

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

SELECCIÓN Y FABRICACIÓN EN FUNDICIÓN GRIS DE DOS TIPOS DE QUEMADORES INDUSTRIALES A GAS

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

FERNANDO DAVID CÚÑEZ BENALCÁZAR

david.cunez@hotmail.com

SHIRLEY ALEXANDRA GARCÍA RUANO

shirley1092rock@hotmail.com

DIRECTOR: ING. FAUSTO OVIEDO MSC.

fausto.oviedo@epn.edu.ec

Quito, Agosto 2012

DECLARACIÓN

Nosotros, Fernando David Cúñez Benalcázar y Shirley Alexandra García Ruano, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional, y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

Fernando David Cúñez B.

Shirley Alexandra García R.

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado bajo mi supervisión por Fernando David Cúñez Benalcázar y Shirley Alexandra García Ruano.

Ing. Fausto Oviedo F. MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, quien me ha brindado una vida llena de éxitos y bendiciones, además de haber puesto en mi camino a una familia maravillosa.

A mis padres Hugo y Rocío por la paciencia y comprensión que tuvieron conmigo a lo largo de mi vida estudiantil, por su incondicional y sobreabundante ayuda, sobretodo por ser mis mejores amigos y por haberme guiado por el camino del bien.

A mi hermano Esteban, que con su presencia alegra todos los días de mi vida.

A Criss, por todo el tiempo que hemos vivido juntos, por las situaciones buenas y malas a lo largo de esta carrera universitaria.

Al Magister Fausto Oviedo y al Ingeniero Patricio Estupiñán, ilustres catedráticos de la mejor facultad del mundo, quienes han sabido guiarme a lo largo de este proyecto.

A Shirley, que aparte de ser una compañera, ha sido una gran amiga con quien he aprendido que no existen imposibles.

A mis amigos Alejandro Quito y Alejandro Salgado que siempre han estado presentes en mis triunfos y en mis derrotas. Finalmente un agradecimiento especial al Tecnólogo Fabián Peñaloza que me ha recibido con los brazos abiertos en el Laboratorio de Fundición.

David

DEDICATORIA

Dedico todo mi esfuerzo, y sobretodo el presente trabajo a mis padres, Hugo y Rocío como un pequeño homenaje a su arduo trabajo.

A mi hermano Esteban por su amor, para que en este pequeño paso que doy, él pueda encontrar la motivación necesaria para alcanzar todas sus metas.

A mi abuelita Rosita que desde el cielo estuvo iluminando mi camino a lo largo de mi vida universitaria.

David

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la existencia, la fuerza y la salud necesaria para llevar a cabo todas mis metas, viéndose plasmada en este trabajo una de ellas.

Doy gracias a mis padres, Saritha y Hernán. A mi madre porque con su ardua paciencia y dedicación, ha sabido guiarme apoyándome en cada una de mis decisiones; a mi padre, quien desde niña, ha contagiado en mí la pasión por la mecánica, y quien con su experiencia ha llenado mi vida de valiosos conocimientos. A mi hermana Jazmín, por ser mi compañera incondicional, a Jaime y al resto de mis familiares quienes de una u otra manera han sido partícipes de mis logros.

Agradezco a mis amigos, a todos ellos, quienes desde la escuela han compartido conmigo inolvidables momentos, y a aquellos que han hecho de mi carrera universitaria una de las mejores experiencias de mi vida. Por su amor, comprensión y ternura a Alejandro, Cris, Marce, Carla y especialmente a Alejandro Quito, cuya colaboración ha sido muy importante en el desarrollo de este proyecto.

Agradezco infinitamente a todos mis maestros, cuya sabiduría ha permitido alcanzar mis objetivos para ponerlos al servicio del país. Al M.Sc. Fausto Oviedo, al Ing. Patricio Estupiñán y al Ing. Miguel Villacrés por haberme brindado su ayuda y dirección en todo momento.

Finalmente agradezco al Tlgo. Fabián Peñaloza por su valiosa colaboración e inmensa amistad. A mi mejor amigo y compañero de tesis David, este logro es nuestro.

Shirley

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado a mis segundos padres Luis Ruano y María Chávez quienes me observan desde el cielo y nunca han dejado de protegerme.

A mis padres, hermana, amigos y todos quienes han creído en mí.

Shirley

CONTENIDO

DECLARACIÓN	ii
CERTIFICACIÓN	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
DEDICATORIA	vii
CONTENIDO	viii
CONTENIDO DE FIGURAS.....	xiii
CONTENIDO DE TABLAS	xvii
RESUMEN	xix
CAPÍTULO 1 GENERALIDADES	1
1.1. PROPIEDADES DE LA FUNDICIÓN GRIS PARA LOS QUEMADORES A GAS	1
1.2. OBTENCIÓN DE LA FUNDICIÓN GRIS.....	3
1.2.1. HORNOS PARA PRODUCCIÓN DE FUNDICIÓN GRIS	3
1.2.1.1. Horno Cubilote	3
1.2.1.2. Hornos eléctricos.....	4
1.2.2. FUNDICIÓN GRIS	6
1.2.2.1. Principales características de las fundiciones grises	8
1.2.2.2. Aleaciones empleadas en la fusión	9
1.3. COMBUSTIÓN EN LOS QUEMADORES.....	13
1.3.1. COMBUSTIÓN	13
1.3.1.1. Combustión completa.....	13
1.3.1.2. Combustión incompleta	13
1.3.1.3. Combustión estequiométrica o teórica.....	14
1.3.1.4. Combustión con exceso de comburente.....	14

1.3.1.5.	Combustión con defecto de comburente	14
1.3.2.	CLASIFICACIÓN DE LOS GASES	14
1.3.3.	QUEMADORES.....	15
1.3.3.1.	Principio de combustión con combustible gaseoso.....	16
1.3.3.2.	Tipos de quemadores.....	16
CAPÍTULO 2 SELECCIÓN DE LOS QUEMADORES		21
2.1.	QUEMADORES EXISTENTES EN EL MERCADO	21
2.1.1.	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS QUEMADORES CONSIDERADOS PARA LA SELECCIÓN	23
2.1.2.	CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE LOS QUEMADORES CONSIDERADOS PARA LA SELECCIÓN	30
2.1.2.1.	Ensayo de Rendimiento para quemadores industriales a gas	30
2.2.	EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	38
2.2.1.	CRITERIOS DE SELECCIÓN.....	38
2.2.1.1.	Rendimiento	38
2.2.1.2.	Distribución de la llama.....	39
2.2.1.3.	Resistencia al desgaste.....	43
2.2.1.4.	Facilidad de mantenimiento.....	44
2.2.1.5.	Facilidad de fabricación.....	45
2.2.1.6.	Déficit en el mercado.....	45
2.2.2.	MÉTODO ORDINAL CORREGIDO DE CRITERIOS PONDERADOS	46
2.2.2.1.	Valoración de los criterios de selección	46
2.2.2.2.	Valoración de alternativas	48
2.2.2.3.	Análisis final de la selección	51
CAPÍTULO 3 DISEÑO DE LOS MODELOS Y CAJA DE MOLDEO.....		53
3.1.	TECNOLOGÍA DE LA PRODUCCIÓN POR FUNDICIÓN	53
3.1.1.	PROYECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DEL MODELO Y MOLDEO.....	54
3.2.	DISEÑO DE LOS MODELOS	55
3.2.1.	DETERMINACIÓN DEL PLANO DIVISORIO.....	56

3.2.2.	ESPEORES MÍNIMOS DE LAS PIEZAS	58
3.2.3.	FACILIDAD DE DESMOLDEO	60
3.2.4.	CONTRACCIÓN	62
3.2.5.	SOBRE-MEDIDAS DE MAQUINADO	63
3.2.6.	FUNCIONALIDAD O CONGRUENCIA	64
3.3.	DISEÑO DE LOS NOYOS	65
3.3.1.	ESTRUCTURA DE LOS NOYOS.....	66
3.3.2.	ARMADURAS DE LOS NOYOS	70
3.3.3.	LABRADO DE CANALES DE VENTILACIÓN EN LOS NOYOS	71
3.3.4.	ESTRUCTURA DE LOS SOPORTES.....	72
3.4.	CÁLCULO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN	72
3.4.1.	MÉTODO DE CÁLCULO	73
3.4.2.	CÁLCULO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA UN QUEMADOR.....	78
3.4.3.	CÁLCULO DE VALORES DE LOS TRES MODELOS	82
3.5.	CÁLCULO DE LA CAJA DE MOLDEO	83
CAPÍTULO 4 PRODUCCIÓN DE LOS QUEMADORES.....		89
4.1.	OBTENCIÓN DE LA MEZCLA DE MOLDEO PARA LA CAJA.....	89
4.1.1.	BASE REFRACTARIA	89
4.1.1.1.	Propiedades de la arena base	90
4.1.2.	AGLUTINANTE.....	92
4.1.3.	IMPUREZAS.....	93
4.1.4.	ADITIVOS.....	93
4.1.4.1.	Aditivos que incrementan la elasticidad de las mezclas de moldeo	94
4.1.4.2.	Aditivos que mejoran el acabado superficial y reducen la penetración metálica	94
4.1.4.3.	Aditivos que reducen los defectos superficiales en el molde	94
4.1.4.4.	Aditivos que incrementan la tolerancia de humedad.....	94
4.1.5.	ANÁLISIS FINAL	95
4.2.	OBTENCIÓN DE LA MEZCLA DE MOLDEO PARA NOYOS	96
4.2.1.	PROCESOS DE FABRICACIÓN DE LOS NOYOS.....	97

4.2.1.1.	Noyos al aceite	97
4.2.1.2.	Noyos al Silicato – CO ₂	98
4.2.1.3.	Noyos cáscara.....	98
4.2.1.4.	Noyos a la resina.....	99
	Noyos al Silicato – CO ₂ - cemento	100
4.2.2.	ANÁLISIS FINAL	101
4.3.	CONSTRUCCIÓN DE LAS PLACAS MODELO	101
4.3.1.	PLACA MODELO PARA EL QUEMADOR A	102
4.3.2.	PLACAS MODELO PARA EL QUEMADOR B	103
4.3.2.1.	Cacerola.....	103
4.3.2.2.	Tapa.....	104
4.4.	CONSTRUCCIÓN DE NOYOS.....	105
4.4.1.	CAJAS DE NOYOS	105
4.4.1.1.	Caja de noyos para el quemador A	105
4.4.1.2.	Caja de noyos para el quemador B (cacerola).....	106
4.4.2.	ARMADURAS Y SOPORTES	107
4.4.2.1.	Noyo del quemador A.....	107
4.4.3.	PROCEDIMIENTO	108
4.5.	CONSTRUCCIÓN DE LA CAJA DESMONTABLE	111
4.6.	ELABORACIÓN DE LOS MOLDES.....	113
4.7.	PREPARACIÓN DE LA CARGA.....	115
4.8.	COLADO	117
4.9.	ACABADOS FINALES.....	119
	CAPÍTULO 5 PRUEBAS Y DISCUSIONES.....	122
5.1.	COMPARACIÓN DE LAS PIEZAS OBTENIDAS	122
5.1.1.	RENDIMIENTO.....	123
5.1.2.	DISTRIBUCIÓN DE LA LLAMA	126
5.1.3.	RESISTENCIA AL DESGASTE	127
5.1.4.	FACILIDAD DE MANTENIMIENTO Y FABRICACIÓN	127
5.2.	ESTIMACIÓN DE COSTOS	127
5.2.1.	COSTOS DEL PROYECTO.....	128
5.2.2.	COSTO DE MANO DE OBRA	128

5.2.3.	COSTO DE CHATARRA, FERROALEACIÓN Y COQUE	129
5.2.4.	COSTO DE SERVICIOS BÁSICOS	130
5.2.5.	COSTOS TOTALES	130
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		132
CONCLUSIONES		132
RECOMENDACIONES		133
BIBLIOGRAFÍA.....		135
ANEXOS.....		138

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1. 1. Se observa la parte interna y externa de un cubilote.....	4
Figura 1. 2. Microestructura de una fundición gris hipoeutéctica.	7
Figura 1. 3. Micrografía de la microscopía electrónica de barrido que muestra las hojuelas de grafito interconectadas en el hierro gris.	7
Figura 1. 4. Contenidos en silicio que deben sobrepasarse, para obtener en cubilote piezas de fundición gris fácilmente mecanizables en diferentes espesores.	9
Figura 1. 5. Partes de un quemador de cocina industrial.....	17
Figura 1. 6. Quemador cerrado.	17
Figura 1. 7. Quemador con 2 alimentaciones de combustible.	18
Figura 1. 8. Quemador con 3 alimentaciones de combustible.	18
Figura 1. 9. Quemador cerrado con llama piloto.....	19
Figura 1. 10. Quemador de cacerola y tapa.	19
Figura 1. 11. Quemador con tapa insertada a presión.....	20
Figura 2. 1. Cocinas industriales fabricadas artesanalmente en el país.	21
Figura 2. 2. Quemadores con tapas disponibles en el mercado.	22
Figura 2. 3. Quemadores industriales de origen extranjero.	22
Figura 2. 4. Cocina industrial artesanal de mayor uso en el país.....	23
Figura 2. 5. a) Cocina industrial utilizada para el ensayo b) Tanque de gas convencional montado sobre balanza digital.	31
Figura 2. 6. Abertura de la válvula de paso de gas hacia el quemador para el ensayo.	31
Figura 2. 7. Recipiente de aluminio acoplado a multímetro digital para medir la temperatura del agua.	32
Figura 2. 8. Equipos e instrumentos a punto para realizar el ensayo.	33
Figura 2. 9. Variación de la temperatura en función del tiempo para cada quemador.....	37
Figura 2. 10. Evaluación del Rendimiento para cada quemador	38
Figura 2. 11. Evaluación de la distribución de la llama.	42
Figura 2. 12. Evaluación de la resistencia al desgaste	44
Figura 2. 13. Evaluación de la facilidad de mantenimiento.....	44

