

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO DE ARCO ELÉCTRICO EN
CORRIENTE CONTINUA**

GUIDO ARTETA ARANGO

JOSÉ DE JESÚS MONTERROSA RICARDO

MAURICIO PINZÓN BELTRAN

LIBARDO ROMERO VELASCO

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTADES DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.

1998

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO DE ARCO ELÉCTRICO EN
CORRIENTE CONTINUA**

GUIDO ARTETA ARANGO

JOSÉ DE JESÚS MONTERROSA RICARDO

MAURICIO PINZÓN BELTRAN

LIBARDO ROMERO VELASCO

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar
el título de Ingeniero Mecánico y Eléctrico.

Director:
Jorge Alberto Reyes Méndez
Ing. Metalúrgico

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTADES DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.

1998

Cartagena Indias D. T. y C., Abril de 1998

Señores:

COMITÉ DE PROYECTOS DE GRADO

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar

La Ciudad

Estimados señores:

Me permito informar a Uds que he dirigido el trabajo de grado titulado “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO DE ARCO ELÉCTRICO EN CORRIENTE CONTINUA**”, presentado por los estudiantes **GUIDO JOSE ARTETA ARANGO, JOSE DE JESUS MONTERROSA RICARDO, LIBARDO ROMERO VELAZCO Y MAURICIO PINZON BELTRAN**, como requisito para optar al titulo de Ing. Electricista y Mecánico.

Agradecemos de antemano la atención prestada.

Atentamente,

JORGE ALBERTO REYES MENDEZ

Ing. Metalúrgico

Director

Cartagena de Indias D. T. y C., Abril de 1998

Señores

COMITÉ DE PROYECTOS DE GRADO

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Corporación Universitaria Tecnológica De Bolívar

La Ciudad

Estimados señores:

Respetados señores con la presente nos permitimos presentar a Uds, para su consideración, estudio y aprobación el trabajo de grado titulado “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HORNO DE ARCO ELÉCTRICO EN CORRIENTE CONTINUA**” como requisito parcial para optar al título de Ing. Electricista y Mecánico.

Agradecemos de antemano la atención prestada.

Atentamente

MAURICIO PINZÓN BELTRAN

JOSÉ DE J. MONTERROSA RICARDO

LIBARDO ROMERO VELASCO

GUIDO ARTETA ARANGO

DEDICATORIA

A Dios, por darme la fuerza necesaria para cumplir mis objetivos

A mis padres

Mis Hermanos

A mi Hijo y a su Madre

Mis Tíos

Por el apoyo moral que me dieron durante mi carrera.

JOSE

DEDICATORIA

A todos mis familiares en especial a mi madre que siempre me han dado aliento para culminar mi carrera.

A mis hijos por tener paciencia y confiar en mí.

GUIDO

DEDICATORIA

A mis Padres y hermanos por apoyar para alcanzar este objetivo.

A mi esposa e hijos que fueron el aliento para seguir adelante.

LIBARDO

DEDICATORIA

A Dios

A mis padres

A mi tío

Por el apoyo moral que me dieron durante mi carrera.

MAURICIO

AGRADECIMIENTOS

Los autores de la obra expresan sus agradecimientos a:

A JORGE ALBERTO REYES MENDEZ. Ingeniero Metalúrgico por su valiosa colaboración y en especial por dirigir nuestro Trabajo de Grado.

A JOSE GREGORIO RUBIO M. Ingeniero Electricista por su apoyo y colaboración.

A JORGE CHEJUAN DE LA ROSA. Ingeniero Electricista

Y a todos aquellas personas que de alguna manera colaboraron para la realización de este Trabajo de Grado.

