?
CuS	*c*	$10.6 + 0.00264T$	273–1273	?
Cu_2S	*c*, α	$9.38 + 0.0312T$	273–376	3
	c, β	20.9	376–1173	2
$CuS\text{-}FeS$	*c*	24	292–321	?
Cu_3Sb	*c*	$13.73 + 0.01350T$	273–573	2
Cu_2Sb	*c*	$21.79 + 0.00900T$	273–693	2
Cu_2Se	*c*, α	20.85	273–383	5
	c, β	20.35	383–488	5
Cu_2Si	*c*	$20.3 + 0.00587T$	273–1135	?
$CuSO_4$	*c*	24.1	282	?
$CuSO_4\text{-}H_2O$	*c*	31.3	282	?
$CuSO_4\text{-}3H_2O$	*c*	49.0	282	?
$CuSO_4\text{-}5H_2O$	*c*	67.2	282	?
Fluorine[8]				
F_2	*g*	$6.50 + 0.00100T$	300–3000	5
Gallium				
Ga_2O_3	*c*	$18.2 + 0.0252T$	273–923	?
$Ga_2(SO_4)_3$	*c*	62.4	273–373	?
Germanium[4]				
Ge	*c*			
Gold				
Au	*c*	$5.61 + 0.00144T$	273–1336	2
	l	7.00	1336–1573	5
$AuSb_2$	*c*, α	$17.12 + 0.00465T$	273–628	1
	c, βγ	$11.47 + 0.01756T$	628–713	?
Helium[9]				
He	*g*	4.97	All	0
Hydrogen[10]				
H	*g*	4.97	All	0
H_2	*g*	$6.62 + 0.00081T$	273–2500	2
HBr	*g*	$6.80 + 0.00084T$	273–2000	2
HCl	*g*	$6.70 + 0.00084T$	273–2000	1½
HI	*g*	$6.93 + 0.00083T$	273–2000	2
H_2O	*l*	See Tables 2-355 through 2-357		
	g	$8.22 + 0.00015T + 0.00000134T^2$	300–2500	?
H_2S	*g*	$7.20 + 0.00360T$	300–600	8
$H_2S_2O_7$	*c*	27	281	?
	l	58	308	?
Indium				
In	*c*			
Iodine				
I_2	*g*	9.00	300–2000	5
Iridium				
Ir	*c*	$5.50 + 0.00148T$	273–1873	1
Iron[4]				
Fe	*c*, α	$4.13 + 0.00638T$	273–1041	3
	c, β	$6.12 + 0.00336T$	1041–1179	3
	c, γ	8.40	1179–1674	5
	c, δ	10.0	1674–1803	5
	l	8.15	1803–1873	5
$FeAs_2$	*c*	17.8	283–373	?
Fe_3C	*c*	$25.17 + 0.00223T$	273–1173	10
$FeCO_3$	*c*	22.7	293–368	?
FeO	*c*	$12.62 + 0.001492T - 76200/T^2$	273–1173	2
Fe_2O_3	*c*	$24.72 + 0.01604T - 423400/T^2$	273–1097	2
Fe_3O_4	*c*	$41.17 + 0.01882T - 978900/T^2$	273–1065	2
$Fe_2O_3\text{-}3H_2O$	*c*	47.8	286–373	?
FeS	*c*, α	$2.03 + 0.0390T$	273–411	5
	c, β	$12.05 + 0.00273T$	411–1468	3
FeS_2	*c*	$10.7 + 0.01336T$	273–773	?
FeSi	*c*	$10.54 + 0.00458T$	273–903	2
Fe_2SiO_4	*c*	$33.57 + 0.01907T - 879700/T^2$	273–1161	2
$FeSO_4$	*c*	22	293–373	?
$Fe_2(SO_4)_3$	*c*	66.2	273–373	?
$FeSO_4\text{-}4H_2O$	*c*	63.6	282	?
$FeSO_4\text{-}7H_2O$	*c*	96	291–319	?
Krypton				
Kr	*g*	4.97	All	0

TABLE 2-194 Heat Capacities of the Elements and Inorganic Compounds (*Continued*)

Substance	State†	Heat capacity at constant pressure (T = K; 0°C = 273.1 K), cal/deg mol	Range of temperature, K	Uncertainty, %
Manganese				
Mn	*c*, α	$3.76 + 0.00747T$	273–1108	5
	c, β	$5.06 + 0.00395T$	1108–1317	5
	c, γ	$4.80 + 0.00422T$	1317–1493	5
	l	11.0	1493–1673	10
$MnCl_2$	*c*	$16.2 + 0.00520T$	273–923	?
$MnCO_3$	*c*	$7.79 + 0.0421T + 0.0000907T^{-2}$	273–773	?
MnO	*c*	$7.43 + 0.01038T - 0.00000362T^{-2}$	273–1923	?
Mn_2O_3	*c*	$10.33 + 0.0530T - 0.0000257T^{-2}$	273–1173	?
Mn_3O_4	*c*	$19.25 + 0.0538T - 0.0000209T^{-2}$	273–1773	?
MnO_2	*c*	$1.92 + 0.0471T - 0.00002977T^{-2}$	273–773	?
$Mn_2O_3 \cdot H_2O$	*c*	31	291–322	?
MnS	*c*	$10.21 + 0.00656T - 0.00000242T^{-2}$	273–1883	?
$MnSO_4$	*c*	27.5	293–373	?
$MnSO_4 \cdot 5H_2O$	*c*	78	290–319	?
Mercury[11]				
Hg	*l*	6.61	273–630	1
	g	4.97	All	0
Hg_2	*g*	9.00	300–2000	5
HgCl	*c*	$11.05 + 0.00370T$	273–798	?
$HgCl_2$	*c*	$15.3 + 0.0103T$	273–553	?
$Hg(CN)_2$	*c*	25	285–319	?
HgI	*c*	$11.4 + 0.00461T$	273–563	?
HgI_2	*c*, α	$17.4 + 0.0040017T$	273–403	3
	c, β	20.2	403–523	3
HgO	*c*	11.5	278–371	?
HgS	*c*	$10.9 + 0.00365T$	273–853	?
Hg_2SO_4	*c*	31.0	273–307	?
Molybdenum				
Mo	*c*	$5.69 + 0.00188T - 50300/T^2$	273–1773	5
MoO_3	*c*	$15.1 + 0.0121T$	273–1068	?
MoS_2	*c*	$19.7 + 0.00315T$	273–729	?
Neon[12]				
Ne	*g*	4.97	All	0
Nickel[4]				
Ni	*c*, α	$4.26 + 0.00640T$	273–626	2
	c, β	$6.99 + 0.000905T$	626–1725	5
	l	8.55	1725–1903	10
NiO	*c*	$11.3 + 0.00215T$	273–1273	?
NiS	*c*	$9.25 + 0.00640T$	273–597	3
Ni_2Si	*c*	$15.8 + 0.00329T$	273–1582	?
NiSi	*c*	$10.0 + 0.00312T$	273–1273	?
Ni_3Sn	*c*	$20.78 + 0.0102T$	273–904	?
$NiSO_4$	*c*	33.4	293–373	?
$NiSO_4 \cdot 6H_2O$	*c*	82	291–325	?
NiTe	*c*	$11.00 + 0.00433T$	273–700	2
Nitrogen[13]				
N_2	*g*	$6.50 + 0.00100T$	300–3000	3
NH_3	*g*	$6.70 + 0.00630T$	300–800	1½
NH_4Br	*c*	22.8	274–328	?
NH_4Cl	*c*, α	$9.80 + 0.0368T$	273–457	5
	c, β	$5.0 + 0.0340T$	457–523	5
NH_4I	*c*	17.8	273–328	?
NH_4NO_3	*c*	31.8	273–293	?
$(NH_4)_2SO_4$	*c*	51.6	275–328	?
NO	*g*	$8.05 + 0.000233T - 156300/T^2$	300–5000	2
Osmium				
Os	*c*	$5.686 + 0.000875T$	273–1877	1
Oxygen[14]				
O_2	*g*	$8.27 + 0.000258T - 187700/T^2$	300–5000	1
Palladium				
Pd	*c*	$5.41 + 0.00184T$	273–1822	2
Phosphorus				
P	*c*, yellow	5.50	273–317	5
	c, red	$0.21 + 0.0180T$	273–472	10
	l	6.6	317–373	10
PCl_3	*l*	28.7	284–371	?
P_4O_{10}	*c*	$15.72 + 0.1092T$	273–631	2
	g	73.6	631–1371	3
Platinum[4]				
Pt	*c*	$5.92 + 0.00116T$	273–1873	1
Potassium				
K	*c*	$5.24 + 0.00355T$	273–336	5
	l	7.7	336–373	5

TABLE 2-194 Heat Capacities of the Elements and Inorganic Compounds (*Continued*)

Substance	State†	Heat capacity at constant pressure (T = K; 0°C = 273.1 K), cal/deg mol	Range of temperature, K	Uncertainty, %
Potassium—(*Cont.*)				
K	*g*	4.97	All	0
K_2	*g*	9.00	300–2000	5
$KAsO_3$	*c*	25.3	290–372	?
KBO_2	*c*	$12.6 + 0.0126T$	273–1220	?
$K_2B_4O_7$	*c*	51.3	290–372	?
KBr	*c*	$11.49 + 0.00360T$	273–543	2
KCl	*c*	$10.93 + 0.00376T$	273–1043	2
$KClO_3$	*c*	25.7	289–371	?
$KClO_4$	*c*	26.3	287–318	?
$2KCl\text{-}CuCl_2\text{-}2H_2O$	*c*	63	292–323	?
$2KCl\text{-}PtCl_4$	*c*	55	286–319	?
$2KCl\text{-}SnCl_4$	*c*	54.5	292–323	?
$2KCl\text{-}ZnCl_2$	*c*	43.4	279–319	?
$2KCN\text{-}Zn(CN)_2$	*c*	57.4	277–319	?
K_2CO_3	*c*	29.9	296–372	?
K_2CrO_4	*c*	35.9	289–371	?
$K_2Cr_2O_7$	*c*	$42.80 + 0.0410T$	273–671	5
	l	96.9	671–757	5
KF	*c*	$10.8 + 0.00284T$	273–1129	?
$K_4Fe(CN)_6$	*c*	80.1	273–319	?
$K_4Fe(CN)_6\text{-}3H_2O$	*c*	114.5	273–310	?
KH_2AsO_4	*c*	32	289–319	?
KH_2PO_4	*c*	28.3	290–320	?
$KHSO_4$	*c*	30	292–324	?
$KMnO_4$	*c*	28	287–318	?
KNO_3	*c*	$6.42 + 0.0830T$	273–401	10
	c	28.8	401–611	5
	l	29.5	611–683	10
$K_2O\text{-}Al_2O_3\text{-}3SiO_2$	*c*, orthoclase	$69.26 + 0.00821T - 2331000/T^2$	273–1373	1½
	gls, orthoclase	$69.81 + 0.01053 - 2403000/T^2$	273–1373	1½
	c, microcline	$65.65 + 0.01102T - 1748000/T^2$	273–1373	1½
	gls, microcline	$64.83 + 0.01438T - 1641000/T^2$	273–1373	1½
$K_4P_2O_7$	*c*	63.1	290–371	?
K_2SO_4	*c*	33.1	287–371	?
$K_2S_2O_7$	*c*	37	293–373	?
$K_2SO_4\text{-}Al_2(SO_4)_3\text{-}24H_2O$	*c*	352	292–322	?
$K_2SO_4\text{-}Cr_2(SO_4)_3\text{-}24H_2O$	*c*	324	292–324	?
$K_2SO_4\text{-}MgSO_4\text{-}6H_2O$	*c*	106	292–323	?
$K_2SO_4\text{-}NiSO_4\text{-}6H_2O$	*c*	107	289–319	?
$K_2SO_4\text{-}ZnSO_4\text{-}6H_2O$	*c*	120	293–317	?
Prometheum				
Pr	*c*			
Radon				
Rn	*g*	4.97	All	0
Rhenium				
Re	*c*	$6.30 + 0.00053T$	273–2273	?
Rhodium				
Rh	*c*	$5.40 + 0.00219T$	273–1877	2
Rubidium				
Rb	*c*	$3.27 + 0.0131T$	273–312	2
	l	7.85	312–373	5
RbBr	*c*	$11.6 + 0.00285T$	273–954	?
RbCl	*c*	$11.5 + 0.00249T$	273–987	?
Rb_2CO_3	*c*	28.4	291–320	?
RbF	*c*	$11.3 + 0.00256T$	273–1048	?
RbI	*c*	$11.6 + 0.00263T$	273–913	?
Scandium				
Sc_2O_3	*c*	21.1	273–373	?
$Sc_2(SO_4)_3$	*c*	62.0	273–373	?
Selenium				
Se	*c*	$4.53 + 0.00880T$	273–490	2
	l	8.35	490–570	3
Silicon				
Si	*c*	$5.74 + 0.000617T - 101000/T^2$	273–1174	2
SiC	*c*	$8.89 + 0.00291T - 284000/T^2$	273–1629	2
$SiCl_4$	*l*	32.4	293–373	?
SiO_2	*c*, quartz, α	$10.87 + 0.008712T - 241200/T^2$	273–848	1
	c, quartz, β	$10.95 + 0.00880T$	848–1873	3½
	c, cristobalite, α	$3.65 + 0.0240T$	273–523	2½
	c, cristobalite, β	$17.09 + 0.000454T - 897200/T^2$	523–1973	2
	gls	$12.80 + 0.00447T - 302000/T^2$	273–1973	3½
Silver[6]				
Ag	*c*	$5.60 + 0.00150T$	273–1234	1
	l	8.2	1234–1573	3