Figura 2. 14. Evaluación de la facilidad de fabricación.	45
Figura 2. 15. Evaluación del déficit de los quemadores en el mercado.	45
Figura 2. 16. Evaluación de los criterios de selección.	47
Figura 2. 17. A) Quemador 6 B) Quemador 4.....	51
Figura 2. 18. Quemador 1 de tapa	52
Figura 2. 19. Modelo de quemador a fabricarse	52
Figura 3. 1. Esquema en 3D del quemador A.....	55
Figura 3. 2. Esquema en 3D del quemador B.....	56
Figura 3. 3. Plano divisorio del quemador A.	57
Figura 3. 4. Plano divisorio del quemador B (cacerola).	57
Figura 3. 5. Plano divisorio del quemador B (tapa).....	58
Figura 3. 6. Espesores mínimos de las piezas.	59
Figura 3. 7. Manera en que el modelista debe modificar las formas geométricas para dar la salida y hacer posible la extracción de los modelos.	61
Figura 3. 8. Significado de la contracción.....	62
Figura 3. 9. Dimensiones para el cálculo de las portadas de los noyos.....	66
Figura 3. 10. Esquema del noyo del quemador A.....	68
Figura 3. 11. Esquema de las medidas de la sección del noyo del quemador A. .68	
Figura 3. 12. Esquema de las portadas del noyo del quemador A.....	69
Figura 3. 13. Esquema del noyo del quemador B (cacerola).	69
Figura 3. 14. Esquema de las medidas de la sección del noyo del quemador (cacerola).	69
Figura 3. 15. Esquema de las portadas del noyo del quemador B (cacerola).	70
Figura 3. 16. Armaduras de los noyos a usarse en los quemadores.	71
Figura 3. 17. Esquema de los canales de ventilación de los noyos de los 2 quemadores.	71
Figura 3. 18. Estructura de soportes.	72
Figura 3. 19. Esquema típico de un sistema de alimentación.....	73
Figura 3. 20. Esquema para el cálculo de Hm.....	75
Figura 3. 21. Vista frontal del modelo del quemador A acoplado con la caja de moldeo.	85
Figura 3. 22. Vista lateral del modelo del quemador A acoplado con la caja de moldeo.	86

Figura 3. 23. Vista frontal del modelo del quemador B (cacerola) acoplado con la caja de moldeo.....	86
Figura 3. 24. Vista lateral del modelo del quemador B (cacerola) acoplado con la caja de moldeo.....	87
Figura 3. 25. Vista frontal del modelo del quemador B (tapa) acoplado con la caja de moldeo.	87
Figura 3. 26. Vista lateral del modelo del quemador B (tapa) acoplado con la caja de moldeo.	88
Figura 4. 1. Arena sílice	90
Figura 4. 2. Bentonita.....	92
Figura 4. 3. Parte inferior del quemador A.....	102
Figura 4. 4. Parte superior del quemador A.....	102
Figura 4. 5. Parte inferior del quemador B (cacerola).....	103
Figura 4. 6. Parte superior del quemador B (cacerola).....	103
Figura 4. 7. Parte inferior del quemador B (tapa).	104
Figura 4. 8. Parte superior del quemador B (tapa).	104
Figura 4. 9. Caja de noyos para el quemador A.	105
Figura 4. 10. Caja de noyos para el detalle interno de la cacerola del quemador B.	106
Figura 4. 11. Caja de noyos para la superficie externa de la cacerola del quemador B.	106
Figura 4. 12. Armaduras para el noyo del quemador A.	107
Figura 4. 13. Soportes del noyo del quemador A a) Soporte inferior b) Soporte superior.....	107
Figura 4. 14. Estimación de la cantidad de arena para la mezcla de moldeo de noyos.	108
Figura 4. 15. Preparación de la mezcla.....	108
Figura 4. 16. Canales de ventilación.	110
Figura 4. 17. Ensamble del noyo del quemador A.....	110
Figura 4. 18. Noyo del quemador A terminado.....	111
Figura 4. 19. Noyo interno de la cacerola del quemador B terminado.	111
Figura 4. 20. Noyo externo de la cacerola del quemador B terminado.	111
Figura 4. 21. Cajas desmontables abiertas.	112

Figura 4. 22. Guías laterales para las cajas.	112
Figura 4. 23. Ensamble de la caja desmontable con la placa modelo.	113
Figura 4. 24. Moldeo a mano.	113
Figura 4. 25. Montaje de los soportes en el molde del quemador A.	114
Figura 4. 26. Montaje del noyo en el molde del quemador A.	114
Figura 4. 27. Montaje del noyo en el molde de la cacerola del quemador B.	115
Figura 4. 28. Chatarra de piezas automotrices de fundición gris.	115
Figura 4. 29. Adición del Ferro-silicio en la cuchara.	117
Figura 4. 30. Colado en los moldes.	117
Figura 4. 31. Quemador A obtenido por fundición.	118
Figura 4. 32. Cacerola del quemador B obtenida por fundición.	118
Figura 4. 33. Tapa del quemador B obtenida por fundición.	119
Figura 4. 34. Extracción de los noyos.	119
Figura 4. 35. Corte del sistema de alimentación.	120
Figura 4. 36. Elaboración de agujeros para los quemadores.	120
Figura 4. 37. Torneado del quemador B.	121
Figura 4. 38. Pieza para regulación de aire en el quemador A.	121
Figura 4. 39. Quemador A terminado.	121
Figura 5. 1. Quemadores de aluminio obtenidos en el Laboratorio de Fundición EPN.	122
Figura 5. 2. Variación de la temperatura en función del tiempo para los quemadores.	125
Figura 5. 3. Distribución de la llama en los quemadores de aluminio.	126
Figura 5. 4. Distribución de la llama en los quemadores de fundición gris.	126

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 2. 1.	Características físicas de los quemadores.	24
Tabla 2. 2.	Datos obtenidos.	34
Tabla 2. 3.	Valores de rendimiento calculados.	36
Tabla 2. 4.	Evaluación de la distribución de la llama.	39
Tabla 2. 5.	Dureza y punto de fusión de los materiales más utilizados para la fabricación de quemadores.	43
Tabla 2. 6.	Resultado de la valoración de los criterios de selección.	47
Tabla 2. 7.	Peso específico de cada alternativa para el criterio de Rendimiento.	48
Tabla 2. 8.	Peso específico de cada alternativa para el criterio de Distribución de la llama.	48
Tabla 2. 9.	Peso específico de cada alternativa para el criterio de Resistencia al desgaste.	49
Tabla 2. 10.	Peso específico de cada alternativa para el criterio de Facilidad de mantenimiento.	49
Tabla 2. 11.	Peso específico de cada alternativa para el criterio de Facilidad de fabricación.	50
Tabla 2. 12.	Peso específico de cada alternativa para el criterio de Déficit en el mercado.	50
Tabla 2. 13.	Conclusión del método de selección de alternativas.	51
Tabla 3. 1.	Dimensión equivalente de los tres modelos a obtener.	60
Tabla 3. 2.	Valores aconsejables de salida s , tanto por ciento y ángulo β	61
Tabla 3. 3.	Contracciones lineales medias de fundición de las aleaciones más corrientes en 0/00 (o en mm/m).	63
Tabla 3. 4.	Coloración en los modelos y cajas de machos.	64
Tabla 3. 5.	Longitud de las portadas para machos horizontales.	67
Tabla 3. 6.	Valores de μ para acero y fundiciones.	74
Tabla 3. 7.	Magnitud del coeficiente S para fundición gris.	76
Tabla 3. 8.	Valor de la velocidad de llenado del metal en el molde.	76
Tabla 3. 9.	Canales de alimentación de sección trapezoidal.	77
Tabla 3. 10.	Dimensiones del tragadero.	78

Tabla 3. 11.	Dimensiones del canal de alimentación del quemador A.	81
Tabla 3. 12.	Dimensiones del tragadero del quemador A.	82
Tabla 3. 13.	Dimensiones del sistema de alimentación a utilizar.	83
Tabla 3. 14.	Distancias permisibles entre piezas y elementos del molde.	84
Tabla 4. 1.	Temperatura de fusión según porcentaje de sílice	91
Tabla 4. 2.	Clasificación de los tamaños de grano.	91
Tabla 4. 3.	Propiedades de la arena en función del metal a fundir.	95
Tabla 4. 4.	Propiedades de la arena para la producción de los quemadores. ...	96
Tabla 4. 5.	Proceso de llenado de las cajas de noyos.	109
Tabla 5. 1.	Datos de temperatura en función del tiempo para los quemadores de aluminio.	123
Tabla 5. 2.	Datos de temperatura en función del tiempo para los quemadores de fundición gris.	124
Tabla 5. 3.	Costos del proyecto.	128
Tabla 5. 4.	Costo de mano de obra.	128
Tabla 5. 5.	Costo de materiales.	129
Tabla 5. 6.	Costo de servicios básicos.	130
Tabla 5. 7.	Variación de costos para diferente producción.	130

RESUMEN

En los últimos años, la Escuela Politécnica Nacional mantiene un acuerdo con la Asociación de Fundidores de Metales del Ecuador (AFME), el propósito del mismo es aportar al desarrollo tecnológico de la industria de la fundición en el país, un aspecto fundamental es la incorporación de la producción de nuevas piezas y sustituir importaciones.

Este proyecto está destinado al diseño y a la fabricación de quemadores industriales a gas que actualmente no se producen en el país, para de esta manera poder producirlos continuamente en cualquier taller asociado, logrando así aumentar el desarrollo tecnológico y productivo de la fundición en el país.

En el primer capítulo se realiza una revisión de bibliografía con temas afines a este proyecto de investigación. Se presentan las propiedades del material a obtener para su aplicación específica en la producción de quemadores de cocinas industriales a gas, así como la caracterización de la pieza a producir.

En el capítulo 2 se conocen las características de los quemadores considerados para la selección, así como las pruebas que se realizan para cuantificar su funcionamiento. Seguidamente para escoger los dos quemadores a fabricarse se establecen los criterios de valoración para finalmente seleccionar los más convenientes por el método ordinal corregido de criterios ponderados.

El capítulo 3 contiene los diseños de los modelos para la fundición de los quemadores seleccionados en el capítulo anterior tomando en cuenta la desmoldeabilidad de los mismos así como la contracción que sufren al momento que solidifica el metal. Debido a la geometría de los quemadores seleccionados es necesario diseñar la estructura y portada de los noyos que proporcionan su detalle interno. Se exponen los cálculos del sistema de alimentación para determinar las dimensiones de los alimentadores y tragaderos que permitan el paso de la colada de modo que el molde se llene completamente y el material solidifique sin ningún desperfecto. Finalmente, se muestra los cálculos de las

cajas que alojarán la mezcla de moldeo que permite la obtención de los quemadores por fundición de hierro gris.

En el capítulo 4 se presenta el proceso completo de fabricación de los quemadores seleccionados a partir del conocimiento de las mezclas de moldeo convenientes para las cajas y para los noyos. Se construyen las placas modelo, las cajas de noyos y las cajas desmontables que alojara a cada molde. A continuación, se describe brevemente la obtención de la colada así como el proceso de colado hasta obtener las piezas fundidas. Se elaboran instructivos tecnológicos que hacen a este proceso reproducible siguiendo una secuencia determinada.

Con el fin de obtener una pieza con la mejor combinación de propiedades del material y apta para la producción en serie, en el capítulo 5 se realiza un análisis y discusión de los resultados finales obtenidos en fundición. Se exponen y analizan los resultados de los ensayos realizados a las piezas fundidas siguiendo las mismas consideraciones del capítulo 2. Se discute el proceso de fabricación estimando los costos y su aplicación en la industria.

El resultado final de la experiencia y el trabajo están plasmados en la fabricación de las piezas obtenidas a lo largo de todo el proyecto y la visión es implementar nuevas tecnologías en el campo de la fundición reduciendo tiempos y aumentando eficientemente la producción.

Finalmente, se exponen las conclusiones y recomendaciones del proyecto junto a los anexos que permiten un entendimiento más amplio del tema tratado.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

En este primer capítulo se realiza una revisión de bibliografía con temas afines al proyecto de investigación. Se presentan las propiedades del material a obtener para su aplicación específica en la producción de quemadores de cocinas industriales a gas, así como la caracterización de la pieza a producir.

1.1. PROPIEDADES DE LA FUNDICIÓN GRIS PARA LOS QUEMADORES A GAS

Los quemadores son los dispositivos que permiten realizar la reacción de combustión entre el combustible y el comburente de manera controlada y regulable, asegurando la aportación adecuada de ambos para conseguir la potencia calorífica especificada, y distribuyendo la zona de reacción (llamas) y la circulación de los productos de combustión de modo que se transfiera a la carga, del modo más eficiente posible, todo el calor producido.