Artículo 104. La Corporación Universitaria Tecnológica de Bolívar, se reserva el derecho de propiedad intelectual de todos los trabajos de grado aprobados y no pueden ser explotados comercialmente sin autorización

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	
1. PRINCIPIOS BASICOS DE UN HORNO DE ARCO	16
1.1 CARACTERISTICAS GENERALES	16
1.2 EL ARCO ELECTRICO	17
1.2.1. Arco entre dos electrodos idénticos.	17
1.2.2 El arco en hornos de corriente alterna	20
1.2.3 El arco en hornos de corriente continua(C.C.).	24
2 EQUIPOS ELECTRICOS	26
2.1 EL INTERRUPTOR GENERAL DE ENTRADA	26
2.2 TRANSFORMADOR PRINCIPAL	27
2.3 RECTIFICADOR DE CORRIENTE	28
2.4 BOBINA DE AUTOINDUCCION DE CORRIENTE CONTINUA	29
2.5 EQUIPO DE CONTROL Y REGULACION	29
2.6 CABLES EN BAJA TENSION	30
3. EQUIPOS MECANICOS	31
3.1 CONJUNTO DE LA PARTE MECANICA	32
3.1.1 Cuba y bóveda.	32
3.1.2 Plataforma y estructura.	33

	Pág.
3.1.3 Brazo porta electrodo.	34
3.2 MATERIALES REFRACTARIOS	34
3.2.1 Refractarios para la cuba y la bóveda.	37
3.3 ELECTRODOS	41
4. DISEÑO CALCULO Y CONSTRUCCIÓN DE EQUIPOS MECÁNICOS	43
4.1. CANTIDAD DE CALOR	43
4.2. ANALISIS DE PERDIDA DE CALOR	44
4.2.1. Aislamiento cubierta lateral del horno.	44
4.2.2. Cálculo de la pared del fondo.	52
4.2.3. Diseño de la tapa del horno.	55
4.3. CONSTRUCCION DEL HORNO	60
4.3.1. Ubicación de los Electrodo .	60
4.3.2. Cálculo de la soldadura para la carcaza.	62
4.3.3. Cálculo de los perfiles que soportan el horno.	67
4.3.4. Cálculo del volumen para el material fundido.	67
4.4. DISEÑO DEL SISTEMA BASCULANTE	76
4.4.1. Cálculo del torque de giro.	79
4.4.2. Diseño de los ejes del Horno.	80
4.4.3. Sistema de transmisión de potencia.	81
4.4.4. Diseño de la manivela para bascular el horno.	87
5. DISEÑO Y SELECCION DE EQUIPOS ELECTRICOS	95
5.1 SELECCION DEL TRANSFOMADOR TRIFASICO	95

	Pág.
5.1.1. Capacidad.	95
5.1.2. Voltajes.	96
5.2 SELECCION DEL RECTIFICADOR	96
5.2.1 Especificaciones de los diodos.	99
5.3. DISEÑO DEL ELECTRODO	101
5.4 SELECCION DE LA REACTANCIA LIMITADORA DE CORRIENTE ALTERNA	102
5.5 SELECCION DE LA BOBINA DE AUTOINDUCCION DE CORRIENTE CONTINUA	104
5.6 DISEÑO DEL SISTEMA DE REGULACION DE CORRIENTE	106
5.6.1 El Sensor.	107
5.6.2 Controlador On - Off.	108
5.6.3 Actuador.	111
5.7 DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL CON CONTACTORES	114
BIBLIOGRAFIA	
ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Tipos de hornos de arco.	5
Figura 2. Horno de arco radiante.	5
Figura 3. Disposición general del horno de arco sumergido.	8
Figura 4. Evolución del horno de arco de CA.	13
Figura 5. Características del arco entre dos electrodos idénticos.	20
Figura 6. Esquema en C.A. y variación de la tensión y la corriente	21
Figura 7. Onda de tensión e intensidad en el laboratorio.	22
Figura 8. Análisis del horno de arco y tensión en el arco de C.A.	22
Figura 9. Oscilación de la tensión del baño a 150 Hz.	23
Figura 10. Características del arco en C.C.	25
Figura 11. Esquema eléctrico típico de un horno de arco de C.C.	27
Figura 12. Sección de un horno eléctrico arco Heroult.	32
Figura 13. Sistema $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$	35
Figura 13. Sistema $\text{CaO} - \text{MgO}$.	36
Figura 15. Refractario para horno de arco enteramente revestible.	37
Figura 16. Calor de fusión	43
Figura 17. Vista superior del cuerpo del horno	45