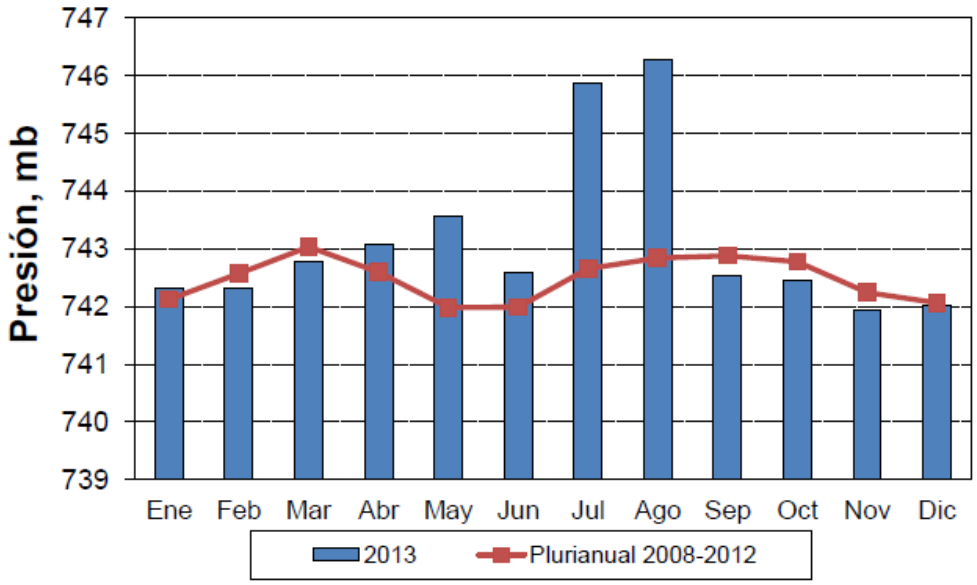
TABLE 2-194 Heat Capacities of the Elements and Inorganic Compounds (*Concluded*)

Substance	State†	Heat capacity at constant pressure (T = K; 0°C = 273.1 K), cal/deg mol	Range of temperature, K	Uncertainty, %
Thallium—(*Cont.*)				
Tl	*l*	7.12	576–773	3
TlBr	*c*	12.53 + 0.00100T	273–733	10
	l	16.0	733–800	10
TlCl	*c*	12.56 + 0.00088T	273–700	5
	l	14.2	700–803	10
Thorium				
Th	*c*	6.40	273–373	?
ThO_2	*c*	14.6 + 0.00507T	273–1273	?
$Th(SO_4)_2$	*c*	41.2	273–373	?
Tin[4]				
Sn	*c*	5.05 + 0.00480T	273–504	2
	l	6.6	504–1273	10
SnAu	*c*	11.79 + 0.00233T	273–581	1
$SnCl_2$	*c*	16.2 + 0.00926T	273–520	?
$SnCl_4$	*l*	38.4	286–371	?
SnO	*c*	9.40 + 0.00362T	273–1273	?
SnO_2	*c*	13.94 + 0.00565T − 252000/T^2	273–1373	?
SnPt	*c*	11.49 + 0.00190T	273–1318	1
SnS	*c*	12.1 + 0.00165T	273–1153	?
SnS_2	*c*	20.5 + 0.00400T	273–873	?
Titanium				
Ti	*c*	8.91 + 0.00114T − 433000/T^2	273–713	3
$TiCl_4$	*l*	35.7	285–372	?
TiO_2	*c*	11.81 + 0.00754T − 41900/T^2	273–713	3
Tungsten				
W	*c*	5.65 + 0.00866	273–2073	1
WO_2	*c*	16.0 + 0.00774T	273–1550	?
Uranium				
U	*c*	6.64	273–372	?
U_2O_5	*c*	59.8	276–314	?
Vanadium				
V	*c*	5.57 + 0.00097T	273–1993	?
Xenon				
Xe	*g*	4.97	All	0
Zinc[4]				
Zn	*c*	5.25 + 0.00270T	273–692	1
	l	7.59 + 0.00055T	692–1122	3
$ZnCl_2$	*c*	15.9 + 0.00800T	273–638	?
ZnO	*c*	11.40 + 0.00145T − 182400/T^2	273–1573	1
ZnS	*c*	12.81 + 0.00095T − 194600/T^2	273–1173	5
ZnSb	*c*	11.5 + 0.00313T	273–810	?
$ZnSO_4$	*c*	28	293–373	?
$ZnSO_4{\cdot}H_2O$	*c*	34.7	282	?
$ZnSO_4{\cdot}6H_2O$	*c*	80.8	282	?
$ZnSO_4{\cdot}7H_2O$	*c*	100.2	273–307	?
Zirconium				
ZrO_2	*c*	11.62 + 0.01046T − 177700/T^2	273–1673	5
$ZrO_2{\cdot}SiO_2$	*c*	26.7	297–372	?

[1] See also Table 2-195. Data to 298 K are also given by Scott, *Cryogenic Engineering*, Van Nostrand, Princeton, N.J., 1959.
[2] For liquid and gas data, see Johnson (ed.), WADD-TR-60-56, 1960.
[3] Stalder, NACA Tech. Note 4141, 1957 (Fig. 5), gives data from 400 to 2600°R.
[4] See also Table 2-195.
[5] For data from 400 to 5500°R see Stalder, NACA Tech. Note 4141, 1975 (Fig. 4).
[6] For solid, liquid, and gas data, see Johnson (ed.), WADD-TR-60-56, 1960.
[7] For data from 400 to 2350°R see Stalder, NACA Tech. Note 4141, 1957.
[8] For solid, liquid, and gas data, see Johnson (ed.), WADD-TR-60-56, 1960.
[9] For liquid and gas data, see Johnson (ed.), WADD-TR-60-56, 1960.
[10] For solid, liquid, and gas data, see Johnson (ed.), WADD-TR-60-56, 1960.
[11] See also Table 2-195; Douglas, Ball, et al., *Bur. Stand. J. Res.*, **46** (1951): 334; Busey and Giaque, *J. Am. Chem. Soc.*, **75** (1953): 806; Sheldon, ASME Pap. 49-A-30, 1949.
[12] For solid, liquid, and gas data, see Johnson (ed.), WADD-TR-56-60, 1960.
[13] For solid, liquid, and gas data, see Johnson (ed.), WADD-TR-56-60, 1960.
[14] For solid, liquid, and gas data, see Johnson (ed.), WADD-TR-56-60, 1960. Ozone: For liquid see Brabets and Waterman, *J. Chem. Phys.*, **28** (1958): 1212.
[15] For data on liquid Na-K alloys to 1500°F and for liquid Na to 1460°F, see Lubarsky and Kaufman, NACA Rep. 1270, 1956.
[16] See also Evans and Wagman, *Bur. Stand. J. Res.* **49** (1952): 141; Gratch, OTS PB 124957, 1950; Guthrie, Scott, et al., *J. Am. Chem. Soc.*, **76** (1954): 1488.

ANEXO 8

Análisis de la presión atmosférica en el Distrito Metropolitano de Quito (2013 y plurianual)