El hierro gris es el menos costoso de todos los metales fundidos. Las materias primas son relativamente baratas y los costos operativos de la fusión en el cubilote también son menores que para otros tipos de hornos. Debido a esta característica, éste siempre debe considerarse en primer lugar para la selección de materiales, mientras que otro metal debe ser elegido, sólo cuando las propiedades mecánicas o físicas de la fundición gris son inadecuadas.¹

Las fundiciones grises tienen alta resistencia al calor en términos de resistencia al descascaramiento y una moderada resistencia a elevada temperatura, lo que

¹ ASM; METALS HANBOOK; Volumen 1: Propierties and selecction of metal; 8^{ava} Edición; USA; 1965; pág. 349.

resulta ventajoso para el uso de la misma en hornos y partes de cargadores, crisoles de fusión, quemadores de gas y aplicaciones similares.²

La propiedad de resistencia al calor puede mejorarse en las fundiciones grises aleadas. El silicio aumenta la resistencia mediante la formación de un óxido en la superficie conocido como cáscara, está se forma principalmente debido a la oxidación a temperatura elevada y es más adherente que con el acero lo que obstaculiza el efecto de la reacción química de la atmósfera en el metal. Además reduce la dureza y resistencia al choque térmico.³

La capacidad de servicio o el rendimiento de las fundiciones grises a temperatura elevada, se determina por una serie de propiedades relacionadas, tales como la estabilidad volumétrica, resistencia a la oxidación, resistencia al choque térmico y al calentamiento cíclico, resistencia a la fluencia y a la rotura, y la resistencia a la fatiga en altas temperaturas.⁴

Para poder conocer las propiedades que debe tener la fundición gris para la fabricación de los quemadores industriales a gas, se debe tener en cuenta ciertos parámetros que se detallan a continuación:

1. La calidad y el espesor de la fundición gris que se utilice en la fabricación de los artefactos debe ser tal que las características de construcción y funcionamiento no se alteren en condiciones normales de uso, cuando estén debidamente instalados.
2. En particular, los quemadores deben resistir a las acciones mecánicas, químicas y térmicas a las que puedan ser sometidas durante el funcionamiento.
3. Debe evitarse la presencia de aristas y bordes vivos que puedan producir heridas al usuario (tanto en la instalación, como en el mantenimiento).

² <http://es.scribd.com/doc/32183971/FIERROS-FUNDIDOS>

³ http://www.uobabylon.edu.iq/uobcoleges/action_lect.aspx?fid=17&depid=1&lcid=20445

⁴ ASM; METALS HANBOOK; Volumen 1: Propierties and selecction of metal;8^{ava} Edición; USA; 1965; pág. 404.

De acuerdo a los puntos tratados, la fundición gris a obtener debe ser de buena resistencia a la corrosión, y sobre todo mecanizable. Cabe recalcar que el material a obtener no requiere una excelente resistencia mecánica debido a que los quemadores no van a estar expuestos a esfuerzos mecánicos.

1.2. OBTENCIÓN DE LA FUNDICIÓN GRIS

1.2.1. HORNOS PARA PRODUCCIÓN DE FUNDICIÓN GRIS

Por lo general la producción de fundición gris se realiza tanto en hornos de cubilote como en hornos eléctricos. Sin embargo en nuestro medio, debido a su capacidad y facilidad económica, se ha popularizado el uso del horno cubilote para fines comerciales.

1.2.1.1. Horno Cubilote

El cubilote es el horno más utilizado en la obtención de la fundición gris, da un buen rendimiento técnico y permite con los medios sencillos unas temperaturas suficientes.

1.2.1.1.1. Descripción del Cubilote

En líneas generales, consiste simplemente en un tubo de acero casi siempre cilíndrico de 6 a 12 mm de espesor, el cual se encuentra revestido en su parte interior con ladrillos o bloques refractarios sostenidos por cuatro columnas. El diseño del horno cubilote se basa en su diámetro interior, el cual puede variar normalmente entre 50 cm y 2 m, alcanzando alturas de 4,5 a 8 m. De acuerdo a su tamaño, la producción de hierro líquido en los cubilotes pequeños es de 1000 kg por hora y puede alcanzar hasta 15000 kg y más por hora en los cubilotes grandes.⁵

⁵ DOYLE L; “Materiales y Procesos de Manufactura para ingenieros”; Prentice Hall; México; 2001.

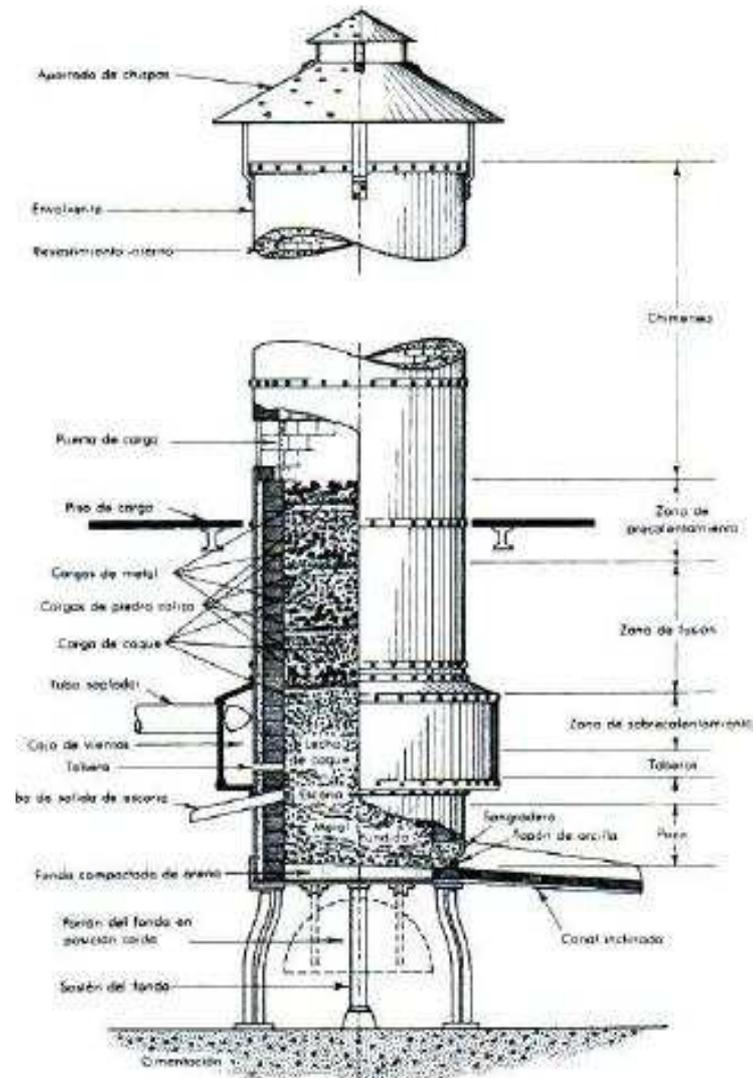


Figura 1. 1. Se observa la parte interna y externa de un cubilote.⁶

1.2.1.2. Hornos eléctricos

Algunos hornos eléctricos utilizados en la producción de aceros y fundiciones son los hornos de arco, los de resistencia y los de inducción de baja ya alta frecuencia.

1.2.1.2.1. Hornos de Arco

⁶ DOYLE L; "Materiales y Procesos de Manufactura para ingenieros"; Prentice Hall; México; 2001.

Estos hornos utilizan el calor producido por la chispa que salta entre dos o varios electrodos para fundir el metal. Se clasifican en hornos de arco directo e indirecto y de acuerdo al número de electrodos que utilizan, en monofásico, bifásicos o trifásicos, si el arco salta por encima de la atmósfera del baño metálico, este constituye uno de los electrodos. Para la fundición de hierro gris se utiliza el horno de arco directo.⁷

- Los hornos de arco directo reciben este nombre, porque el arco salta directamente entre el electrodo y el metal a fundir. Los electrodos son de grafito o de carbón amorfo y los hornos pueden ser monofásicos cuando son muy pequeños (menos de 100kg de capacidad) o, con más frecuencia, los trifásicos que tienen tres electrodos suspendidos verticalmente sobre la solera refractaria que generalmente es cóncava. Los hornos modernos casi todos de planta circular, con paredes refractarias y cubiertos con una bóveda con agujeros para el paso de los electrodos.⁷

1.2.1.2.2. Hornos de resistencia

En los tipos más comunes de esta clase de hornos el calor se produce por una resistencia eléctrica de carbón o por un apisonado de carbón que rodea el crisol de material cerámico. El apisonado de carbón evita la carburación del metal fundido por el contacto inmediato con el crisol de carbón.⁸

1.2.1.2.3. Hornos de Inducción

Estos pueden ser de baja frecuencia y de alta frecuencia.

- En el horno de baja frecuencia la masa a fundir hace de arrollamiento secundario en un transformador. El crisol tiene la forma de uno o varios anillos alrededor del núcleo garantiza una transformación completamente económica de la energía tomada de la red cuando el arrollamiento

⁷ NAVARRO J; “Fundición de hierro, fundición gris de alto valor; Dossat; Madrid; 1947.

⁸ ABRIL E; “Metalurgia Técnica y Fundición”; ALSINA; Argentina; 1956; pág. 195.

secundario está cerrado en sí, es decir, cuando el metal está fundido. Estos hornos dan un buen rendimiento cuando trabajan en forma continua.⁹

- El horno de alta frecuencia está formado por un crisol refractario que contiene el metal, rodeado de una espiral de tubo de cobre, por el que circula una corriente de alta frecuencia que crea un campo magnético variable, calentándose la masa del metal contenida en el crisol por las corrientes de Foucault inducidas por el campo magnético. El tubo de cobre de la espiral que rodea el crisol está refrigerado por agua que circula por su interior.¹⁰

1.2.1.2.4. Características de las fundiciones obtenidas en los hornos eléctricos

La obtención de la fundición gris en el horno eléctrico se caracteriza por la seguridad con que puede obtenerse la composición deseada. Esto se debe al fácil logro de altas temperaturas y a la sencillez y exactitud con que pueden alcanzarse. La obtención de temperatura elevada permite garantizar un afino en el grafito.

Frente a otros hornos posee ventajas tales como un alto rendimiento y fácil regulación, además de su estabilidad química.¹¹

1.2.2. FUNDICIÓN GRIS

La mayoría de las fundiciones grises son aleaciones hipoeutécticas que contienen entre 2,5 y 4% de carbono. El proceso de grafitización se realiza con mayor facilidad si el contenido de carbono es elevado, las temperaturas elevadas y si la cantidad de elementos grafitizantes presentes, especialmente el silicio, es la adecuada.

⁹ DeGARMO E; “Materiales y Procesos de Fabricación”; Reverté; 2da Edición; Barcelona; 1994; pág 293

¹⁰ DUPONCHELLE L; “Manual del Fundidor”; GILL S.A.; E.E.U.U; 1972.

¹¹ NAVARRO J; “Fundición de hierro, fundición gris de alto valor; Dossat; Madrid; 1947.

La producción de la fundición se da cuando el carbono se aproxima al eutéctico, es decir que su equivalente en porcentaje es de 4.3% además que el proceso de solidificación, la velocidad de enfriamiento es pequeña; pero en general las fundiciones grises comprenden los siguientes intervalos de composición en porcentajes: carbono 2.5 – 4.3, silicio 1.0 – 3.0, manganeso 0.15 – 1.2, azufre 0.02 – 0.25 y fósforo 0.02 – 1.0. El carbono se forma como hojuelas de grafito entrelazadas en una celda eutéctica como se muestra en la figura 1.2.

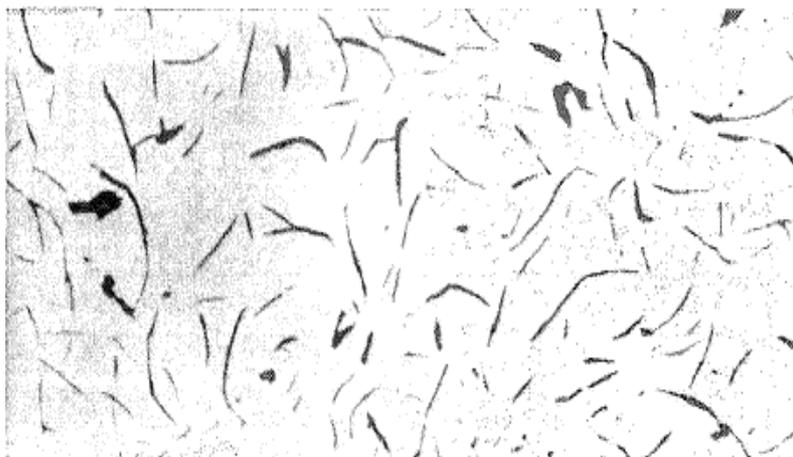


Figura 1. 2. Microestructura de una fundición gris hipoeutéctica.¹²



Figura 1. 3. Micrografía de la microscopía electrónica de barrido que muestra las hojuelas de grafito interconectadas en el hierro gris.¹³

¹² APRAIZ J; “Fundiciones”; 3era Edición; Dossat; Madrid; 1971; pág 2.

¹³ MANGONON P; “Ciencia de materiales, selección y diseño; Assistant Meg Weist; México; 2001.