	Pág.
Figura 18 . Aislamiento del fondo del horno	53.
Figura 19 .Aislamiento tapa del horno	56
Figura 20 .Corte lateral del horno	59
Figura 21 Electrodo negativo y sistema de control	61
Figura 22 Ubicación del electrodo positivo	62
Figura 23 Lamina de acero lateral	64
Figura 24 Soldadura a tope con ranura en V	66
Figura 25 .Soporte cuerpo del horno	68
Figura 26 Diagrama de momento	71
Figura 27 Sección transversal	72
Figura 28 Carga sobre la columna	73
Figura 29 Volumen para el material fundido	75
Figura 30 Centro de gravedad	77
Figura 31 Horno en posición horizontal	79
Figura 32 Diagrama de momento	81
Figura 33 Diagrama de momento	85
Figura 34 Diagrama de aplicación de las fuerzas para el sistema de transmisión de potencia	86
Figura 35 Disposición de engranajes y manivela	88
Figura 36 Diagrama de momento	90
Figura 37 Diagrama de fuerzas	91
Figura 38 Estructura de soporte	92

	Pág.
Figura 39. Rectificador puente trifásico.	97
Figura 40 Formas de onda y tiempos de conducción de los diodos.	97
Figura 41.Circuito equivalente con transformador	104
Figura 42. Diagrama en bloque del sistema de control.	107
Figura 43. Circuito comparador de ventana	110
Figura 44. Circuito de activación del motor paso a paso de cuatro fase.	112
Figura 45. Circuito de control con contactores para seleccionar la tensión secundaria del transformador.	114

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Valores típicos de los consumos.	10
Tabla 2. Datos de producción de acero en los últimos años.	14
Tabla 3. Producción en España.	15
Tabla 4. Características de los electrodos para hornos eléctricos.	42
Tabla 5. Capacidad de corriente aproximadas de los electrodos de grafito para hornos de arco.	42
Tabla 6. Variación de la conductividad térmica con la temperatura del U_{A26} .	46
Tabla 7. Variación de la conductividad térmica con la temperatura del U_{33}	47
Tabla 8. Datos del centro de gravedad del cuerpo del horno.	78

LISTA DE PLANOS

Planos 1. Plano general del horno

ANEXOS

Anexo A: Características técnicas para la construcción del transformador

Anexo B. Constantes físicas de algunos metales y aleaciones

Anexo C. Conductividades térmicas de aislantes y algunos materiales de construcción

Anexo D. Conductividades térmicas, calores específicos, gravedades específicas, de metales y aleaciones

Anexo E. Propiedades de cables metálicos

BIBLIOGRAFIA

BEER. Ferdinand P. y JHONSTON. Russel. Mecánica de los materiales. Bogotá: McGRAW-Hill latinoamericana , 1982. P 14 - 20

Contiene información importante para el cálculo y diseño de los diferentes elementos mecánicos que constituyen los mecanismos requeridos en el horno.

CHAPMAN. Stephen J. Máquinas eléctricas. 1ª. ed. Bogotá: McGRAW - Hill, 1985. Cap. 2.

Trata de los fundamentos sobre la teoría de operación de los transformadores reales.

FAISANDIER, J. Los mecanismos hidráulicos. 2ª. ed. México: CECSA, 1965. P 30-40

Trata sobre el diseño de circuitos hidráulicos, así como las precauciones que deben tomarse para el montaje, ensamblaje y almacenamiento de los conjuntos hidráulicos.

FRENCH. Tomas y VIERCK. Charles J. Dibujo de ingeniería, 2ª . ed. México: Unión Tipográfica Editorial hispanoamericana, 1978. P 84-115

Trata sobre los criterios y consideraciones que deben tenerse para dibujarse planos y esquemas.

KERN. Donald Q. Procesos de transferencia de calor. 12ª. ed. México: Cía. Editorial Continental.1977. Cap. 1-2-3.