ANEXO 9

Constantes de cálculo A,B,C para la aplicación de la ecuación de Antoine

399	$C_{19}H_{40}$	nonadecane	629-92-5	1	4.14020	1932.800	137.600						0.02	466.50	2	639.00
				3	758.00	−10.68217	3.98054	−8.3030	−4.9950	12.30					12.30	758.00
				3	799.00	−11.22657	4.03454	−7.7867	−11.970	13.80					13.80	799.00
400	$C_{19}H_{40}O$	1-nonadecanol	1454-84-8													
401	$C_{20}H_{42}$	eicosane	112-95-8	1	4.27710	2032.700	132.100						0.02	481.10	2	652.00
				3	769.00	−10.97958	4.25588	−8.9573	−5.0430	11.60					11.60	769.00
402	$C_{20}H_{42}O$	1-eicosanol	629-96-9	3	809.00	−11.23154	3.66900	−7.0775	−14.321	13.00					13.00	809.00
407	ClD	deuterium chloride	7698-05-7	1	4.06086	668.2000	249.499				0.15	160.44	2	201.37		
408	$ClFO_3$	perchloryl fluoride	7616-94-6	1	4.02009	791.7270	243.880				0.02	167.80	2	242.15		
409	ClF_5	chlorine pentafluoride	13637-63-3	1	3.39423	653.0600	206.60				0.02	194.80	2	277.68		
410	ClH	hydrogen chloride	7647-01-0	1	4.29490	745.7800	258.88				0.15	159.97	2	201.00		
411	ClH_4N	ammonium chloride	12125-02-9	1	6.48060	3703.700	232.00				0.02	494.00	2	640.5.0		
412	ClNO	nitrogen oxychloride	2696-92-6	1	4.48644	1094.730	249.70				0.04	209.40	2	285.01		
413	Cl_2	chlorine	7782-50-5	1	4.06280	861.3400	246.33				0.02	176.31	2	255.79		
414	DH	deuterium hydride	13983-20-5	1	3.14102	77.13490	275.62				0.08	15.73	2	24.69		
415	DI	deuterium iodide	14104-45-1	1	2.72964	414.6800	187.87				0.40	217.80	2	256.03		
416	D_2	deuterium	7782-39-0	1	3.14102	77.13490	275.62				0.02	15.20	2	18.97		
417	D_2	deuterium, normal	800000-54-8	1	3.25315	83.52510	275.22				0.10	17.57	2	26.23		
418	D_2O	deuterium oxide	7789-20-0	1	5.04327	1616.760	219.54				0.20	335.17	2	394.54		
420	D_3N	trideuteroammonia	13550-49-7	1	4.61234	966.2260	240.80				0.05	195.75	2	256.46		
422	FH	hydrogen fluoride	7664-39-3	1	4.80588	1475.600	287.88				0.02	212.10	2	312.83		
423	FNO_2	nitrogen dioxyfluoride	10022-50-1	1	3.95830	654.55	238.00				0.02	151.00	2	214.12		
424	F_2	fluorine	7782-41-4	1	3.89078	304.3500	266.54				0.02	61.00	2	91.39		
428	F_2O	oxygen difluoride	7783-41-7	1	4.36109	545.0500	269.91				0.02	93.10	2	137.40		
430	F_3N	nitrogen trifluoride	7783-54-2	1	3.90456	501.9130	216.00				0.02	146.72	2	196.43		
433	F_4S	sulfur tetrafluoride	7783-60-0	1	3.96440	823.4000	248.00				0.02	170.00	2	249.92		
435	F_6S	sulfur hexafluoride	2551-62-4	1	5.54090	1096.500	262.00				0.02	162.00	2	220.40		
436	F_6U	uranium hexafluoride	7783-81-5	3	503.35	−7.37599	1.8001	−2.69686	−3.13299	45.31			45.31	503.35		
437	HI	hydrogen iodide	10034-85-2	1	2.69803	405.3300	186.13				0.40	217.90	2	256.12		
438	H_2	hydrogen	1333-74-0	1	2.93954	66.79540	275.65				0.05	10.25	2	22.82		
439	H_2	hydrogen, normal	800000-51-5	1	2.94928	67.50780	275.70				0.05	13.33	2	22.94		
440	H_2O	water	7732-18-5	1	5.11564	1687.537	230.17				0.01	273.20	16	473.20		
				3	647.300	−7.77224	1.45684	−2.71942*	−1.41336*		0.01	273.20	221	647.30		
441	H_2S	hydrogen sulfide	7783-06-4	1	4.22882	806.9330	251.39				0.20	185.51	2	227.20		
442	H_2S_2	dihydrogen disulfide	13465-07-1	1	4.05500	1199.000	225.00				0.02	256.00	2	367.55		
443	H_2S_3	dihydrogen trisulfide	13845-23-3	1	3.93200	1488.000	209.00				0.02	328.00	2	473.96		
444	H_2S_4	dihydrogen tetrasulfide	13845-25-5	1	4.07000	1772.000	196.00				0.02	384.00	2	547.30		
445	H_2S_5	dihydrogen pentasulfide	13845-24-4	1	4.44500	2104.000	189.00				0.02	426.00	2	591.88		
446	H_2Se	hydrogen selenide	7783-07-5	1	4.76030	927.6000	240.00				0.02	177.00	2	213.00		
447	H_3N	ammonia	7664-41-7	1	4.48540	926.1320	240.17				0.05	193.03	2	254.31		
				3	405.500	−7.28322	1.5716	−1.85672	−2.39312	113.530			113.5	405.50		
448	H_3P	phosphine	7803-51-2	1	3.84049	645.5120	256.07				0.03	137.44	2	199.46		
449	H_4N_2	hydrazine	302-01-2	1	4.92680	1679.07	227.70				0.02	298.90	2	408.43		

ANEXO 10

Propiedades del agua líquida a presión atmosférica

Colección de tablas, gráficas y ecuaciones de Transmisión de Calor

Tabla 4.5: Propiedades del agua líquida a presión atmosférica

T (°C)	ρ (kg/m³)	c_p (kJ/kg·K)	$\mu \cdot 10^6$ (N·s/m²)	$\nu \cdot 10^6$ (m²/s)	$k \cdot 10^3$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m²/s)	$\beta \cdot 10^3$ (1/K)	Pr
0.001	1005	4.213	1766	1.757	567.2	0.1339	-0.08021	13.12
5	1004	4.201	1506	1.500	574.8	0.1363	0.01135	11.00
10	1003	4.191	1300	1.297	583.0	0.1387	0.08744	9.348
15	1001	4.184	1135	1.134	591.4	0.1412	0.1523	8.033
20	999.5	4.180	1001	1.001	599.8	0.1436	0.209	6.975
25	997.9	4.176	890.1	0.8920	608.0	0.1459	0.2594	6.114
30	996.2	4.175	797.6	0.8007	616.0	0.1481	0.3051	5.406
35	994.3	4.174	719.6	0.7238	623.6	0.1503	0.347	4.817
40	992.4	4.174	653.3	0.6583	630.7	0.1523	0.3859	4.323
45	990.3	4.175	596.3	0.6022	637.4	0.1542	0.4225	3.906
50	988.1	4.177	547.1	0.5537	643.6	0.1559	0.4572	3.551
55	985.7	4.179	504.2	0.5115	649.3	0.1576	0.4903	3.245
60	983.2	4.182	466.6	0.4746	654.4	0.1592	0.5221	2.981
65	980.6	4.184	433.5	0.4420	659.1	0.1606	0.5528	2.752
70	977.9	4.188	404.1	0.4132	663.2	0.1620	0.5827	2.551
75	975.0	4.191	378.0	0.3877	666.9	0.1632	0.6118	2.375
80	971.9	4.195	354.6	0.3648	670.2	0.1644	0.6402	2.219
85	968.8	4.199	333.6	0.3443	673.0	0.1654	0.6682	2.081
90	965.5	4.204	314.6	0.3259	675.5	0.1664	0.6958	1.958
95	962.1	4.209	297.5	0.3092	677.5	0.1673	0.723	1.848
100	958.5	4.214	281.9	0.2941	679.3	0.1682	0.7501	1.749

Fuente: S.A. Klein y F.L. Alvarado, "Engineering Equation Solver Software (EES)", Academia

ANEXO 11

Propiedades termo físicas de agua saturada

846 Apéndice A ■ *Propiedades termofísicas de la materia*

TABLA A.6 Propiedades termofísicas de agua saturada[a]

Temperatura, T (K)	Presión P (bars)[b]	Volumen específico (m^3/kg) $v_f \cdot 10^3$	v_g	Entalpía de vaporización h_{fg} (kJ/kg)	Calor específico (kJ/kg · K) $c_{p,f}$	$c_{p,g}$	Viscosidad (N · s/m²) $\mu_f \cdot 10^6$	$\mu_g \cdot 10^6$	Conductividad térmica (W/m · K) $k_f \cdot 10^3$	$k_g \cdot 10^3$	Número de Prandtl Pr_f	Pr_g	Tensión superficial $\sigma_f \cdot 10^3$ (N/m)	Coeficiente de expansión $\beta_f \cdot 10^6$ (K^{-1})	Temperatura T(K)
273.15	0.00611	1.000	206.3	2502	4.217	1.854	1750	8.02	569	18.2	12.99	0.815	75.5	−68.05	273.15
275	0.00697	1.000	181.7	2497	4.211	1.855	1652	8.09	574	18.3	12.22	0.817	75.3	−32.74	275
280	0.00990	1.000	130.4	2485	4.198	1.858	1422	8.29	582	18.6	10.26	0.825	74.8	46.04	280
285	0.01387	1.000	99.4	2473	4.189	1.861	1225	8.49	590	18.9	8.81	0.833	74.3	114.1	285
290	0.01917	1.001	69.7	2461	4.184	1.864	1080	8.69	598	19.3	7.56	0.841	73.7	174.0	290
295	0.02617	1.002	51.94	2449	4.181	1.868	959	8.89	606	19.5	6.62	0.849	72.7	227.5	295
300	0.03531	1.003	39.13	2438	4.179	1.872	855	9.09	613	19.6	5.83	0.857	71.7	276.1	300
305	0.04712	1.005	29.74	2426	4.178	1.877	769	9.29	620	20.1	5.20	0.865	70.9	320.6	305
310	0.06221	1.007	22.93	2414	4.178	1.882	695	9.49	628	20.4	4.62	0.873	70.0	361.9	310
315	0.08132	1.009	17.82	2402	4.179	1.888	631	9.69	634	20.7	4.16	0.883	69.2	400.4	315
320	0.1053	1.011	13.98	2390	4.180	1.895	577	9.89	640	21.0	3.77	0.894	68.3	436.7	320
325	0.1351	1.013	11.06	2378	4.182	1.903	528	10.09	645	21.3	3.42	0.901	67.5	471.2	325
330	0.1719	1.016	8.82	2366	4.184	1.911	489	10.29	650	21.7	3.15	0.908	66.6	504.0	330
335	0.2167	1.018	7.09	2354	4.186	1.920	453	10.49	656	22.0	2.88	0.916	65.8	535.5	335
340	0.2713	1.021	5.74	2342	4.188	1.930	420	10.69	660	22.3	2.66	0.925	64.9	566.0	340
345	0.3372	1.024	4.683	2329	4.191	1.941	389	10.89	668	22.6	2.45	0.933	64.1	595.4	345
350	0.4163	1.027	3.846	2317	4.195	1.954	365	11.09	668	23.0	2.29	0.942	63.2	624.2	350
355	0.5100	1.030	3.180	2304	4.199	1.968	343	11.29	671	23.3	2.14	0.951	62.3	652.3	355
360	0.6209	1.034	2.645	2291	4.203	1.983	324	11.49	674	23.7	2.02	0.960	61.4	697.9	360
365	0.7514	1.038	2.212	2278	4.209	1.999	306	11.69	677	24.1	1.91	0.969	60.5	707.1	365
370	0.9040	1.041	1.861	2265	4.214	2.017	289	11.89	679	24.5	1.80	0.978	59.5	728.7	370
373.15	1.0133	1.044	1.679	2257	4.217	2.029	279	12.02	680	24.8	1.76	0.984	58.9	750.1	373.15
375	1.0815	1.045	1.574	2252	4.220	2.036	274	12.09	681	24.9	1.70	0.987	58.6	761	375
380	1.2869	1.049	1.337	2239	4.226	2.057	260	12.29	683	25.4	1.61	0.999	57.6	784	380
385	1.5233	1.053	1.142	2225	4.232	2.080	248	12.49	685	25.8	1.53	1.004	56.6	814	385

ANEXO 12

Especificaciones para resistencias blindadas de tubo acero inoxidable de Φ= 11mm

Resistencias tubulares rectas Ø 11

Estas resistencias tubulares blindadas son fabricadas bajo rigurosos sistemas de control, de calidad, siendo su principio una espiral de resistencia de niquel-cromo o cantal centradas en un tubo de cuaklquier metal y asilado del mismo por una masa de oxido de magnesio altamente compactada aumentando asi su conductibilidad termica.
Las resistencias tubulares rectas son frecuentemente utilizadas en la calefacción de hornos estufas, pantallas infrarrojas o inmersas en aulquier tipo de liquido corrosivo o no. Son sumistradas en de 11 mm. Siendo sus bornes de conexión de ¼".
Sobre pedido tambien se pueden fabricar en diámetros mayores.