Para que grafitecen la cementita eutéctica y la proeutectoide, aunque no la eutectoide, y así obtener grafito laminar y una estructura final perlítica, hay que controlar cuidadosamente el contenido de silicio y la velocidad de enfriamiento. El grafito adopta la forma de numerosas laminillas curvadas, que son las que proporcionan a la fundición gris su característica fractura grisácea o negruzca.¹⁴

En general la fundición gris tiene buena resistencia a la corrosión y puede alcanzar una resistencia a la tensión de 26 ton/pulg², por lo que es generalmente utilizada en partes de máquinas-herramientas, cigüeñales, platos de presión de embragues, tambores de frenos, monoblocks y componentes eléctricos.¹⁵

1.2.2.1. Principales características de las fundiciones grises

Las fundiciones grises son en general las más usadas en la construcción mecánica, y puede decirse que el 95% de las fundiciones que se fabrican en la actualidad son fundiciones grises. Cuando no se exigen características mecánicas muy elevadas, las condiciones más relevantes que deben cumplir son: buena colabilidad, facilidad de mecanizado, y ausencia de poros. Para que el metal tenga buena colabilidad su temperatura de fusión tiene que ser baja, por lo cual conviene que contenga porcentajes de carbono bastante elevados. En el cubilote, empleando un proceso de trabajo normal, se obtienen contenidos en carbono variables de 3 a 3,75%, y contenidos en silicio de 1,25 a 2,5% que resultan aceptables. En la práctica normal el contenido en carbono de las fundiciones grises suele variar de 2,75 a 3,50%.¹⁶

La composición química de la fundición gris para aplicaciones industriales varía en función del espesor de las piezas a fundir, para lo cual la norma ecuatoriana INEN 2481:09 recomienda porcentajes de composición de acuerdo al espesor medio de las mismas.

¹⁴ <http://www.esi2.us.es/IMM2/Pract-html/y2.html>

¹⁵ MANTILLA W; Texto guía; Quito; 1998

¹⁶ APRAIZ J; "Fundiciones"; 3era Edición; Dossat; Madrid; 1971; pág 19.

La resistencia a la tracción de las fundiciones grises ordinarias suele variar de 10 a 20 kg/mm² y su dureza de 120 a 180 Brinell. La resistencia de las fundiciones grises de calidad suele variar de 20 a 35 kg/mm² y su dureza de 180 a 250 Brinell.¹⁷

Para que las fundiciones sean fácilmente mecanizables deben contener altos porcentajes de silicio. Si el contenido en silicio es bajo, puede aparecer fundición blanca, muy difícil de mecanizar. En la Figura 1. 4 se señalan los contenidos de silicio que se deben rebasar, para poder obtener fundición gris de diferentes espesores al colarlo en moldes de arena secados en estufa. Se observa que varían desde 1% para piezas de 100 mm de espesor hasta 2% para piezas de 25 mm de espesor y 2,5% para piezas de 15 mm de espesor. En las fundiciones grises fabricadas en cubilote, se considera que el carbono es superior a 3,2%.

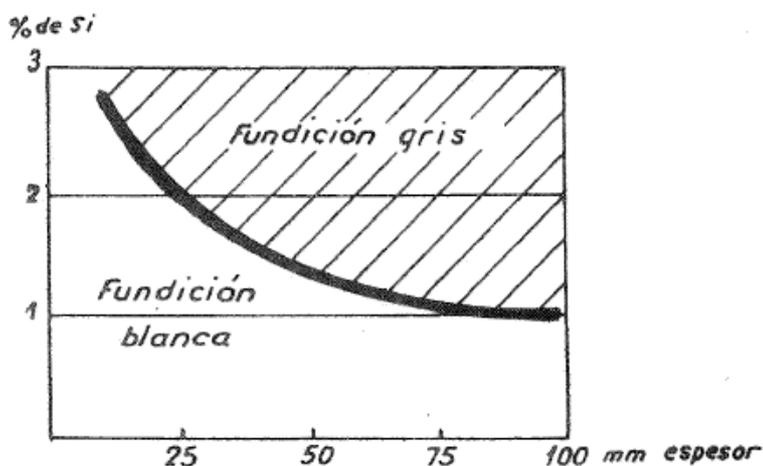


Figura 1. 4. Contenidos en silicio que deben sobrepasarse, para obtener en cubilote piezas de fundición gris fácilmente mecanizables en diferentes espesores.¹⁷

1.2.2.2. Aleaciones empleadas en la fusión¹⁸

Las aleaciones o las ferroaleaciones son empleadas no solamente en los grados o clases de hierro considerados como hierros aleados, sino también en los grados que están clasificados como hierros no aleados. Los grados de metal

¹⁷ APRAIZ J; "Fundiciones"; 3era Edición; Dossat; Madrid; 1971; pág 19-20.

¹⁸ AFS; "El horno cubilote y su operación"; Continental; México; 2001, pág. 579-595.

comúnmente fundidos en el cubilote son: fundición gris, fundición maleable y fundición nodular.

Las fundiciones grises aleadas se definen usualmente como aquellas que contienen una cantidad suficiente de algún elemento, no presente regularmente en la fundición gris, que pueda alterar las propiedades de la misma. Así pues, las fundiciones grises al níquel-cromo contienen suficiente níquel y cromo como para obtener un efecto discernible sobre la dureza, resistencia, y otras propiedades del metal. Sin embargo, aun las fundiciones grises corrientes contienen cantidades substanciales de elementos tales como silicio y manganeso. Estos elementos pueden ser introducidos parcial o enteramente como constituyentes en lingotes y chatarra, o pueden ser introducidos parcialmente en forma de aleación.

Las aleaciones pueden ser añadidas al hierro de dos maneras diferentes:

- Por inclusión en la carga, de tal manera que el material se mezcle con el resto de la carga durante la fusión.
- Por adición en la cuchara.

Los elementos comúnmente empleados en la fundición gris son el silicio, manganeso, níquel, cromo, molibdeno, cobre, titanio, boro, vanadio, zirconio y magnesio.

1.2.2.2.1. Silicio

Como la fundición gris es esencialmente una aleación de hierro y carbono, con las propiedades reguladas por el contenido de silicio, este elemento está presente en cantidad considerable en todas las fundiciones grises. Su uso controla las propiedades de enfriamiento del hierro.

El contenido de silicio tiene un efecto considerable sobre la operación de mecanizado y resistencia. Las fundiciones grises de bajo contenido de silicio tienden a ser relativamente duras y resistentes. Según aumenta el contenido de silicio, dentro de la gama normal, el hierro tiende a ser progresivamente más suave, más débil y más gráfico por naturaleza.

El silicio puede ser introducido en el hierro gris fundido como adición de ferro-silicio en la cuchara. El ferro-silicio está disponible en diferentes grados, variando en contenido de silicio desde 25% hasta 95%.

1.2.2.2.2. Manganeso

La mayor influencia del manganeso en las cantidades generalmente presentes en la fundición gris es neutralizar los efectos dañinos del azufre. Se suministra manganeso en cantidades de 5 veces la de azufre. Así pues un contenido de azufre de 0,10% deberá ser controlado por el 0,50% o más. En cantidades arriba del 1%, el manganeso ejerce un verdadero efecto de aleación, en esta cantidad tiene un efecto estabilizador de los carburos. Además de neutralizar el azufre, el manganeso, en cantidades altas, limita la absorción de azufre, que tiene lugar durante la operación de fusión en el cubilote.

El manganeso es introducido en el hierro gris fundido por el lingote empleado en la carga del cubilote, así como por la pedacería usada en la mezcla, también puede ser introducido como una adición de cuchara, ya sea en forma de ferromanganeso o de sílicomanganeso.

1.2.2.2.3. Níquel

Cuando se añade al hierro gris fundido níquel en las cantidades usuales, actúa como un grafitizante para reducir la tendencia del hierro al endurecimiento superficial. Tiene además, una influencia ligeramente endurecedora y de aumento de resistencia, debido a la solución sólida en la matriz.

En la gama de hasta 1% actúa para mejorar la resistencia de la fundición gris y aumentar su maquinabilidad. Una adición de 3% o más de níquel da un grano muy fino, aumenta la resistencia y la dureza, y produce un hierro con una combinación deseable de dureza moderadamente alta, combinada con baja tendencia al endurecimiento y excelente maquinabilidad. El níquel se usa a menudo junto con el cromo, en proporciones de dos a tres veces el contenido de cromo para aumentar la dureza, tenacidad y resistencia al desgaste y calor. El níquel se usa a menudo en combinación con el molibdeno para la producción de hierros altamente resistentes y maquinables.

En grandes cantidades, el níquel es empleado en hierros austeníticos resistentes a la corrosión y al calor. A menudo se añaden níquel y cromo al hierro blanco para producir una estructura martensítica de mayor dureza y resistencia al desgaste.

1.2.2.2.4. Cromo

Es un fuerte estabilizador de carburos en la fundición gris. Empleado aisladamente en cantidades hasta 0,5% y en presencia del 2% de silicio usual, el cromo actúa para aumentar la dureza, resistencia al desgaste, abrasión y calor. El cromo aumenta la profundidad de endurecimiento y, cuando se emplea en exceso, o cuando la composición del hierro base no está apropiadamente balanceada puede por tal razón afectar adversamente a la maquinabilidad.

El cromo se emplea en el hierro gris, generalmente en cantidades relativamente pequeñas, muy por abajo de 1%. En hierros grises resistentes al calor, el cromo mejora la resistencia a alta temperatura, hace mínima la formación de costras y de oxidación, e inhibe el crecimiento de grano. En tales aplicaciones, se añade cromo en cantidades hasta del 2%.

Los hierros de alto contenido de cromo tienen excelente resistencia al desgaste abrasivo, así como al calor y la oxidación pero generalmente son productos del horno eléctrico, mientras que los grados de más bajo cromo son fundidos a veces en el cubilote.

1.2.2.2.5. Molibdeno

Es un suave estabilizador de carburos aumentando ligeramente la dureza en aleaciones de 0,2 a 0,5%. Tales adiciones mejoran notablemente la resistencia a la tracción y, particularmente la tenacidad o resistencia al impacto. Mejoran también la resistencia al desgaste y a la abrasión.

Para grandes aumentos en la resistencia a la tracción de un hierro dado, el molibdeno está entre los más efectivos aleantes.

1.3. COMBUSTIÓN EN LOS QUEMADORES

1.3.1. COMBUSTIÓN¹⁹

La combustión es una reacción química exotérmica de una sustancia o mezcla de sustancias llamada combustible con comburente. Es característica de esta reacción la formación de una llama, que es la masa gaseosa incandescente que emite luz y calor, la cual está en contacto con la sustancia combustible.

La reacción de combustión puede llevarse a cabo directamente con el oxígeno o bien con una mezcla de sustancias que contengan oxígeno, llamada comburente, siendo el aire atmosférico el comburente más habitual.

La reacción del combustible con el oxígeno origina sustancias gaseosas entre las cuales las más comunes son CO_2 y H_2O . Se denominan en forma genérica productos, humos o gases de combustión. Es importante destacar que el combustible solo reacciona con el oxígeno y no con el nitrógeno, el otro componente del aire. Por lo tanto el nitrógeno del aire pasará íntegramente a los productos de combustión sin reaccionar.

1.3.1.1. Combustión completa

Ocurre cuando las sustancias combustibles reaccionan hasta el máximo grado posible de oxidación y no existe presencia de sustancias combustibles en los productos o humos de la reacción. Para el uso del gas doméstico como combustible la llama es de tonalidad azul.

1.3.1.2. Combustión incompleta

Se produce cuando no se alcanza el grado máximo de oxidación y hay presencia de sustancias combustibles en los gases o humos de la reacción. En este caso, la llama puede variar de color aunque predomina el amarillo.

¹⁹ <http://www.textoscientificos.com/quimica/combustion>

1.3.1.3. Combustión estequiométrica o teórica

Es la combustión que se lleva a cabo con la cantidad mínima de aire para que no existan sustancias combustibles en los gases de reacción. En este tipo de combustión no hay presencia de oxígeno en los humos, debido a que este se ha empleado íntegramente en la reacción.

1.3.1.4. Combustión con exceso de comburente

Es la reacción que se produce con una cantidad de comburente, que puede ser el aire, superior al mínimo necesario. Cuando se utiliza un exceso de comburente, la combustión tiende a no producir sustancias combustibles en los gases de reacción. En este tipo de combustión es típica la presencia de oxígeno en los gases de combustión.

La razón por la cual se utiliza normalmente un exceso de comburente es hacer reaccionar completamente el combustible disponible en el proceso.

1.3.1.5. Combustión con defecto de comburente

Es la reacción que se produce con una menor cantidad de comburente que el mínimo necesario. En este tipo de reacción es característica la presencia de sustancias combustibles en los gases o humos de reacción.

1.3.2. CLASIFICACIÓN DE LOS GASES

La variedad de los aparatos a gas, sus dispares empleos y diferentes características constructivas, implican el proyecto de fabricar numerosos tipos de quemadores; a esto contribuye el hecho de que el combustible que se distribuye en el mercado nacional e internacional tiene características físico químicas diferentes de unas a otras.

Los gases susceptibles de ser utilizados en los quemadores sea para uso doméstico o industrial se clasifican en tres familias:

- Primera Familia (GM)
- Segunda Familia (GN)
- Tercera Familia (GLP)

La primera familia (GM) incluye los gases manufacturados, gas de coquería y mezclas hidrocarburos-aire (aire propanado y aire metanado) de bajo poder calorífico. Está actualmente en desuso.

La segunda familia (GN) incluye los gases naturales, gas natural sintético y las mezclas hidrocarburo-aire (aire propanado) de alto poder calorífico.

La tercera familia incluye los gases licuados de petróleo (GLP); propano y butano con un poder calorífico mucho mayor a las 2 anteriores familias.²⁰

1.3.3. QUEMADORES

Los quemadores son los dispositivos que permiten realizar la reacción de combustión entre el combustible y el comburente de manera controlada y regulable, asegurando la aportación adecuada de ambos para conseguir la potencia calorífica especificada, y distribuyendo la zona de reacción (llamas) y la circulación de los productos de combustión de modo que se transfiera a la carga, del modo más eficiente posible, todo el calor producido.