LAWRWNCE, E. Doyle y KEYSER, Carl A. Materiales y proceso de manufactura para ingenieros. 3ª. ed. México: Prentice-Hall, 1991. Cap. 6-8.

Contiene información sobre las propiedades del acero y su proceso de fundición.

MARK. Lionel S. Manual del ingeniero mecánico. 8ª. ed. México: McGRAW-Hill , 1989. Cap. 6. p. 173-181.

Trata sobre selección, uso y composición de materiales refractarios y materiales aislantes.
MORING, Faires Virgil. Diseño de elementos de máquinas. Barcelona: Monter y Simón, 1970. P 55-87

En este texto se encuentra una guía importante para el diseño de los elementos mecánicos que componen el equipo.

OGATA, Katsuniko. Ingeniería de control moderna. 2ª. ed. México: Prentice-Hall, 1993
Cap. 3-5.

Trata sobre controladores automáticos industriales y el análisis y diseño de sistemas de control por métodos convencionales.

KOSOW. Irving L. Control de Máquinas eléctricas. Barcelona: Editorial reverté S. A., 1982. P 130-145

Contiene información sobre sistemas de control de realimentación automática. Capítulo 10,

ASTROM. Karl J y WITTENMARK. Born. Sistemas controlados por computador. Madrid: Editorial Paraninfo S.A., 1988. P 98-159

Contiene información sobre diseño de lazos sencillos de realimentación. Cap. 7.

DORF. Richard C. Sistemas automáticos de control. México: Fondo Educativo Interamericano S.A., 1977. 45-87

Contiene información sobre las características de los sistemas de control con retroalimentación. Cap. 4.

VALENCIA G. J. Hernán. Sistemas automáticos de control. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana, Serie Nabla-Delta., 1991. P 12-19

Contiene información sobre servomotores de A.C. y modelos de sistemas físicos. Cap. 3.

HOSTETTER. Gene H., SAVANT. Clement J, Jr. y STEFANI. Raymond T. Sistemas de Control. México: McGraw-Hill., 1990. P 87-140

Contiene información sobre retroalimentación y servoposicionadores.

RESUMEN

El diseño y construcción del horno de arco eléctrico en corriente continua se realiza teniendo en cuenta los parámetros eléctricos y mecánicos que se requieren en este tipo de aplicación.

Inicialmente se recopila la información de los diferentes tipos de hornos eléctricos .Luego se hace un estudio de los principios básicos, analizando el arco eléctrico tanto en corriente alterna como en corriente continua.

Posteriormente se diseñan y seleccionan las partes eléctricas y mecánicas.

Para el diseño de la parte mecánica se tienen en cuenta las temperaturas de fusión del material, y la del exterior del horno con el fin de concentrar el calor necesario.

Se seleccionaron los materiales refractarios para cumplir con los requerimientos .Con ellos se construyo el horno en tres partes que son: Tapa, Cuerpo y Fondo.

Para el sangrado del material fundido se diseñaron los apoyos y ejes de rotación, además se seleccionaron los piñones para facilitar la basculación del horno.

Para la carga del horno con el material a fundir se diseña un sistema de elevación de la tapa. La estructura que contiene elementos como: Poleas, Cable, Cadenas y el diferencial; rota sobre su propio eje vertical para cumplir el propósito de retirar la tapa.

La parte eléctrica consta básicamente de un transformador trifásico que toma la tensión de una línea de alimentación de 220 V ,y la reduce a tres tensiones secundarias de 100 V, 115 V ,y 130 V ,las que se conmutan desde el primario del transformador mediante un circuito con contactores.

Entre el transformador y la línea de alimentación se intercala una reactancia que se encarga de limitar la corriente.

La rectificación de la corriente se realiza con diodos de potencia conectados en un circuito puente rectificador de onda completa. En la salida del rectificador se conecta una reactancia en corriente continua, que limita la corriente de corto circuito ,al iniciar el proceso de fundición.

El control de la corriente que genera la potencia requerida para fundir el material se hace con un controlador ON-OFF que trabaja en forma manual o automática, el cual se encarga de mantener la distancia entre el electrodo y la carga mediante un motor durante el proceso.