Acero Inoxidable			
Tipo	Watts	Volts	L. Util
I11R-003	500	220-380	390
I11R-004	600	220-380	490
I11R-005	700	220-380	590
I11R-008	1000	220-380	880
I11R-010	1200	220-380	1070
I11R-012	1400	220-380	1260
I11R-014	1700	220-380	1450
I11R-016	1900	220-380	1650
I11R-018	2100	220-380	1840
I11R-020	2400	220-380	2030
I11R-023	2600	220-380	2320
I11R-025	2800	220-380	2520
I11R-028	3100	220-380	2800
I11R-030	3400	220-380	3000
I11R-035	3800	220-380	3480
I11R-038	4100	220-380	3760
I11R-040	4200	220-380	3860
I11R-045	4800	220-380	4440
I11R-050	5000	220-380	4930

ANEXO 13

Rango de dimensiones límite y especificaciones técnicas para resistencias tubulares de distintos diámetros del tubo o vaina.

Ø vaina terminada	7	8	9,52	11,1	12,7	14,3
Largo "a" máximo en mm	1500	4000	4000	4000	4000	4000
Largo "a" mínimo en mm	200	100	200	200	200	200
Largo zona fría "c" máxima	100	1500	1500	1500	1500	1500
Largo zona fría "c" mínima	30	30	30	40	40	40
Tensión máxima (volts)	380	380	440	440	440	440
Intensidad máxima (amperes)	20	30	30	30	40	40
Potencia máxima (KW)	2400	6200	6800	6800	8300	9100

Tensión de ensayo	8 veces la tensión nominal
Resistencia de aislación	mayor a 20M (en frío)
Tolerancia en el valor óhmico	+10% -5%
Tolerancia en la potencia	+5% -10%
Tolerancia en el largo	Rectas +- 1 mm; otras +- 5 mm

ANEXO 14

Especificaciones técnicas para interruptores termo-magnéticos General Electric de la serie DG

Performance

Thermal setting In	(A)	0.5-63
Rated voltage AC Un	(V)	240/415
Minimum operating voltage $U_{B\,min}$	(V)	12
Tripping characteristics		B-C-D
Selectivity class		3
Mechanical/electrical endurance		20000/10000
Tropicalisation acc. to IEC 60068-2		95% RH at 55°C
Terminal capacity flexible/rigid cable	(mm^2)	25-35
Poles		1,2,3,4
Weight	(g/pole)	120

Short-circuit Capacity

Per UL 1077 & CSA 22.2 No. 235-1989 (File E151139)

Poles	Max. Voltage Rating		Short Circuit Rating kAIC RMS Symmetrical				kAIC DC	
	AC	DC	120	120/ 240	277	480Y/ 277	50	110
1	277	50	10	-	6	-	10	-
2	480Y/277	110	10	10	6	-	-	10
3, 4	480Y/277	110	10	10	6	6	-	-

AC acc. to IEC 60898

Poles	V	Icn/Ics (kA)
1-4	230/400	6

AC acc. to IEC 60947-2

Poles	V	Icu (kA)*
1	240	10
2,3,4	240	20
2,3,4	415	10

*Ics = 75% Icu

DC acc. to IEC 60947-2

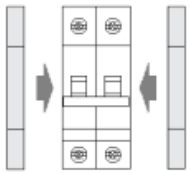
Poles	V	Icu/Ics (kA)
1	60	20
2	125	25

Applications

Approval / Marking

Add-on Devices

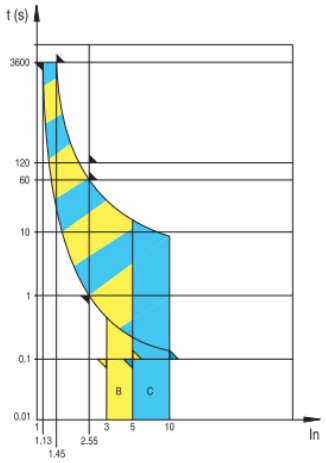
Auxiliaries



Características según IEC/EN 60898-1

Los interruptores magnetotérmicos son dispositivos diseñados para la protección de líneas tanto por sobrecargas como por cortocircuitos en instalaciones domésticas y comerciales e industriales.

Curva característica de disparo (EN/IEC 60898-1)



Disparo magnético

Un electroimán con pistón de apoyo asegura un disparo instantáneo en el caso de cortocircuito. La norma hace distinción entre dos tipos diferentes en función de la intensidad de disparo instantáneo: tipo B y C.

Icn (A)	Intensidad prueba	Tiempo disparo	Aplicaciones
B	3 x In	0,1 < t < 45s (In ≤ 32A) 0,1 < t < 90s (In > 32A)	Solo para cargas resistivas tales: - calefacción eléctrica
	5 x In	t < 0,1s	- calentador de agua - estufas
C	5 x In	0,1 < t < 15s (In ≤ 32A) 0,1 < t < 30s (In > 32A)	Cargas habituales destacables: - alumbrado
	10 x In	t < 0,1s	- tomas de corriente - pequeños motores

Disparo térmico

El disparo se inicia mediante la tira bimetálica en el caso de sobrecarga. La norma establece los intervalos de disparo para valores de sobrecarga específicos.
La temperatura ambiente de referencia es 30°C.

Intensidad prueba	Tiempo disparo
1,13 x In	t ≥ 1h (In ≤ 63A) t ≥ 2h (In > 63A)
1,45 x In	t < 1h (In ≤ 63A) t < 2h (In > 63A)
2,55 x In	1s < t < 60s (In ≤ 32A) 1 s < t < 120s (In > 32A)

ANEXO 15

Especificaciones técnicas para cable de cobre flexible aislado con caucho de silicona y trenza de vidrio siliconado

Sección mm2	Máximo de los alambres mm	Espesor de aislación		Diámetro final aproximado mm	Spark Test Kv	Resistencia eléctrica máxima del conductor a 20°C (0hms/Km)	Intensidad máxima admitida tendido en aire (Amp)
		Silicona mm	Trenzado mm				
0.35	0.21	0.50	0.30	2.40	2	55.0	2.8
0.50	0.21	0.60	0.30	2.70	3	39.0	3.5
0.75	0.21	0.60	0.30	3.00	3	26.0	5.5
1.00	0.21	0.60	0.30	3.10	3	19.5	7
1.50	0.26	0.70	0.30	3.60	4	13.3	10
2.50	0.26	0.80	0.30	4.20	6	7.98	14
4.00	0.31	0.80	0.30	4.80	6	4.95	18
6.00	0.31	0.80	0.30	5.40	6	3.30	24
10.00	0.41	1.00	0.30	6.70	8	1.91	33
16.00	0.41	1.00	0.30	8.50	8	1.21	46
25.00	0.41	1.20	0.30	10.30	10	0.780	60
35.00	0.41	1.20	0.35	11.80	10	0.554	75
50.00	0.41	1.40	0.35	13.80	12	0.386	90
70.00	0.41	1.40	0.35	16.00	12	0.272	115
95.00	0.51	1.60	0.40	18.40	12	0.206	140
120.00	0.51	1.60	0.40	20.30	14	0.161	161
150.00	0.51	1.80	0.40	22.60	14	0.129	177
185.00	0.51	2.00	0.40	25.20	15	0.106	202
240.00	0.51	2.20	0.40	28.20	15	0.0801	226

ANEXO 16

Especificaciones técnicas para conductores de cobre flexible

ELECTRO CABLES C.A.

CONDUCTORES FLEXIBLES DE COBRE TIPO "FXT, TFF, TW-F"

DESCRIPCION

Los conductores tipo FXT, TFF y TW -F. son cableados y están construidos con cobre de temple suave, están además aislados con una capa uniforme de material termoplástico Cloruro de Polivinilo (PVC). Pueden ser suministrados en colores variados según su calibre y con distintas formas de embalaje.

USOS Y APLICACIONES

Los conductores flexibles de cobre tipo FXT, TFF y TW-F son utilizados para alambrado de aparatos, cableados de tableros eléctricos de control, baterías de vehículos, instalaciones generales industriales y comerciales, donde se requiera de gran flexibilidad debido a las dificultades de trabajo y en general como cables sometidos a continuo movimiento, tal como se especifica en el National Electrical Code. Este tipo de conductor puede ser usado en lugares secos y húmedos, su temperatura máxima de operación es 60 °C y su tensión de servicio para todas las aplicaciones es 600 V.

PRESENTACION

Colores disponibles:
Cables (calibres del 24 al 10 AWG): Negro, blanco, azul, rojo, amarillo y verde.

Cables (calibres 8 AWG al 100 MCM): Negro y rojo.

Formas de embalaje:
A: Rollo de 100 m.
B: Carrete de 1500 m.
C: Carrete de 1000 m.
D: Carrete de 500 m.
E: Carrete múltiplo de 1000 m.
Z: Long. a requerimiento cliente.

ELECTRO CABLES C.A.

ESPECIFICACIONES TECNICAS

Todos los conductores fabricados por ELECTROCABLES C.A. cumplen con holgura las especificaciones establecidas en las normas de fabricación existentes para cada tipo y que son las siguientes:

Aislante de Material termoplástico, PVC 600 V. - 60 °C (*)
(*) También disponible aislamientos de PVC de 75, 90 y 105 °C

Calibre AWG ó MCM	Sección mm2	FORMACION No. de Hilos por diámetro en mm.	ESPESOR AISLAMIENTO mm	DIAMETRO EXTERIOR mm	PESO TOTAL Kg/Km	Cap. de Corriente Para 1 conductor Al aire libre Amp .	TIPO CABLE	Altern. de embal.
24	0.205	7 x 0,20	0.51	1.63	5.14	---	FXT	A,E
22	0.324	11 x 0,20	0.51	1.78	7.62	---	FXT	A,E
20	0.519	17 x 0,20	0.76	2.47	9.98	5	FXT	A,E
18	0.823	12 x 0,30	0.76	2.72	13.43	7	TFF	A,E
16	1.310	19 x 0,30	0.76	3.02	18.93	10	TFF	A,B
14	2.08	30 x 0,30	1.14	4.17	32.30	25	TW-F	A,B
12	3.31	27 x 0,40	1.14	4.67	46.50	30	TW-F	A,C
10	5.26	42 x 0,40	1.14	5.26	67.90	40	TW-F	A,D
8	8.37	7 x (17x0,30)	1.52	7.31	119.70	60	TW-F	A,B,E
6	13.30	7 x (15x0,40)	1.52	8.38	174.50	80	TW-F	A,E
4	21.15	7 x (24x0,40)	1.52	9.80	269.90	105	TW-F	A,E
2	33.62	7 x (38x0,40)	1.52	11.55	402.90	140	TW-F	A,E
1	42.36	7 x (48x0,40)	2.03	13.62	521.30	165	TW-F	A,D,E
1/0	53.49	19 x (23x0,40)	2.03	15.09	648.90	195	TW-F	D,E,Z
2/0	67.43	19 x (28x0,40)	2.03	16.23	830.20	225	TW-F	D,E,Z
3/0	85.01	19 x (36x0,40)	2.03	17.86	1003.40	260	TW-F	D,E,Z
4/0	107.20	19 x (45x0,40)	2.03	19.49	1251.20	300	TW-F	D,E,Z
250	127.00	37 x (13x0,60)	2.41	22.23	1498.00	350	TW-F	Z
300	152.00	37 x (15x0,60)	2.41	23.53	1826.00	375	TW-F	Z
350	177.00	37 x (17x0,60)	2.41	24.73	2031.00	420	TW-F	Z
400	203.00	37 x (20x0,60)	2.41	26.42	2325.00	455	TW-F	Z
500	253.00	37 x (25x0,60)	2.41	28.97	2746.00	515	TW-F	Z
600	304.00	37 x (30x0,60)	2.79	32.03	3287.00	575	TW-F	Z
700	355.00	37 x (34x0,60)	2.79	33.74	3804.00	630	TW-F	Z
750	380.00	37 x (37x0,60)	2.79	34.96	4110.00	655	TW-F	Z
800	405.00	37 x (39x0,60)	2.79	35.74	4326.00	680	TW-F	Z
900	456.00	37 x (44x0,60)	2.79	37.62	4812.00	730	TW-F	Z
1000	507.00	37 x (49x0,60)	2.79	39.39	5298.00	780	TW-F	Z