Según sea el combustible utilizado, los quemadores se clasifican en quemadores de gas, de combustibles líquidos y de combustibles sólidos. Para aparatos domésticos y de aplicaciones industriales limitadas, como las cocinas industriales a gas, los quemadores son atmosféricos y tienen potencias entre 50 y 200 kW.²¹

²⁰ Norma INEN 2 259:2000. Artefactos de uso doméstico para cocinar que utilizan combustibles gaseosos. Requisitos e inspección.

²¹ MARQUÉZ, M; “Combustión y quemadores”; NovaProductiva; España; 2005; pág. 91.

1.3.3.1. Principio de combustión con combustible gaseoso

Se introduce directamente el gas mezclado con el aire en el hogar y, mediante una chispa, se prende la llama. En este sistema hay más dispositivos de seguridad porque, al contrario de lo que ocurre con el gasóleo, el gas sí arde en condiciones ambientales. En cambio, en el caso del gasóleo es necesario calentarlo o someterlo a presión para que arda.

Los combustibles en estado gaseoso son los más fáciles a la hora de hacerlos arder, ya que los combustibles sólidos y líquidos hay que tratarlos y calentarlos.

El fundamento de la cocina de gas reside en los quemadores atmosféricos, donde se produce la mezcla combustible-comburente y la combustión, y por lo tanto, donde tiene lugar la producción de calor. En los quemadores atmosféricos el gas induce al aire en el tubo de mezcla por efecto Venturi, en cuyo extremo se forma la llama. No se requiere ventilador de aire ni órgano mecánico que regulen el caudal de aire en función del caudal de gas, cuando en el quemador se varía la presión del gas, varía el caudal de éste, pero el caudal de aire aspirado no varía.²²

La llama producida en el quemador es azulada y si se volviese amarilla indica que éste está sucio o tiene los respiraderos obstruidos y hay que proceder a su limpieza.

El cuerpo del quemador es, generalmente de una aleación ligera, fundición gris o de latón fundido e incluso de acero inoxidable con un grosor mínimo de 2,5 mm.²³

1.3.3.2. Tipos de quemadores

Para el desarrollo de este proyecto, únicamente se consideran los quemadores para cocinas industriales más comercializados en el país. La clasificación de los mismos se basa en el cambio de la configuración de sus partes como se muestra en la Figura 1. 5.

²² MARQUÉZ, M; “Combustión y quemadores”; NovaProductiva; España; 2005; pág. 99.

²³ Norma INEN 2 259:2000. Artefactos de uso doméstico para cocinar que utilizan combustibles gaseosos. Requisitos e inspección.



Figura 1. 5. Partes de un quemador de cocina industrial.

1.3.3.2.1. Quemadores cerrados

Estos quemadores son fabricados con noyos, los cuales dan el acabado interno del conducto que guía la mezcla aire combustible dentro del quemador.



Figura 1. 6. Quemador cerrado.

1.3.3.2.2. Quemadores cerrados con 2 o más alimentaciones de combustible

Estos quemadores tienen el mismo principio de fabricación que los anteriores, a diferencia que estos son de mayor capacidad, ya que consumen mayor cantidad de combustible.



Figura 1. 7. Quemador con 2 alimentaciones de combustible.



Figura 1. 8. Quemador con 3 alimentaciones de combustible.

1.3.3.2.3. Quemadores cerrados con llama piloto

Son iguales que los 2 anteriores a diferencia que estos quemadores se les acopla una llama piloto, la misma que permite que los quemadores no se apaguen por cualquier inconveniente.



Figura 1. 9. Quemador cerrado con llama piloto.

1.3.3.2.4. Quemadores de cacerola y tapa

Este tipo de quemadores tiene otro principio de fabricación, ya que los mismos alojan la mezcla aire combustible en la cacerola, teniendo la combustión de la mezcla inmediatamente. La fabricación de estos quemadores suele ser más fácil que los quemadores cerrados.



Figura 1. 10. Quemador de cacerola y tapa.

1.3.3.2.5. Quemadores con tapa ensamblada a presión

El proceso de fabricación de estos quemadores se asemeja al de los quemadores de cacerola y tapa, a diferencia que las tapas de estos se insertan a presión en la cacerola.



Figura 1. 11. Quemador con tapa insertada a presión

CAPÍTULO 2

SELECCIÓN DE LOS QUEMADORES

En este capítulo se conocen los quemadores más comercializados en el mercado ecuatoriano y las características físicas de los considerados para la selección así como las pruebas que se realizan para cuantificar su funcionamiento. Seguidamente para escoger los dos quemadores a fabricarse se establecen los criterios de valoración para finalmente seleccionar los más convenientes por el método ordinal corregido de criterios ponderados.

2.1. QUEMADORES EXISTENTES EN EL MERCADO

La fabricación de la mayoría de cocinas industriales en el Ecuador se realiza de manera artesanal de acuerdo a las necesidades de los usuarios, por lo que existe un sin número de quemadores industriales originales y adaptados a las características de cada tipo de cocina.



Figura 2. 1. Cocinas industriales fabricadas artesanalmente en el país.

La fabricación de quemadores en el mercado ecuatoriano, está a cargo de las diferentes fundidoras en el país que producen en medianas series quemadores con tapas como se indican en la Figura 2. 2.



Figura 2. 2. Quemadores con tapas disponibles en el mercado.

Mientras que otro tipo de quemadores cerrados, como los mostrados en la Figura 2. 3, son únicamente importados al país.



Figura 2. 3. Quemadores industriales de origen extranjero.

Para la evaluación y selección de alternativas presentes en este proyecto se escogen seis tipos de quemadores más usados en cocinas industriales artesanales, los cuales se adaptan a una cocina industrial de uso habitual en el país que se toma como referencia.



Figura 2. 4. Cocina industrial artesanal de mayor uso en el país.

2.1.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS QUEMADORES CONSIDERADOS PARA LA SELECCIÓN

Se describen características físicas como el material, el tipo y diámetro medio del quemador, tipo de fabricación, regulaciones de aire y adaptaciones requeridas para su uso en la cocina de prueba mostrada den la Figura 2. 4. Además se conoce el origen y el costo de cada quemador pues su fabricación se justifica en reemplazar las importaciones de estos disminuyendo su precio. Se escogen tres quemadores fabricados en el país y tres quemadores importados descritos en la Tabla 2. 1.

Tabla 2. 1. Características físicas de los quemadores.

Quemador	Descripción	Imagen
1	<p>Material: aluminio.</p> <p>Tipo de quemador: tapa y cacerola.</p> <p>Diámetro medio: 115 mm.</p> <p>Tipo de fabricación: Ambas partes son de aluminio. La cacerola es obtenida por fundición en coquilla y maquinada posteriormente en el torno, se inserta a presión un tubo de una pulgada para la entrada de la mezcla aire-gas. La tapa es obtenida por fundición en coquilla con acabado de torno y pintura.</p> <p>Regulación de aire: no presenta.</p> <p>Origen: nacional.</p> <p>Adaptaciones: ninguna.</p> <p>Costo: \$4.</p>	

Continúa Tabla 2. 1.

2	<p>Material: aluminio y bronce.</p> <p>Tipo de quemador: tapa y cacerola.</p> <p>Diámetro medio: 117 mm.</p> <p>Tipo de fabricación: La cacerola es de aluminio y se obtiene por fundición en coquilla y se maquina posteriormente en el torno, finalmente se inserta a presión un tubo de una pulgada para la entrada de la mezcla aire-gas. La tapa es de bronce y se obtiene mediante fundición en coquilla con acabado de torno, las perforaciones para la salida de gas se taladran con plantilla.</p> <p>Regulación de aire: no presenta.</p> <p>Origen: nacional.</p> <p>Adaptaciones: ninguna.</p> <p>Costo: \$5.</p>	
---	---	--

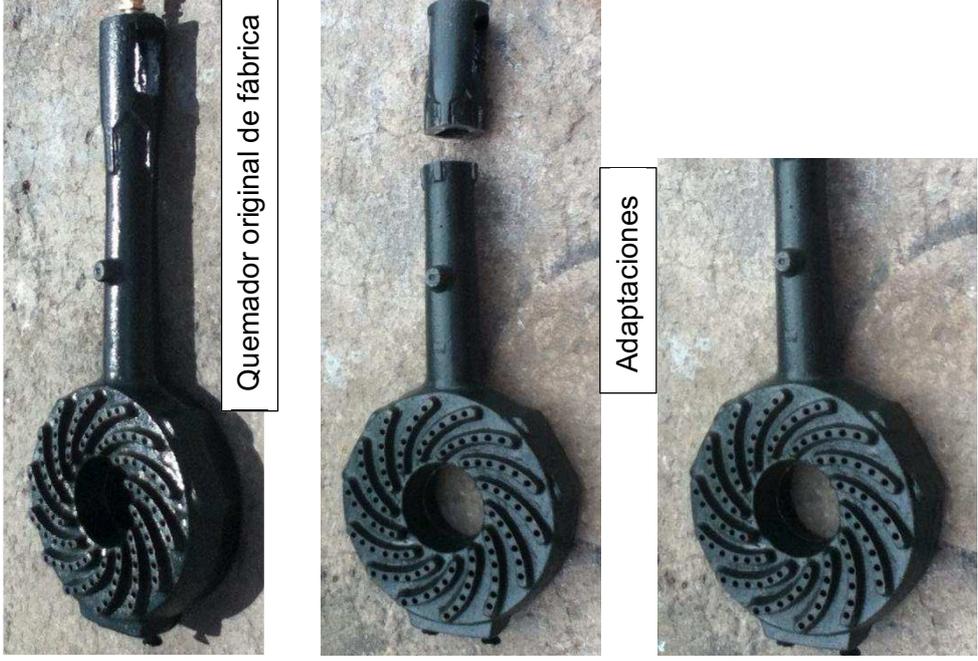
Continúa Tabla 2. 1.

3	<p>Material: aluminio.</p> <p>Tipo de quemador: tapa insertada a presión y cacerola.</p> <p>Diámetro medio: 117 mm.</p> <p>Tipo de fabricación: La cacerola se obtiene por fundición en coquilla al igual que la tapa, las superficies conjugadas se tornean con ajuste de apriete a presión. La tapa es insertada en la cacerola a presión de manera que no pueda desmontarse, las perforaciones para la salida de gas se taladran con plantilla y finalmente se inserta a presión un tubo de una pulgada para la entrada de la mezcla aire-gas.</p> <p>Regulación de aire: no presenta.</p> <p>Origen: nacional.</p> <p>Adaptaciones: ninguna.</p> <p>Costo: \$3.</p>	
---	---	--

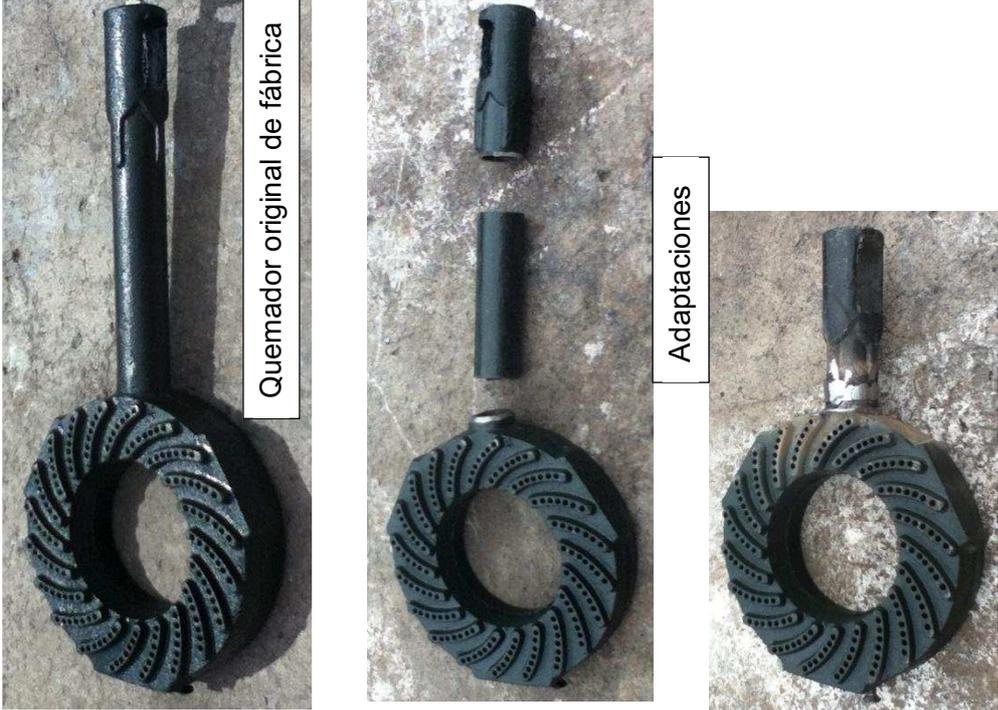
Continúa Tabla 2. 1.

4	<p>Material: fundición gris.</p> <p>Tipo de quemador: cerrado.</p> <p>Diámetro medio: 150 mm.</p> <p>Tipo de fabricación: El quemador es obtenido por fundición con molde en arena. Debido a su geometría el detalle interno se obtiene mediante noyos, los agujeros para la salida de gas se perforan utilizando una plantilla. La entrada de la mezcla aire-gas se realiza mediante un tubo de una pulgada independiente del quemador que se enrosca al mismo. Presenta un acabado superficial de pintura.</p> <p>Regulación de aire: no presenta.</p> <p>Origen: extranjero.</p> <p>Adaptaciones: ninguna.</p> <p>Costo: \$14.</p>	
---	---	--

Continúa Tabla 2. 1.