Conductor elaborado bajo normas:
NEMA WC -5, ICEA S -61-402, ASTM B172, B174, UL STANDARD 83, INEN

ANEXO 17

Manual de funcionamiento del controlador MT-543R*i pluss*

1. DESCRIPCIÓN

El **MT-543R*i plus*** posee 3 salidas de control de temperatura más un buzzer interno. Como posee gran versatilidad, permite que la segunda etapa actúe como alarma y la tercera, además de funcionar como timer cíclico, puede actuar en conjunto con la primera en sistemas que necesiten ventilación mínima. A través de la salida serial RS-485, permite comunicación con el software SITRAD®.
Producto en conformidad con CE (Unión Europea) y UL Inc. (Estados Unidos y Canadá).

2. APLICACIÓN

- Bancos de sangre
- Sistemas multietapas de temperatura
- Acondicionadores de aire
- Centro de Procesamiento de Datos

Nota: Para cliatización y almacenamiento de frutas y flores, así como ambientes con condensación como utilice el modelo AHC-80 plus.

3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- **Alimentación:** MT-543Ri plus - 115/230 Vac ±10% (50/60 Hz)
  MT-543RiL plus - 12/24 Vac/dc
- **Temperatura de control:** Con NTC: -50 hasta 105°C (± 0.1 °C) / -58 hasta 221°F (± 1 °C)
  Con PT-100: -99 hasta 300°C (± 1 °C) / -99 hasta 572°F (± 1 °C)
- **Dimensiones:** 71 x 28 x 71 mm
- **Temperatura de operación:** 0 hasta 50°C / 32 hasta 122°F
- **Humedad de operación:** 10 hasta 90% HR (no condensante)
- **Carga máxima:** 5(3)A / 250 Vac 1/8HP por salida

CLASIFICACIÓN ACORDANDO LA NORMA IEC60730-2-9:

- **Límite de la temperatura de la superficie de la instalación:** 50°C / 122°F
- **Tipo de construcción:** Regulador electrónico incorporado
- **Acción automática:** Tipo 1
- **Control de la contaminación:** Nivel 2
- **Voltaje del impulso:** 1,5kV
- **Temperatura para la prueba de la presión de esfera:** 75°C y 125°C / 167°F y 257°F
- **Aislamiento:** Clase II

5. DESCRIPCIÓN DE LOS PARÁMETROS

F01 - Código de acceso (123)
Es necesario cuando se desea alterar los parámetros de configuración. Para solamente visualizar los parámetros ajustados no es necesario ingresar este código.

F02 - Corrimiento de indicación (offset)
Permite compensar eventuales errores en la lectura de la temperatura, provenientes del cambio del sensor o de alteración en el largo del cable.

F03 - Modo de operación de la 1ª etapa
0 - Refrigeración
1 - Calefacción

F04 - Mínimo setpoint permitido al usuario final (1ª etapa)
F05 - Máximo setpoint permitido al usuario final (1ª etapa)
Bloqueos electrónicos cuya finalidad es evitar, que por error, se regule el setpoint en temperaturas extremadamente altas o bajas.

F06 - Diferencial de control (histerésis) de la 1ª etapa
Es la diferencia de temperatura (histerésis) entre CONECTADA y DESCONECTADA de la salida OUT1.

F07 - Retardo mínimo para conectar la salida de la 1ª etapa
Es el tiempo mínimo en que la salida OUT1 permanecerá desconectada, o sea, espacio de tiempo entre la última parada y la próxima partida.

F08 - Modo de operación de la 2ª etapa
0 - Refrigeración
1 - Calefacción
2 - Alarma intra-rango (F09 y F10)
3 - Alarma extra-rango (F09 y F10)
4 - Alarma extra-rango relativo de la 1ª etapa (SP1 - F09 y SP1 + F10), se considera los valores absolutos de F09 y F10).

F09 - Mínimo setpoint permitido al usuário final (2ª etapa)
F10 - Máximo setpoint permitido al usuário final (2ª etapa)
Bloqueos electrónicos cuya finalidad es evitar, que por error, se regule el setpoint en temperaturas extremadamente altas o bajas.Cuando la 2ª etapa (F08) es definida como alarma, los puntos de actuación son definidos en F09 y F10.

4. TABLA DE PARÁMETROS

		NTC								PT-100							
		CELSIUS				FAHRENHEIT				CELSIUS				FAHRENHEIT			
Fun	Descripción	Mín	Máx	Unid	Padrón	Mín	Máx	Unid	Padrón	Mín	Máx	Unid	Padrón	Mín	Máx	Unid	Padrón
F01	Código de acceso: 123 (ciento veintitrés)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F02	Corrimiento de indicación (offset)	-5.0	5.0	°C	0	-9	9	°F	0	-50	50	°C	0	-90	90	°F	0
F03	Modo de operación de la 1ª etapa	0	1	-	1	0	1	-	1	0	1	-	1	0	1	-	1
F04	Mínimo setpoint permitido al usuario final (1ª etapa)	-50	105	°C	-50	-58	221	°F	-58	-99	300	°C	-99	-99	572	°F	-99
F05	Máximo setpoint permitido al usuario final (1ª etapa)	-50	105	°C	105	-58	221	°F	221	-99	300	°C	300	-99	572	°F	572
F06	Diferencial de control (histerésis) de la 1ª etapa	0.1	20.0	°C	1.0	1	36	°F	2	1	40	°C	2	1	72	°F	4
F07	Retardo mínimo para conectar la salida de la 1ª etapa	0	999	seg.	0	0	999	seg.	0	0	999	seg.	0	0	999	seg.	0
F08	Modo de operación de la 2ª etapa	0	4	-	3	0	4	-	3	0	4	-	3	0	4	-	3
F09	Mínimo setpoint permitido al usuário final (2ª etapa)	-50	105	°C	21.0	-58	221	°F	70	-99	300	°C	21	-99	572	°F	70
F10	Máximo setpoint permitido al usuário final (2ª etapa)	-50	105	°C	27.0	-58	221	°F	81	-99	300	°C	27	-99	572	°F	81
F11	Diferencial de control (histéresis) de la 2ª etapa	0.1	20.0	°C	1.0	1	36	°F	2	1	40	°C	2	1	72	°F	4
F12	Retardo mínimo para conectar la salida de la 2ª etapa	0	999	seg.	0	0	999	seg.	0	0	999	seg.	0	0	999	seg.	0
F13	Tiempo de inhibición de la alarma para conectar el instrum.	0	999	min.	0	0	999	min.	0	0	999	min.	0	0	999	min.	0
F14	Tiempo de reactivación de la alarma al inhibirse manualmente	Aut	999	min.	Aut	Aut	999	min.	Aut	Aut	999	min.	Aut	Aut	999	min.	Aut
F15	Tiempo de alarma activada	0	999	seg.	1	0	999	seg.	1	0	999	seg.	1	0	999	seg.	1
F16	Tiempo de alarma des activada	0	999	seg.	1	0	999	seg.	1	0	999	seg.	1	0	999	seg.	1
F17	Modo de operación de la 3ª etapa	0	2	-	0	0	2	-	0	0	2	-	0	0	2	-	0
F18	Mínimo setpoint permitido al usuário final (3ª etapa)	-50	105	°C	-50	-58	221	°F	-58	-99	300	°C	-99	-99	572	°F	-99
F19	Máximo setpoint permitido al usuário final (3ª etapa)	-50	105	°C	105	-58	221	°F	221	-99	300	°C	300	-99	572	°F	572
F20	Diferencial de control (histéresis) de la 3ª etapa	0.1	20.0	°C	1.0	1	36	°F	2	1	40	°C	2	1	72	°F	4
F21	Retardo mínimo para conectar la salida de la 3ª etapa	0	999	seg.	0	0	999	seg.	0	0	999	seg.	0	0	999	seg.	0
F22	Base de tiempo del timer cíclico de la 3ª etapa	0	1	-	0	0	1	-	0	0	1	-	0	0	1	-	0
F23	Tiempo para activacion del timer cíclico de la 3ª etapa	0	999	seg.	5	0	999	seg.	5	0	999	seg.	5	0	999	seg.	5
F24	Tiempo del timer cíclico de la 3ª etapa activada	0	999	-	0	0	999	-	0	0	999	-	0	0	999	-	0
F25	Tiempo del timer cíclico de la 3ª etapa desactivada	0	999	-	0	0	999	-	0	0	999	-	0	0	999	-	0
F26	Modo de operación del timer cíclico	0	4	-	0	0	4	-	0	0	4	-	0	0	4	-	0
F27	Modo de operación del Buzzer	0	2	-	1	0	2	-	1	0	2	-	1	0	2	-	1
F28	Punto de actuación del Buzzer (límite inferior)	-50	105	°C	-50	-58	221	°F	-58	-99	300	°C	-99	-99	572	°F	-99
F29	Punto de actuación del Buzzer (límite superior)	-50	105	°C	105	-58	221	°F	221	-99	300	°C	300	-99	572	°F	572
F30	Tiempo del Buzzer conectado	0	999	seg.	1	0	999	seg.	1	0	999	seg.	1	0	999	seg.	1
F31	Tiempo del Buzzer desconectado	0	999	seg.	1	0	999	seg.	1	0	999	seg.	1	0	999	seg.	1
F32	Tiempo de inhibición del Buzzer en la energización	0	999	min.	0	0	999	min.	0	0	999	min.	0	0	999	min.	0
F33	Tiempo de reactivación del Buzzer al inhibirse manualmente	Aut	999	min.	Aut	Aut	999	min.	Aut	Aut	999	min.	Aut	Aut	999	min.	Aut
F34	Intensidad del filtro digital	0	9	-	0	0	9	-	0	0	9	-	0	0	9	-	0
F35	Dirección del equipo en la rede RS - 485 (com. serial)	1	247	-	1	1	247	-	1	1	247	-	1	1	247	-	1

F11 - Diferencial de control (histéresis) de la 2ª etapa
Es la diferencia de temperatura (histéresis) entre CONECTAR y DESCONECTAR la salida OUT2.

F12- Retardo mínimo para conectar la salida de la 2ª etapa
Es el tiempo mínimo en que la salida OUT2 permanecerá desconectada, o sea, espacio de tiempo entre la última parada y la próxima partida. Solamente si programado en F08 = 0 o 1.

F13 - Tiempo de inhibición de la alarma para conectar el instrumento
Esta función sirve para inhibir la alarma durante un período debido al sistema aún no haber alcanzado la temperatura de trabajo (solamente si F08 configurada para alarma).

F14 - Tiempo de reactivación de la alarma al inhibirse manualmente
Esta función permite tres configuraciones diferentes (solamente si F08 configurada para alarma):
- AUt - La alarma será inhibida por un período indeterminado o hasta que la temperatura entre en condición normal de trabajo y retorne a la condición de alarma nuevamente;
- **0** - La alarma no podrá ser inhibida por las teclas de acceso facilitado;
- **1 a 999** - La alarma será inhibida durante este período (en minutos), retornando a activar caso persista la condición de la alarma;

F15 - Tiempo de alarma activada
Esta función sirve para ajustar el tiempo que la salida OUT2 permanecerá activada (solamente si F08 configurada para alarma).

F16 - Tiempo de alarma desactivada
Esta función sirve para ajustar el tiempo que la salida OUT2 permanecerá desactivada (solamente si F08 configurada para alarma). Para mantener la alarma siempre activada basta configurar "0" en esta función.

F17 - Modo de operación de la 3ª etapa
0 - Refrigeración
1 - Calefacción
2 - Timer cíclico

F18 - Mínimo setpoint permitido al usuário final (3ª etapa)
F19 - Máximo setpoint permitido al usuário final (3ª etapa)
Bloqueos electrónicos cuya finalidad es evitar, que por error, se regule el setpoint en temperaturas extremadamentete altas o bajas.

F20 - Diferencial de control (histéresis) de la 3ª etapa
Es la diferencia de temperatura (histéresis) entre CONECTAR y DESCONECTAR la salida OUT3.

F21- Retardo mínimo para conectar la salida de la 3ª etapa
Es el tiempo mínimo en que la salida OUT3 permanecerá desconectada, o sea, espacio de tiempo entre la última parada y la próxima partida. Solamente si programado en F17 = 0 o 1.

F22 -Base de tiempo del timer cíclico de la 3ª etapa
0 - segundos
1 - minutos

F23 - Tiempo para activacion del timer cíclico de la 3ª etapa
Esta función es dependiente del F26. Toda vez que la temperatura alcanza el valor configurado en SP1 (setpoint de la salida 1) el tiempo configurado en esta función es respetado, para después ser activado el timer cíclico. Para activar el timer en el momento que el SP1 es alcanzado ponga el valor "0" para esta función.

F24 - Tiempo del timer cíclico de la 3ª etapa activada
Es el tiempo que el timer cíclico permanecerá activado.

F25 - Tiempo del timer cíclico de la 3ª etapa desactivada
Es el tiempo que el timer cíclico permanecerá desactivado.

F26 - Modo de operación del timer cíclico
0 - Timer independiente
1 - Timer cíclico activado por el setpoint de la 1º etapa
2 - 1º etapa atada a la salida del timer cíclico (timer comienza conectado)
3 - 1º etapa atada a la salida del timer cíclico (timer inicia desconectado)
4 - Salida del timer cíclico conectado siempre que la salida de la 1º etapa estiver desconectada.

F27 -Modo de operación del Buzzer
0 - Alarma intra-rango (F28 y F29)
1 - Alarma extra-rango (F28 y F29)
2 - Alarma extra-rango relativo de la 1ª etapa (SP1 - F28 y SP1 + F29), se considera los valores absolutos de F28 y F29).

F28 - Punto de actuación del Buzzer (límite inferior)
Es el valor inferior de la temperatura para la actuación de la alarma del Buzzer según el Modo de operación del Buzzer (F27) configurado.

F29 - Punto de actuación del Buzzer (límite superior)
Es el valor superior de temperatura para la actuación de la alarma del Buzzer según el Modo de operación del Buzzer (F27) configurado.

F30 - Tiempo del Buzzer conectado
Es el tiempo que el Buzzer permanecerá conectado (ciclo activo). Para inhabilitar la alarma sonora (Buzzer) ajuste el valor "0" para esta función.

F31 - Tiempo del Buzzer desconectado
Es el tiempo que el Buzzer permanecerá desconectado (ciclo inactivo). Para inhabilitar la alarma sonora (Buzzer) ajuste el valor "0" para esta función.

F32 - Tiempo de inhibición del Buzzer en la energización
Es el tiempo que el Buzzer permanecerá desactivado mismo que en condiciones de alarma. Este tiempo sirve para inhibir el Buzzer durante el tiempo que el sistema aún no ha alcanzado las condiciones de trabajo.

F33 -Tiempo de reactivación del Buzzer al inhibirse manualmente
Esta función permite tres configuraciones diferentes:
- AUt - El Buzzer será inhibido por un período indeterminado o hasta que la temperatura entre en condición normal de trabajo y retorne a la condición de alarma nuevamente;
- **0** - El Buzzer no podrá ser inhibido por las teclas de acceso facilitado;
- **1 a 999** - El Buzzer será inhibido durante este período (en minutos), retornando a activar caso persista la condición de la alarma;

F34 - Intensidad del filtro digital
Ese filtro tiene la finalidad de simular un aumento de masa en el sensor, aumentando así su tiempo de respuesta (inercia térmica). Cuanto mayor sea el valor ajustado en esta función, mayor el tiempo de respuesta del sensor.
Una aplicación típica que necesita de este filtro son freezer para helados y congelados, ya que al abrir la puerta, una masa de aire caliente atinge directamente el sensor, provocando una elevación rápida en la indicación de la temperatura medida y, muchas veces, accionando sin necesidad el compresor.

F35 - Dirección del equipo en la rede RS - 485 (comunicación serial)
Cada equipo conectado en la red RS - 485 debe poseer una única dirección, distinta de las demás, de manera que la computadora pueda identificarlo.
Atención: Para evitar problemas en la comunicación, esté seguro de que no existan equipos con la misma dirección.

6. CONFIGURACIONES

6.1 - Ajuste de las temperaturas de control (SETPOINT)

- Presione SET por 2 segundos hasta que aparezca SEt , soltando enseguida. Aparecerá SP1 y la temperatura ajustada para la 1ª etapa.
- Utilice las teclas ▼ y ▲ para alterar el valor y, cuando esté listo, presione SET .
- Ajuste de la misma manera SP2 (2ª etapa) y SP3 (3ª etapa).

7. ALTERACIÓN DE LOS PARÁMETROS

- Acceda a función F01 presionando simultáneamente las teclas ▼ y ▲ durante 2 segundos hasta aparecer Fun , soltando enseguida. Luego aparecerá F01 y luego presione SET (toque corto).
- Utilice las teclas ▼ y ▲ para ingresar el código de acceso (123) y, cuando esté listo, presione SET.
- Utilice las teclas ▼ y ▲ para acceder a la función deseada.
- Después de seleccionar la función, presione SET (toque corto) para visualizar el valor configurado para aquella función.
- Utilice las teclas ▼ y ▲ para alterar el valor y cuando esté listo, presione SET para grabar el valor configurado y retornar al menú de funciones.
- Para salir del menú y retornar a la operación normal (indicación de la temperatura); presione SET (toque largo) hasta aparecer - - - .

8. INFORMACIONES DE ACCESO RÁPIDO

8.1 Registro de las temperaturas máxima y mínima

Presione ▲ , aparecerán la temperatura mínima registrada y luego después la temperatura máxima registrada.
Nota: Para reiniciar los registros, mantener presionada la tecla ▲ durante la visualización de las temperaturas mínima y máxima hasta aparezca rSt .

8.2 Inhibición de la alarma y Buzzer

Para inhibir la alarma OUT2 presione simultáneamente las teclas ▲ y SET .
Para inhibir el Buzzer presione simultáneamente las teclas ▼ y SET .

9. SEÑALIZACIONES

OUT 1 - Salida 1 conectada
OUT 2 - Salida 2 conectada
OUT 3 - Salida 3 conectada
BUZZ - Buzzer activado
Err - Sensor desconectado o temperatura fuera del rango especificado

10. SELECION DE LA UNIDAD (°C / °F)

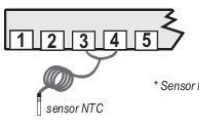
Para definir la unidad con que el instrumento operará, acceda a función "F01" con el código de acceso 231 y confirme en la tecla SET . Presione la tecla ▲ y aparecerá la indicación Uni .
Presione SET para elegir entre °C y °F confirme. Después de seleccionar la unidad aparecerá FAC y el instrumento volverá a la función "F01". Cada vez que la unidad sea alterada, los parámetros deben ser reconfigurados, ya que ellos asumen los valores "estandar".

11. SELECCIÓN DEL TIPO DE SENSOR

F01 - Código de acesso (312)
Es necesário cuando se desea seleccionar entre el termistor NTC o PT-100.
Después de ingresar el código confirme en la tecla SET . Accede a la función SEn y seleccione entre ntC o Pt- .
Toda vez que se selecciona un nuevo sensor el instrumento debe tener su funciones ajustadas.

11.1 - SENSOR NTC

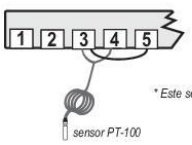
Debe ser conectado en los bornes 3 y 4, según el diseño abajo:



** Sensor fornecido con el controlador.*

11.2 - SENSOR PT-100

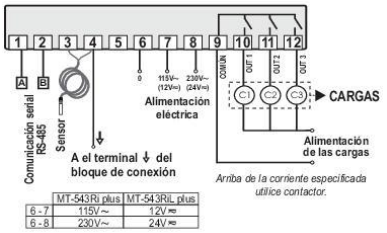
Debe ser conectado en los bornes 3 y 4 e interconectados los bornes 3 y 5, según el diseño abajo:



** Este sensor debe ser adquirido separadamente.*

Diámetro		Dist. máx.
(AWG)	(mm)	(metros)
14	1.63	18.1
16	1.29	11.4
18	1.02	7.2
20	0.81	3.0
22	0.64	1.9
26	0.40	1.1

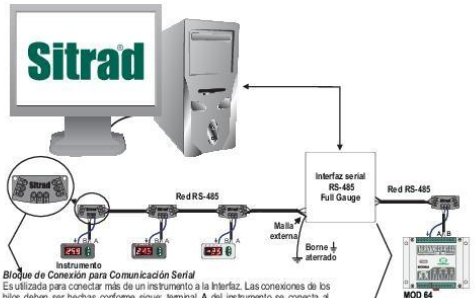
12. ESQUEMA DE CONEXIÓN



	MT-543Ri plus	MT-543RiL plus
6 - 7	115V ~	12V ⎓
6 - 8	230V ~	24V ⎓

Nota: El largo del cable del sensor puede ser ampliado por el propio usuario, en hasta 200 metros, utilizando cable PP 2 x 24 AWG. Para inmersión en agua utilice pozo termométrico.