<p>5</p>	<p>Material: fundición gris.</p> <p>Tipo de quemador: cerrado.</p> <p>Diámetro medio: 128 mm.</p> <p>Tipo de fabricación: El quemador se constituye como una sola pieza incluyendo la entrada de la mezcla aire-gas y es obtenido por fundición con molde en arena. Debido a su geometría el detalle interno se obtiene mediante noyos, los agujeros para la salida de gas se perforan utilizando una plantilla. Presenta un acabado superficial de pintura.</p> <p>Regulación de aire: al tamaño original si presenta pero para adaptarlo a la cocina la regulación es suprimida.</p> <p>Origen: extranjero.</p> <p>Adaptaciones: dependiendo del tipo de cocina la entrada de aire-gas suele resultar muy larga por lo que lo en su mayoría estos quemadores deben ser cortados y soldados o simplemente cortados sin regulación. En este caso el quemador solo se cortará a la medida de la cocina.</p> <p>Costo: \$11.</p>	
----------	--	--

Continúa Tabla 2. 1.

	<p>Material: fundición gris.</p> <p>Tipo de quemador: cerrado.</p> <p>Diámetro medio: 166 mm.</p> <p>Tipo de fabricación: El quemador que incluye la entrada de la mezcla aire-gas es obtenido por fundición con molde en arena. Debido a su geometría el detalle interno se obtiene mediante noyos, los agujeros para la salida de gas se perforan utilizando una plantilla. Presenta un acabado superficial de pintura.</p> <p>Regulación de aire: si presenta.</p> <p>Origen: extranjero.</p> <p>Adaptaciones: dependiendo del tipo de cocina la entrada de aire-gas suele resultar muy larga por lo que en su mayoría estos quemadores deben ser cortados y soldados o simplemente cortados sin regulación. Para poder probar este quemador se reduce la longitud de la entrada aire-gas, cortándola y soldando para mantener la regulación.</p> <p>Costo: \$13.</p>	
--	--	--

2.1.2. CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES DE LOS QUEMADORES CONSIDERADOS PARA LA SELECCIÓN

La fabricación y comercialización de quemadores industriales en el país no se lleva a cabo bajo ninguna normativa técnica y su diseño se basa en las características dimensionales de las cocinas, es por esta razón que no se conocen las especificaciones técnicas para cada quemador como la capacidad calórica y el consumo de combustible que permitan evaluar su rendimiento.

Con el fin de obtener un criterio de selección que valore el rendimiento de los quemadores se realiza un *Ensayo de Rendimiento* basado en la norma técnica ecuatoriana INEN 2 259:2000 de artefactos de uso doméstico para cocinar, que utilizan combustibles gaseosos. Requisitos e Inspección.

2.1.2.1. Ensayo de Rendimiento para quemadores industriales a gas²⁴

El ensayo consiste en hacer funcionar el quemador, previamente calentado, colocando un recipiente cerrado de prueba con una masa de agua especificada a una temperatura inicial de $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ la cual se calienta a una temperatura en el momento de la extinción del quemador de $90^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$ con una regulación de paso de gas nominal especificada. Se toman datos tanto de temperatura como de masa de gas consumido.

- a) Equipos e instrumentos necesarios para realizar el ensayo, ensamble y regulación:

Se requiere de una cocina industrial de características comunes que se acopla a un tanque de gas. El tanque de gas es de tipo convencional puesto que permite apreciar la variación de masa en el consumo, lo que no se lograría con facilidad

²⁴ Norma INEN 2 259:2000. Artefactos de uso doméstico para cocinar que utilizan combustibles gaseosos. Requisitos e inspección.

usando un tanque de gas industrial, este es a la vez montado sobre una balanza digital calibrada.



Figura 2. 5. a) Cocina industrial utilizada para el ensayo b) Tanque de gas convencional montado sobre balanza digital.

Para que el paso de gas sea constante hacia cada quemador, se utiliza únicamente la válvula central de la cocina en la cual se marcan las distintas posiciones de abertura para poder regularla. Se selecciona una abertura no máxima tal que en cada quemador se genere combustión completa notada por la coloración azul de la llama.

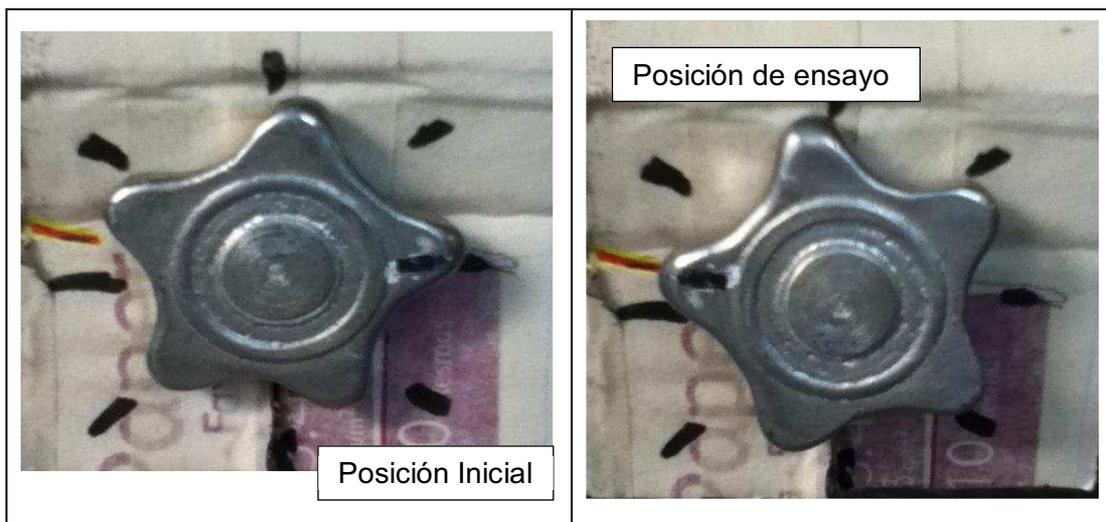


Figura 2. 6. Abertura de la válvula de paso de gas hacia el quemador para el ensayo.

Para llevar a cabo el ensayo se requiere de un recipiente de aluminio con tapa, de fondo mate y paredes pulidas como los descritos en la norma de referencia, sin embargo, al tratarse de una normativa para artefactos domésticos, los recipientes especificados no superan los 320 mm de diámetro interior por lo cual se decide utilizar un recipiente de mayor tamaño que es además de uso común en cocinas industriales. Se utiliza un recipiente número 36 cuya masa de agua correspondiente es de 16,2 kg, valor que se extrapola de los datos provistos en la norma como se puede mostrar en el ANEXO 1. Además, se necesita un recipiente de aluminio de 22 cm de diámetro para el precalentamiento del quemador como especifica la norma.

Las mediciones de temperatura se registran utilizando un multímetro digital acoplado a una termocupla tipo k cuya juntura se ubica en el centro del volumen de agua dentro del recipiente.

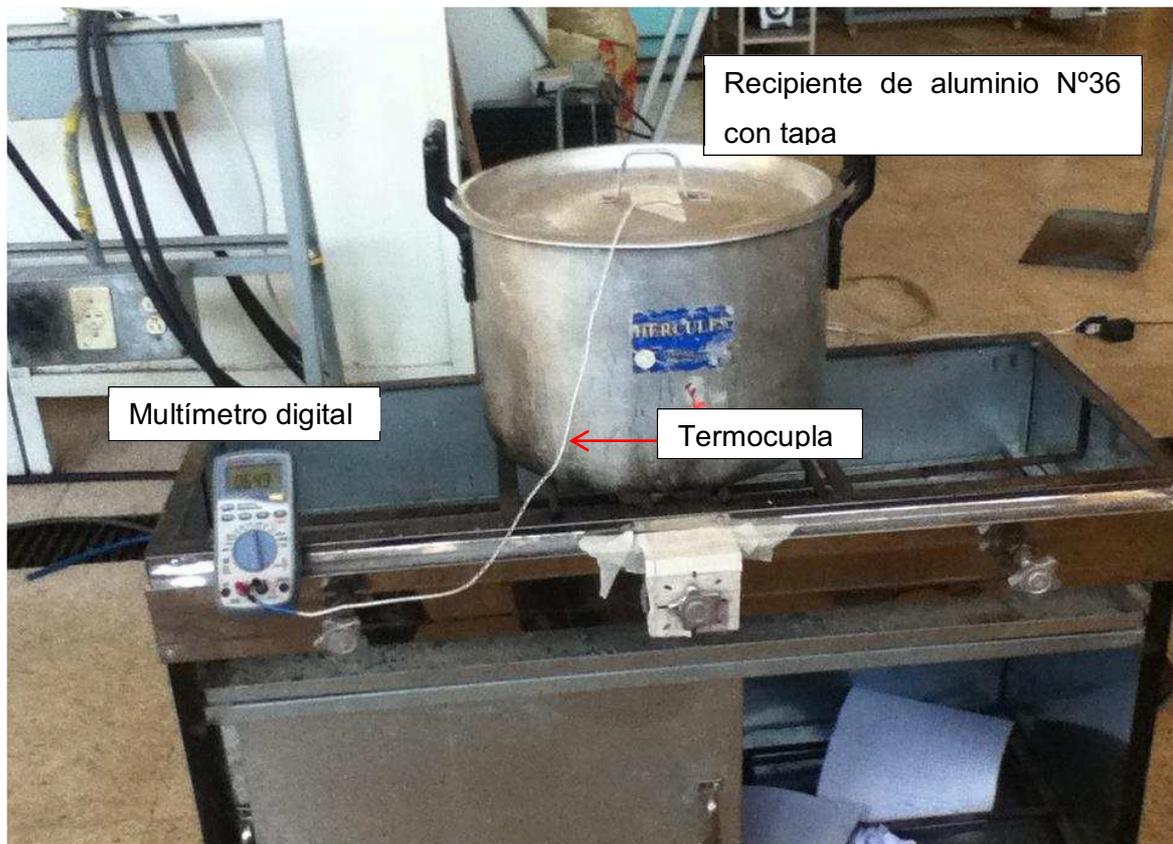


Figura 2. 7. Recipiente de aluminio acoplado a multímetro digital para medir la temperatura del agua.

Las pruebas se realizan en un laboratorio provisto de las seguridades adecuadas para montar el equipo y con una temperatura ambiental estándar de 20°C. Una vez conectada la cocina al tanque de gas combustible y con la regulación de la válvula adecuada se procede a realizar el ensayo para cada quemador.



Figura 2. 8. Equipos e instrumentos a punto para realizar el ensayo.

b) Procedimiento:

Se hace funcionar el quemador, con la abertura de paso de gas especificada, usando el recipiente de precalentamiento con 3,7 kg de agua a 20°C durante diez minutos. Se retira el mismo e inmediatamente después se coloca el recipiente que sirve para el ensayo con 16,2 kg de agua a 20°C \pm 3°C. La medida del consumo de gas empieza entonces, y finaliza tras la extinción del quemador con el recipiente en su sitio. Los datos de temperatura se toman cada 5 minutos hasta el momento en que el agua alcanza 90°C \pm 1°C y se extingue la llama. Finalmente se registra el valor máximo que alcanza el agua con el quemador apagado.

c) Obtención de datos:

Tabla 2. 2. Datos obtenidos.

Quemador	Tiempo [min]	Temperatura del agua [°C]
1	0	22,9
	5	37,4
	10	48,8
	15	61,2
	20	73,4
	25	84,4
	27,52	90
2	0	20,6
	5	32,7
	10	42,9
	15	53,2
	20	64,5
	25	74,7
	30	84,9
	31,7	90
3	0	20,6
	5	30,3
	10	41,3
	15	50,9
	20	60,9
	25	71,1
	30	80,1
	34,5	90

Masa de gas consumida:
0,2 kg

Temperatura máxima en el agua
luego de la extinción de la llama:
90,8 [°C]

Masa de gas consumida:
0,2 kg

Temperatura máxima en el agua
luego de la extinción de la llama:
89,5 [°C]

Masa de gas consumida:
0,2 kg

Temperatura máxima en el agua
luego de la extinción de la llama:
89,4 [°C]

Continúa Tabla 2. 2.

4	0	22,5
	5	31,4
	10	43,9
	15	56,4
	20	68,3
	25	79,2
	30	89,3
	30,35	90
5	0	21,7
	5	32,3
	10	42,9
	15	53,5
	20	65,3
	25	75,3
	30	85,5
	32,12	90
6	0	22,8
	5	33,7
	10	46,3
	15	58,6
	20	70,8
	25	81,7
	28,68	90

Masa de gas consumida: 0,2 kg
Temperatura máxima en el agua luego de la extinción de la llama: 90,5 [°C]

Masa de gas consumida: 0,2 kg
Temperatura máxima en el agua luego de la extinción de la llama: 90,5 [°C]

Masa de gas consumida: 0,2 kg
Temperatura máxima en el agua luego de la extinción de la llama: 90,6 [°C]

d) Cálculo de rendimiento:

Para el cálculo del rendimiento en cada quemador se utiliza la siguiente fórmula descrita en la norma INEN 2 259:2000.

$$R = m_a \times C_p \times \frac{(t_2 - t_1)}{m \times PC} \times 100$$

Ecuación 2. 1.