Interconectando Controladores, Interface Serial RS-485 y Computadora

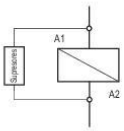


Bloque de Conexión para Comunicación Serial
Es utilizada para conectar más de un instrumento a la Interfaz. Las conexiones de los hilos deben ser hechas conforme sigue: terminal **A** del instrumento se conecta al terminal **A** del bloque de conexión, que a su vez, debe ser conectado con el terminal **A** de la Interfaz. Repita el procedimiento para los terminales **B** y ⏚ , siendo ⏚ la malla del cabo (tierra opcional).
El terminal ⏚ de la caja de distribución debe estar conectado a los respectivos terminales ⏚ de cada uno de los instrumentos.

Interfaz Serial RS-485
Dispositivo utilizado para establecer la conexión de los instrumentos de Full Gauge Controls con el Sitrad®.

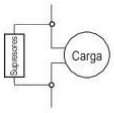
IMPORTANTE
Conforme capítulos de la norma IEC 60364:
1: Instale protectores contra sobretensiones en la alimentación
2: Los cables de sensores y de señales de computadora pueden estar juntos; sin embargo, no en el mismo electroducto por donde pasa la alimentación eléctrica y la activación de cargas.
3: Instale supresores de transientes (filtros RC) en paralelo a las cargas, con la finalidad de aumentar la vida útil de los relés.

Esquema de conexión de supresores en contactores



A1 y A2 son los bornes de la bobina del contactor

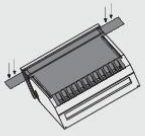
Esquema de conexión de supresores en cargas de activación directa

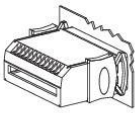


Para la activación directa tome en consideración la corriente máxima especificada.

VINILO PROTECTOR:
Protege los instrumentos instalados en locales sometidos a goteos de agua, como en refrigeradores comerciales, por ejemplo. Este adhesivo acompaña el instrumento, adentro de su embalaje. Haga la aplicación solamente después de concluir las conexiones eléctricas.

Retire el papel protector y aplique el vinilo sobre toda la parte superior del aparato, doblando los bordes conforme indican las flechas.





© Copyright 2006 • Full Gauge Controls ® • Derechos reservados.

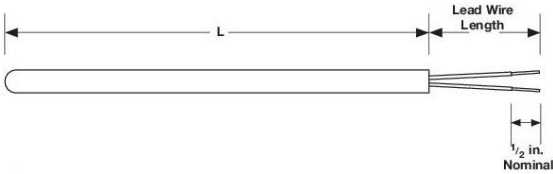
ANEXO 18

Especificaciones técnicas para seleccionar un RTD Watlow estilo RB

Resistance Temperature Sensors

RTDs

Standard Industrial Insulated Leads
Style RB



Ordering Information

Part Number

① ②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧ ⑨	⑩	⑪	⑫	⑬ ⑭	⑮
RB	Sheath O.D. (in.)	Lead Wire Const.	Fittings	Lead Wire Term.	Sheath Const.	Sheath Length "L" (in.)	Sheath Length "L" (fract. in.)	Element	Initial Element Accuracy	Lead Wire Length (ft)	0
					A						

③ Sheath O.D. (in.)

G =	0.125
H =	0.188
J =	0.250

Note: 0.125 dia. supplied with 28 gauge wire. 0.188 and 0.250 dia. supplied with 24 gauge wire.

④ Lead Wire Construction*

	Standard	Overbraid	Flex Armor
Fiberglass stranded	A	J*	R*
PFA stranded	B	L*	T*

Certain option combinations must be furnished with a transition between the sheath and lead wire. Contact the factory if a transition is unacceptable.
*May require a transition.

⑤ Fittings

If required, enter the order code from pages 89 to 90. If none enter "0".

⑥ Lead Wire Termination

A* =	Standard male plug 400°F (200°C)
B* =	Standard female jack
C* =	Standard plug with mating connector
J* =	Male miniature plug
K* =	Female miniature jack
L* =	Male/female mini set
T =	Standard leads
U =	Leads with spade lugs

* Requires two-or three-wire, single element only.

⑦ Sheath Construction

A =	316/316L SS

⑧ ⑨ Sheath Length "L" (in.)

Available lengths: 02 to 36

⑩ Sheath Length "L" (fractional in.)

0 =	No fraction, whole inches
4 =	1/2 in.

⑪ Element

	2-Wire	3-Wire	4-Wire
100Ω single	A	B	C
100Ω dual*	D	E	—
1000Ω single	J	K	L

* Available in 0.250 inch diameter only.

⑫ Initial Element Accuracy @ 0°C

A =	DIN Class A (±0.06%)
B =	DIN Class B (±0.12%)

⑬ ⑭ Lead Wire Length (ft)

Whole feet: 01 to 99
Note: Single wires for 4 feet and under. Duplex wires for over 4 feet.

Note: Applies to low temperature RTD's only.

Features and Benefits

High accuracy
- Dependable readings

Customized diameters
- From 0.125 to 0.250 inch

Epoxy sealed
- Resists moisture and pull out
- Standard 500°F (260°C) potting

Durable rigid sheath
- 316 stainless steel -58 to 500°F (-50 to 260°C)

Internal heat transfer paste
- Quick time response

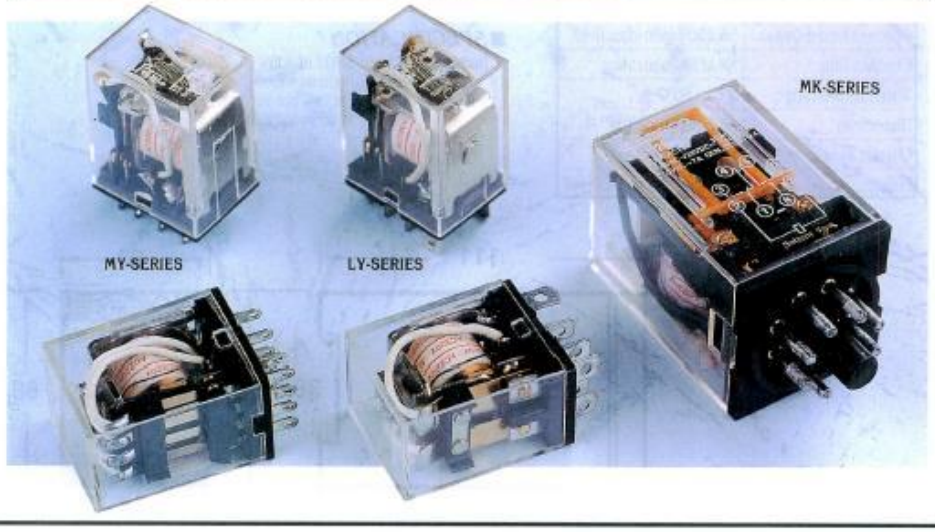
ANEXO 19

Especificaciones técnicas para relés electromagnéticos de mando marca Camsco y sus accesorios de montaje

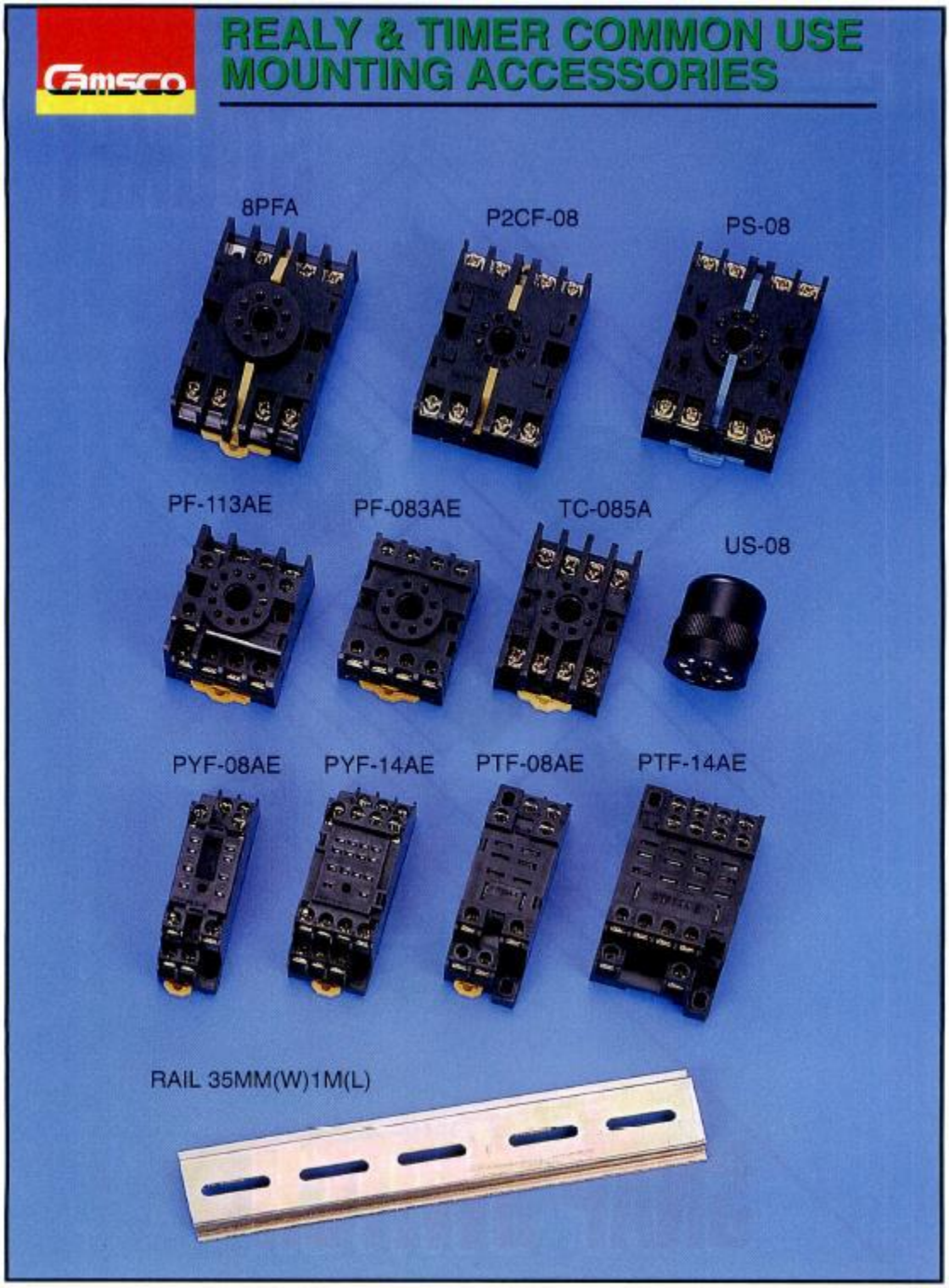
Camsco **RELAY**

specification

MODEL		MY SERIES			LY SERIES			MK SERIES	
		MY-2	MY-3	MY-4	LY-2	LY-3	LY-4	MK2PI	MK3PI
EXTERNAL DIMENSION (mm)	L W H	27.6 21.5 34			27.6 21.5 36	27.6 31.5 36	27.6 41.5 36	34.7 36.7 52	
CONTACT FORM		2A2B	3A3B	4A4B	2A2B	3A3B	4A4B	2A2B	3A3B
CONTACT CAPACITY		28V DC 220V AC			28V DC 220V AC			28V DC 220V AC	
		5A		3A	15A/10A	10A		10A 5A	
COIL VOLTAGE	DC	6,12,24,36,110 V			6,12,24,36,48,110V			6,12,24,48,60,110,220V	
	AC	6,12,24,36,110,220V			6,12,24,36,48,110,220V			6,12,24,36,48,110,127,220,380V	
CONTACT RESISTANCE		≤ 50mΩ			≤ 50mΩ			≤ 50mΩ	
INSULATION RESISTANCE		≥ 1000MΩ			≥ 1000MΩ			≥ 500MΩ	
DIELECTRIC STRENGTH		1000V AC 50/60Hz			1500 AC 50/60 Hz			1500V AC 50/60Hz	
SERVICE LIFE	MECHANICAL	10,000,000			10,000,000			10,000,000	
	ELECTRICAL	100,000			100,000			100,000	
TERMINAL		OUTLET AND PRINTED-CIRCUIT BOARD			OUTLET AND PRINTED-CIRCUIT BOARD			OUTLET SOLDER	