En donde:

R= rendimiento, en %;

m_a = masa de agua introducida en el recipiente, en kg;

C_p = $4,186 \times 10^{-3}$, calor específico en MJ/kg°C;

t_1 = temperatura inicial del agua, en °C;

t_2 = temperatura máxima del agua después de la extinción, en °C;

m = masa de gas consumido, en kg;

PC= 59,92, poder calórico inferior del gas, en MJ/kg.

Ejemplo de cálculo:

Quemador 1:

m_a = 16,2 kg;

C_p = $4,186 \times 10^{-3}$ MJ/kg°C;

t_1 = 22,9 °C;

t_2 = 90,8 °C;

m = 0,2 kg;

PC= 59,92 MJ/kg.

$$R = 16,2 \times 4,186 \times 10^{-3} \times \frac{(90,8 - 22,9)}{0,2 \times 59,92} \times 100$$

$$R = 38,42 \%$$

Tabla 2. 3. Valores de rendimiento calculados.

Quemador	Rendimiento [%]
1	38,42
2	38,99
3	38,93
4	38,48
5	38,93
6	38,37

e) Incremento de la temperatura en función del tiempo:

Los valores de temperatura se grafican en función del tiempo para apreciar la velocidad de calentamiento de cada quemador.

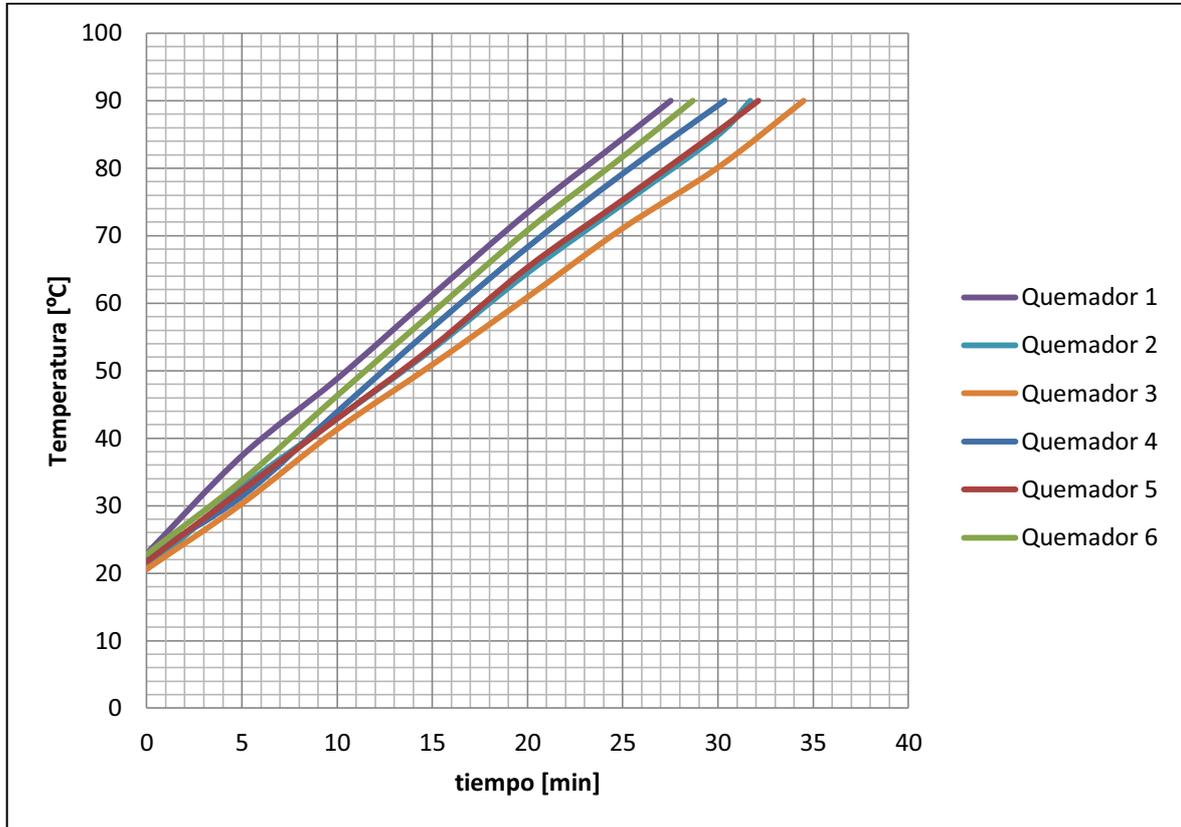


Figura 2. 9. Variación de la temperatura en función del tiempo para cada quemador.

f) Análisis de resultados:

Como se puede observar en la Tabla 2. 3 los valores de rendimiento calculados para cada quemador no varían considerablemente, por lo cual este parámetro no permite hacer una distinción funcional real entre los mismos. Se decide entonces, analizar su comportamiento al elevar la temperatura del agua y se observa que existe cierta diferencia en el tiempo empleado por estos para llegar a la temperatura máxima del ensayo, lo que expondría su rapidez de calentamiento. Siendo la rapidez, de la misma manera, un parámetro de funcionamiento, se considera a esta característica como el *Rendimiento* para cada quemador que será referido cualitativamente.

2.2. EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Con el fin de determinar el modelo de quemador que resulte más conveniente de fabricar, se emplea el método ordinal corregido de criterios ponderados, el cual permite seleccionar la alternativa que mejor se adapte a los parámetros de valoración de cada criterio.

2.2.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN

Los criterios se establecen en base al objetivo de la selección, en este caso, se desea producir nacionalmente quemadores que permitan una buena generación de calor de acuerdo a las necesidades de los usuarios para reemplazar las importaciones de los mismos al país. Se establecen seis criterios determinantes que se detallan seguidamente.

2.2.1.1. Rendimiento

El rendimiento representa la capacidad de calentamiento que posee cada quemador en función de su consumo de gas y del tiempo empleado. En este caso, este criterio se refiere al especificado en el *Ensayo de Rendimiento* realizado en el apartado 2.1.2.1 del cual se obtiene la siguiente comparación.

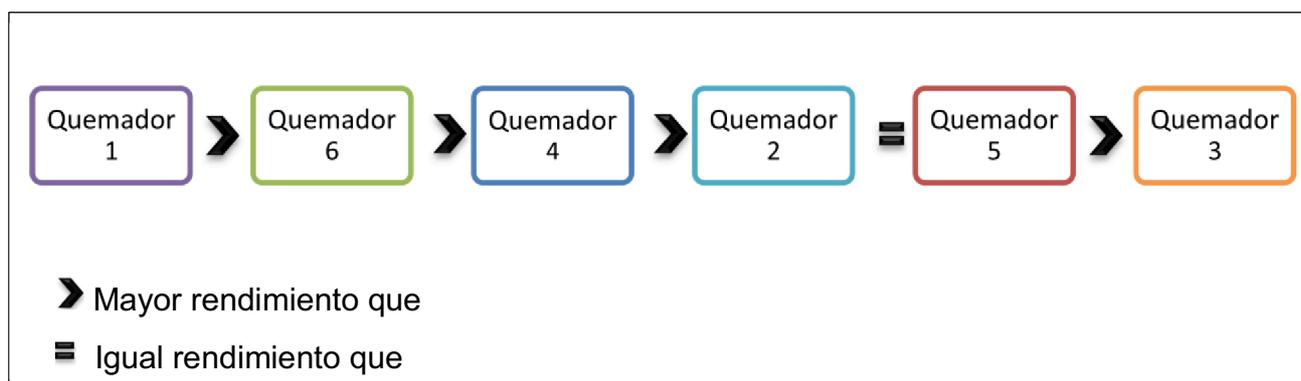
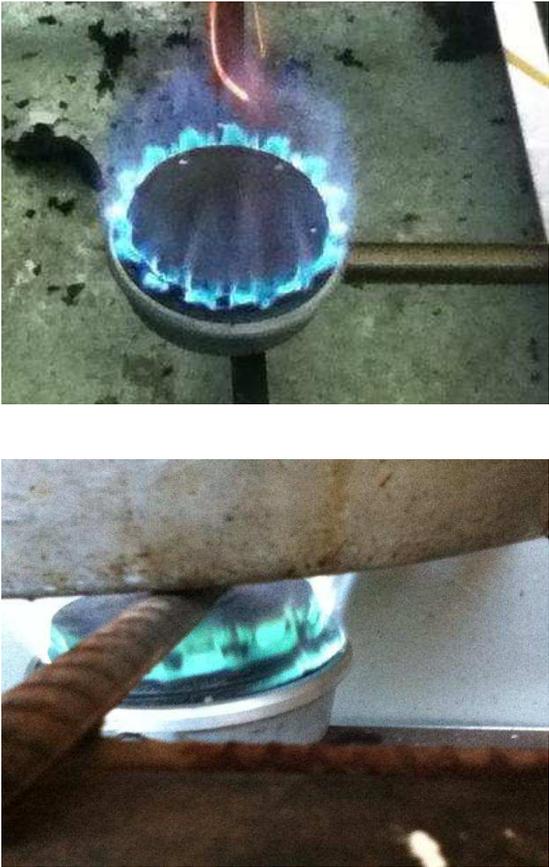


Figura 2. 10. Evaluación del Rendimiento para cada quemador

2.2.1.2. Distribución de la llama

Este criterio considera el aspecto físico de la llama producida en el quemador. Se requiere que el gas se distribuya uniformemente por cada uno de los agujeros del mismo, además de que no existan fugas por las juntas y que la llama sea en su mayoría de coloración azul. El criterio se evalúa de manera visual al funcionar cada uno de los quemadores con la abertura de paso de gas especificada en el ensayo de rendimiento descrito anteriormente.

Tabla 2. 4. Evaluación de la distribución de la llama.

Quemador	Distribución de llama	Observaciones
1		<p>La distribución de la llama no es completamente uniforme pues se notan fugas por los costados del quemador en la juntura de la tapa.</p>

Continúa Tabla 2. 4.

2		<p>La llama es en su mayoría de tonalidad azul, sin embargo el gas no se enciende en cada uno de los agujeros de la tapa.</p>
3		<p>La llama se dispersa por el centro del quemador sin aprovechar la capacidad calórica del combustible. Además, esta se vuelve amarillenta en sus extremos.</p>

Continúa Tabla 2. 4.

4		<p>Se observa la salida de gas por cada uno de los orificios, haciendo a la distribución de la llama bastante uniforme y de coloración azul.</p>
5		<p>El gas no pasa por todos los agujeros del quemador haciendo que la llama no sea uniforme y tenga a la vez una coloración algo amarillenta.</p>

Continúa Tabla 2. 4.

6		<p>La distribución de la llama es bastante uniforme y en su mayoría de coloración azul.</p>
---	--	---

De acuerdo a las observaciones realizadas se obtiene la comparación mostrada en el esquema siguiente.

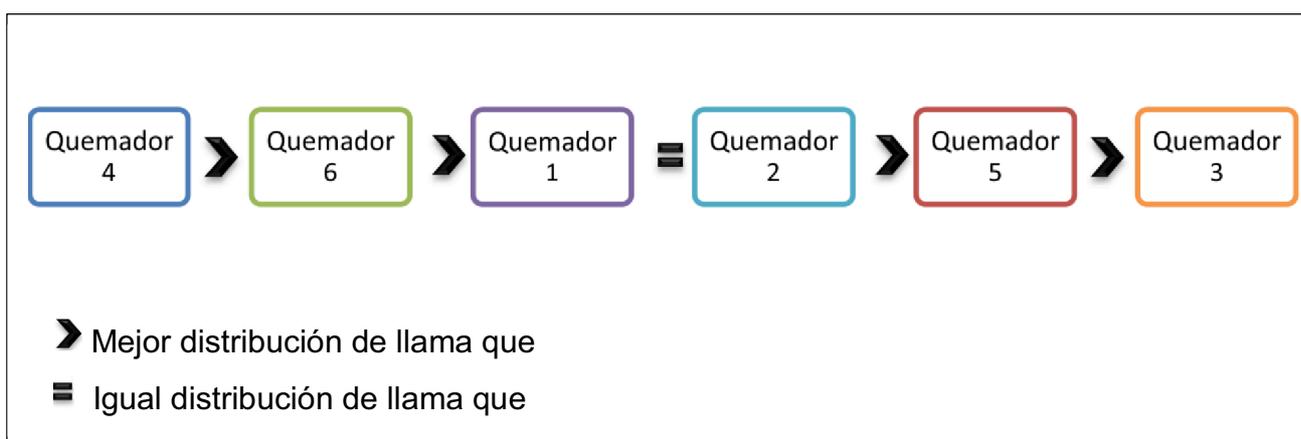


Figura 2. 11. Evaluación de la distribución de la llama.

2.2.1.3. Resistencia al desgaste

La resistencia al desgaste tiene que ver en gran parte con el material del que está hecho el quemador, en términos numéricos, a mayor dureza del material menor desgaste²⁵. Se puede apreciar en la Tabla 2. 5 que el material de mayor dureza es la fundición gris por lo que los quemadores fabricados en este material tendrán mejor resistencia al desgaste. Cuando el quemador está en funcionamiento el calor generado se refleja en el recipiente afectando a la superficie del mismo, la resistencia a este fenómeno está relacionada con la temperatura de fusión del material, con la distribución de la llama del quemador y en el caso de la fundición gris con la resistencia al descascaramiento. La influencia de la distribución de la llama se aprecia en que al permanecer estable, el desgaste se realiza uniformemente en toda la superficie del mismo y no en secciones aisladas que pueden desencadenar en un daño por altas temperaturas que afecte permanentemente al quemador haciendo irremediable su descarte.