REALY & TIMER COMMON USE MOUNTING ACCESSORIES



ANEXO 20

Especificaciones técnicas de temporizadores Camsco AH3

Camsco

MULTI RANGE TIMER AH3-A-B-C-D-E

M+Y RATED VOLTAGE 24V-240V AC/DC AVAILABLE

CHARACTERISTICS

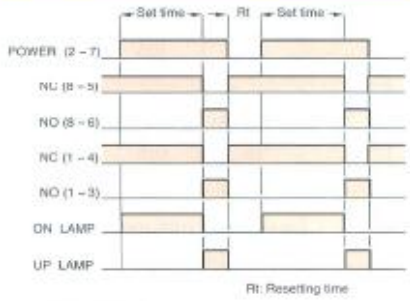
- Exclusive CMOS IC assures high performance stability, and accuracy.
- 4 Time range can be changed with ease by merely exchanging DIP switch.
- Easy - to - monitor DIP switch positions,time series and operation voltage.
  Five time series with wide timing ranges from 0.1 sec. to 30 hrs.
- Output contact: Time delay contacts 2C (DPDT) 10A.

TIME RANGE

Four time are available for each timer by setting the DIP switches to required positions.

Time range / series	Position of time range selector			
	1 S	10 S	1 M	10 M
A	1S (0.05S-1S)	10S (0.1S-10S)	60S (0.5S-60S)	10M (10S-10M)
B	3S (0.05S-3S)	30S (0.5S-30S)	3M (1S-3M)	30M (30S-30M)
C	6S (0.1S-6S)	60S (0.5S-60S)	6M (1S-6M)	60M (30S-60M)
D	60S (0.5S-60S)	10M (10S-10M)	60M (30S-60M)	10H (10M-10H)
E	3M (1S-3M)	30M (30S-30M)	3H (3M-3H)	30H (1H-30H)

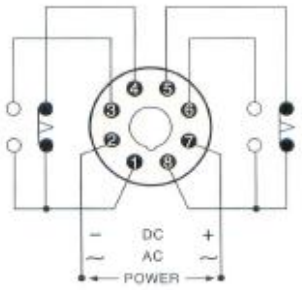
OPERATION TIME CHART



SPECIFICATIONS

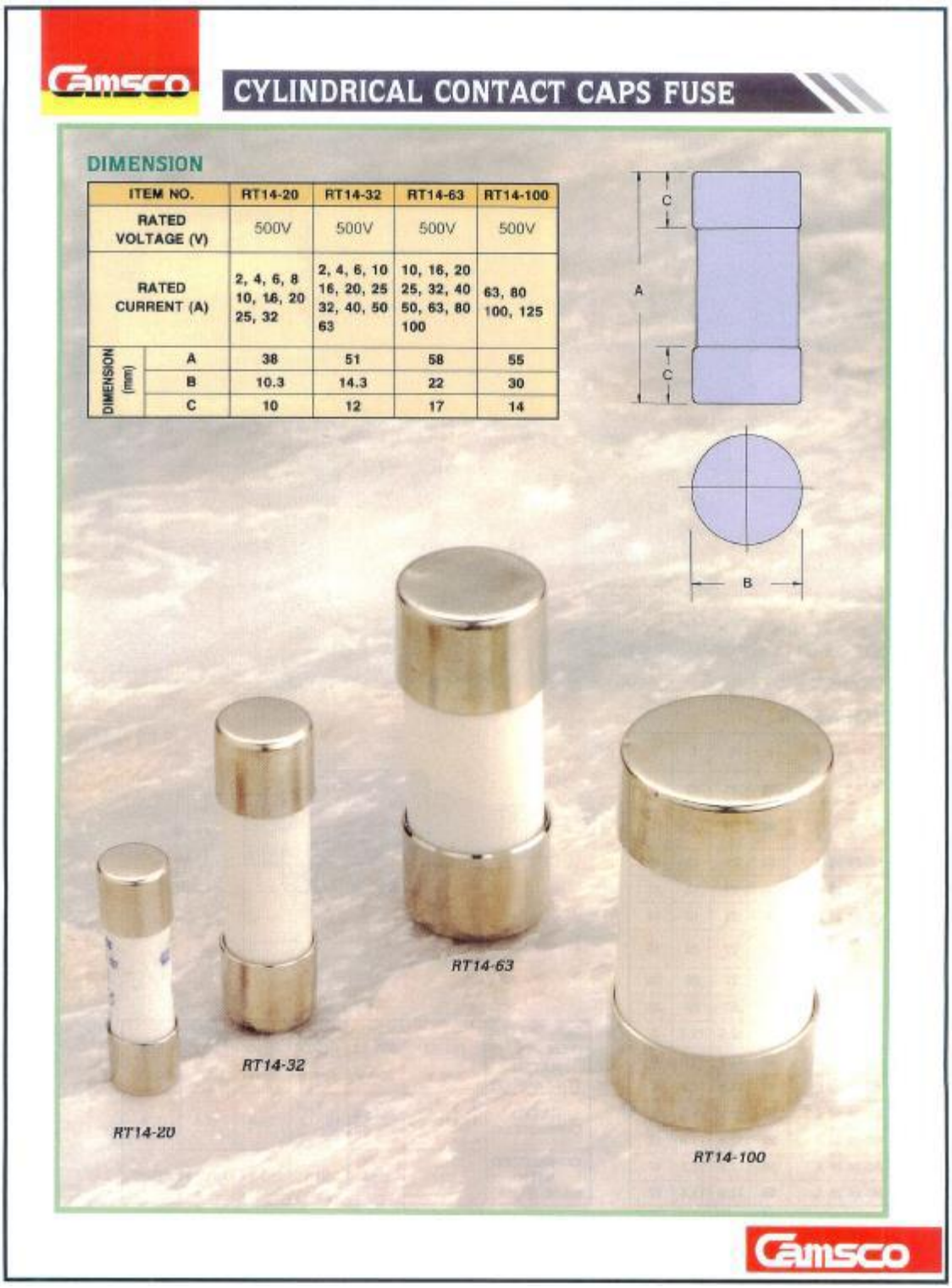
RATED VOLTAGE	AC 110V, 220V, 380V, 440V, DC 12V, 24V,
Rated frequency	50/60Hz.
ORERATING VOLTAGE	AC 85-110% of rated voltage. DC 80-110% of rated voltage.
CONSUMED POWER	About 2VA FOR AC. About 2W FOR DC.
CONTROL METHOD	Time-limit operation Self-resetting
CONTACT RATING	250V AC 10A(P.F.=1)
AMBIENT TEMP.	-10°C~+55°C
AMBIENT HUMIDITY	45~85% RH

CONNECTION DIAGRAM



ANEXO 21

Especificaciones técnicas para fusibles cilíndricos de cerámica marca Camsco



ANEXO 22

Datos técnicos de la interfaz serial Conv32

1. DESCRIPCIÓN

La **INTERFACE CONV32** de Full Gauge permite que los controladores Full Gauge con comunicación serial sean conectados a una PC que posea un puerto de comunicación USB.
La interface se encarga entonces de transformar el estándar eléctrico utilizado por la PC al estándar eléctrico RS-485 utilizado por los controladores.
La Full Gauge utiliza la red RS-485 para proporcionar mayor robustez y confiabilidad en la comunicación entre sus controladores y el Software Sitrad®. La comunicación es establecida a dos hilos (A y B), pudiéndose efectuar así una comunicación Half-Duplex en que la PC es el máster y los controladores son esclavos.

OBS: Dispositivo USB compatible solamente con el estándar USB 2.0 en Windows NT, 2000, 2003, 2008, XP, Vista, 7 y 8.

2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- **Alimentación:** Através del puerto USB
- **Temperatura de operación:** 0 a 50°C
- **Tres Led 's de indicación:** uno para señalizar que la interface está conectada (⏻) y otros dos que indican transmisión (**TX**) y recepción (**RX**) serial, en marcha.
- Un conector USB-B hembra para conexión con la PC, utilizando cable específico provisto con la interface.
- Un puerto RS-485 para conexión de hasta 32 instrumentos, sin la necesidad de terminación.

3. ESQUEMA DE CONEXIÓN PARA LA INTERFACE CONV32

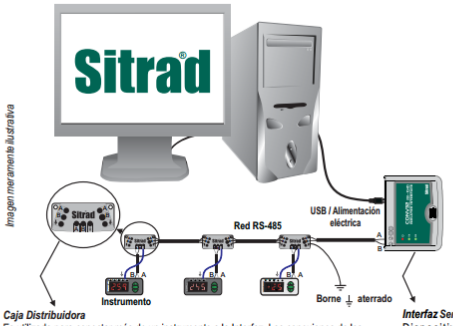
- Conecte los bornes **A** y **B** de la interface con los respectivos bornes **A** y **B** de las cajas distribuidoras e instrumentos.
- Conecte el cable USB a la computadora;

OBS:
- La extensión de la red RS-485 debe ser de, máximo, 1000 metros.
- Utilice siempre cable USB blindado y con un largo máximo de 1,8 metros y certificado por el USB.org.

4. INSTALACIÓN:

Esta interface conversora utiliza comunicación HID (Dispositivo de Interface Humana), por esto no necesita de ninguna instalación del driver en el Windows.
En el Sitrad es necesario acceder a las configuraciones del programa y configurar la comunicación como USB.

5. INTERCONECTANDO CONTROLADORES, INTERFACE SERIAL RS-485 Y COMPUTADORA



Caja Distribuidora
Es utilizada para conectar más de un instrumento a la Interfaz. Las conexiones de los hilos deben ser hechas conforme sigue: terminal **A** del instrumento se conecta al terminal **A** dela caja distribuidora, que a su vez, debe ser conectado con el terminal **A** de la Interfaz. Repita el procedimiento para los terminales **B** y ⏚ , siendo ⏚ la malla del cabo (tierra opcional).
El terminal ⏚ de la caja de distribución debe estar conectado a los respectivos terminales ⏚ de cada uno de los instrumentos.

Interfaz Serial RS-485
Dispositivo utilizado para establecer la conexión de los instrumentos de Full Gauge Controls con el Sitrad®.

INFORMACIONES AMBIENTALES

Embalaje:
Los materiales utilizados en los embalajes de los productos Full Gauge son 100% reciclables. Busque siempre agentes de reciclaje especializados para hacer el descarte.

Producto:
Los componentes utilizados en los instrumentos Full Gauge pueden ser reciclados y aprovechados nuevamente si fueren desmontados por empresas especializadas

Descarte:
No queme ni tire en residuo doméstico los controladores que lleguen al fin de su vida útil. Observe la legislación, existente en su país, que trate de los destinos para los