Tabla 2. 5. Dureza y punto de fusión de los materiales más utilizados para la fabricación de quemadores.

Material	Dureza Brinell [HB]	Punto de fusión [°C] ²⁶
Fundición gris	156-302 ²⁷	1200
Bronce	100-115 ²⁸	900-960
Aluminio	21-100 ²⁹	657

De acuerdo a las observaciones realizadas luego del funcionamiento de cada quemador y conociendo el material del que están fabricados se obtiene la siguiente comparación para la resistencia al desgaste de los mismos.

²⁵ VILLACRÉS M; “Desgaste y Falla de Materiales”; EPN; 2012.

²⁶ http://platea.pntic.mec.es/pmarti1/educacion/3_eso_materiales/prof/bloque_ii/tablas_d_te_tf_internet.pdf

²⁷ <http://materias.fi.uba.ar/6750/Resumen%20Fundiciones%20de%20hierro.pdf>

²⁸ <http://www.metaleskutsukos.com.ar/propiedades.htm>

²⁹ http://www.lumetalplastic.com/dural_carac_mec.html

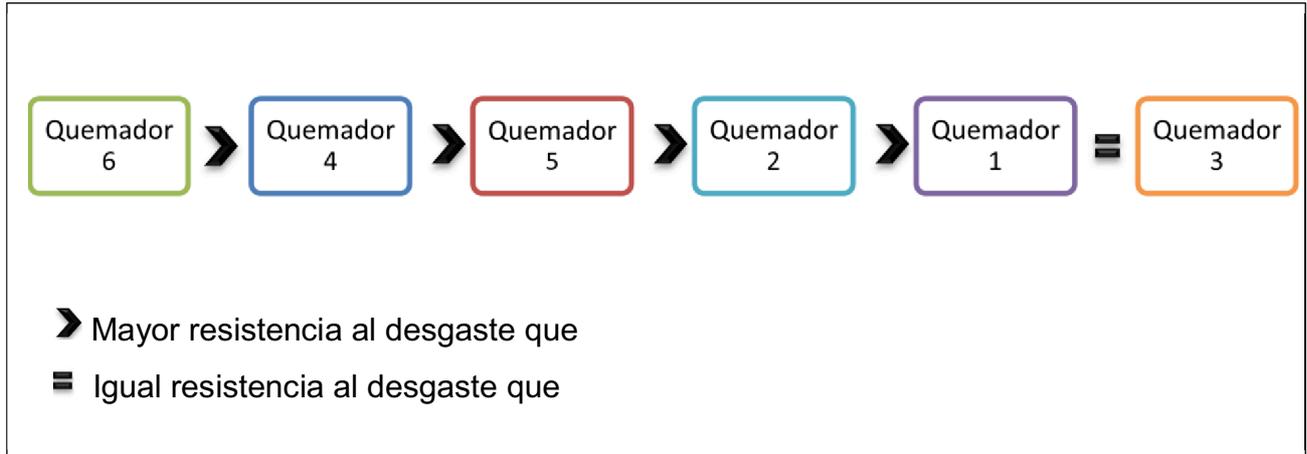


Figura 2. 12. Evaluación de la resistencia al desgaste

2.2.1.4. Facilidad de mantenimiento

Debido a que los quemadores son utilizados en una cocina industrial de uso común, estos están descubiertos al ambiente y pueden ensuciarse de polvo, grasa o cualquier sustancia producto de los alimentos que se preparan, llegando incluso a taponar los agujeros u oxidar la superficie del quemador. La facilidad de mantenimiento se refiere a la capacidad que tienen los quemadores a ser limpiados, eliminando cualquier impureza u oxido que pueda dificultar el paso de gas para que se dé la combustión.

La evaluación de este criterio depende de la geometría de los quemadores, siendo los fabricados en partes desmontables de mayor facilidad de mantenimiento que los constituidos como un solo cuerpo.

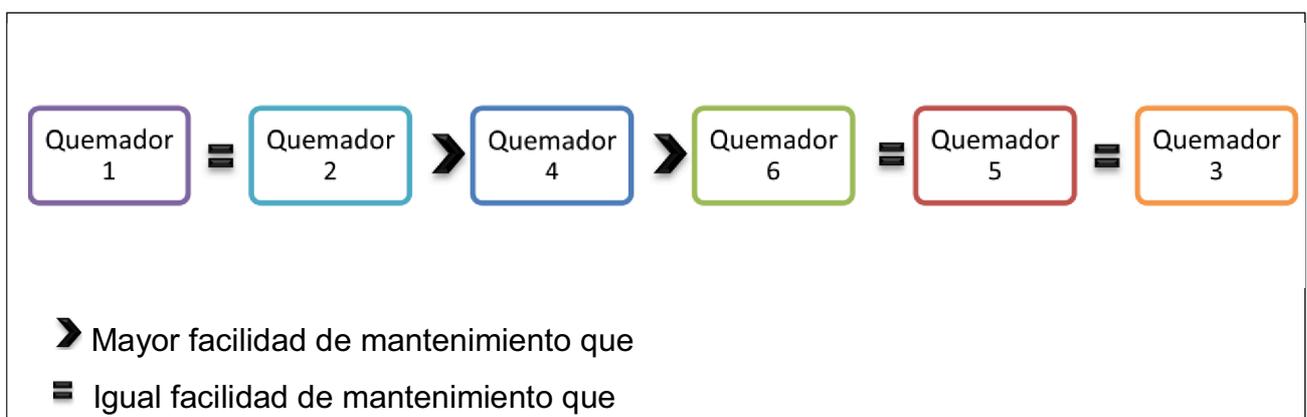


Figura 2. 13. Evaluación de la facilidad de mantenimiento.

2.2.1.5. Facilidad de fabricación

Se debe buscar un modelo de quemador que presente facilidades en su elaboración, de manera que el proceso pueda ser repetido en serie. Este criterio, al igual que el de facilidad de mantenimiento, depende principalmente de la geometría y tipo de quemador, es decir, si está compuesto como un solo cuerpo o en partes, siendo los últimos los más fáciles de obtener por fundición. El tipo de fabricación de cada uno de los quemadores se describe previamente en la Tabla 2. 1, en base a la cual se estable la evaluación mostrada en el esquema a continuación.

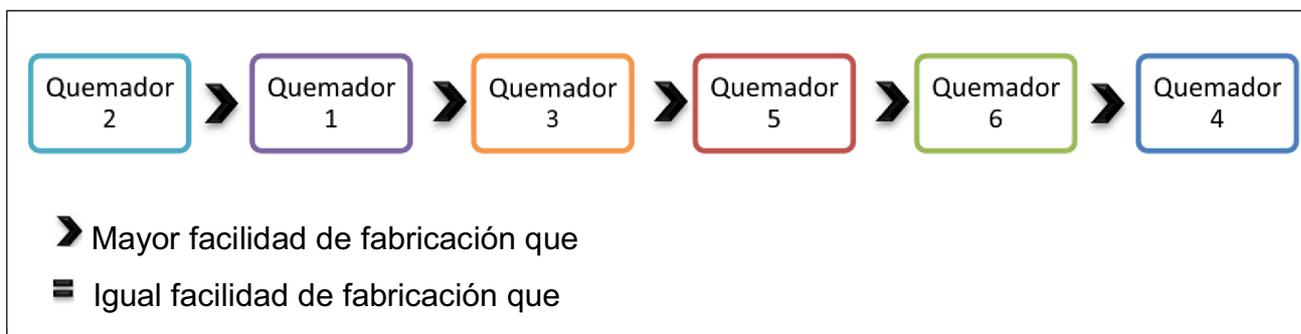


Figura 2. 14. Evaluación de la facilidad de fabricación.

2.2.1.6. Déficit en el mercado

El presente proyecto está destinado a la fabricación de quemadores industriales a gas que actualmente no se producen en el país, motivo por el cual se toma en cuenta este criterio. Los quemadores importados se consideran de mayor déficit en comparación con los nacionales.

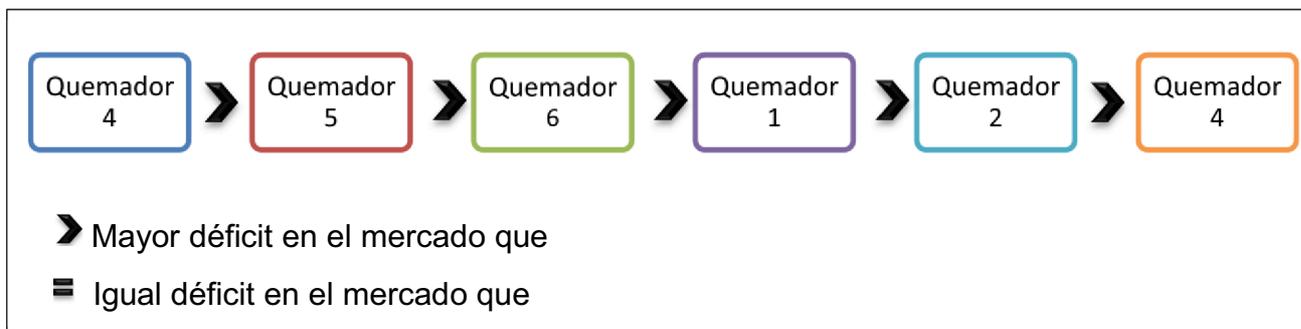


Figura 2. 15. Evaluación del déficit de los quemadores en el mercado.

2.2.2. MÉTODO ORDINAL CORREGIDO DE CRITERIOS PONDERADOS³⁰

Este método permite evaluar los parámetros de cada propiedad sin tener que estimar numéricamente el peso de cada criterio.

Se basa en tablas donde cada criterio (o solución, para un determinado criterio) se confronta con los restantes criterios (o soluciones) y se asignan los valores siguientes:

- 1 Si el criterio (o solución) de las filas es superior (o mejor; $>$) que el de las columnas.
- 0,5 Si el criterio (o solución) de las filas es equivalente ($=$) al de las columnas.
- 0 Si el criterio (o solución) de las filas es inferior (o peor; $<$) que el de las columnas.

Luego, para cada criterio (o solución), se suman los valores asignados en relación a los restantes criterios (o soluciones) al que se le añade una unidad (para evitar que el criterio o solución menos favorable tenga una valoración nula); después, en otra columna se calculan los valores ponderados para cada criterio (o solución).

Finalmente, la evaluación total para cada solución resulta de la suma de productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico del respectivo criterio.

2.2.2.1. Valoración de los criterios de selección

Para seleccionar los quemadores a fabricarse, se realiza en primer lugar una comparación entre los criterios descritos anteriormente, estableciendo un orden de importancia entre los mismos que se indica a continuación en el esquema.

³⁰ RIBA Carles; “Diseño concurrente”; 2002; pag 59-60.

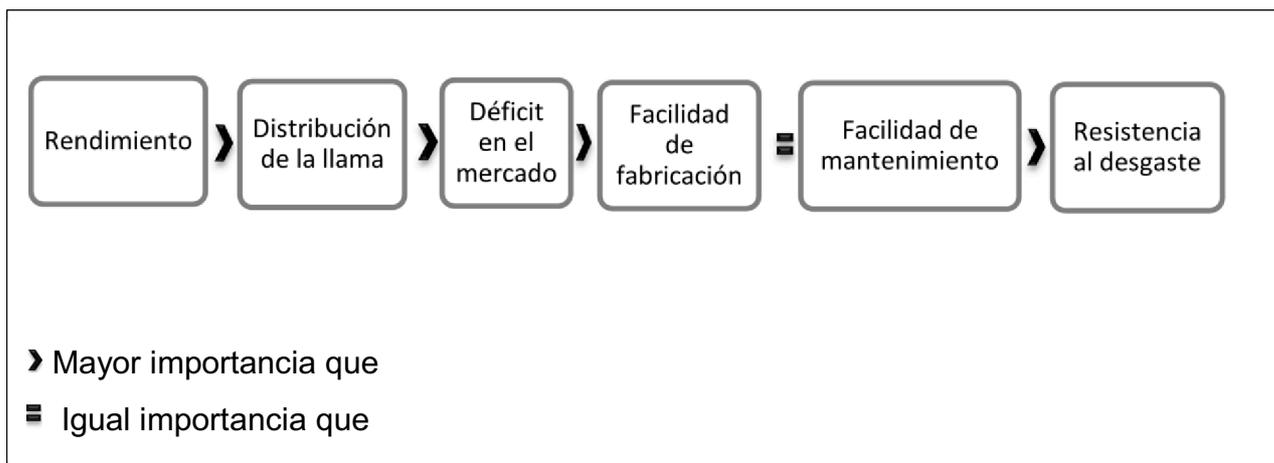


Figura 2. 16. Evaluación de los criterios de selección.

Tabla 2. 6. Resultado de la valoración de los criterios de selección.

CRITERIO	Rendimiento	Distribución de la llama	Resistencia al desgaste	Facilidad de mantenimiento	Facilidad de fabricación	Déficit en el mercado	$\Sigma + 1$	PONDERACIÓN
Rendimiento	-	1	1	1	1	1	6	0,29
Distribución de la llama	0	-	1	1	1	1	5	0,24
Resistencia al desgaste	0	0	-	0	0	0	1	0,05
Facilidad de mantenimiento	0	0	1	-	0,5	0	2,5	0,12
Facilidad de fabricación	0	0	1	0,5	-	0	2,5	0,12
Déficit en el mercado	0	0	1	1	1	-	4	0,19
SUMA							21	1,00

2.2.2.2. Valoración de alternativas

A continuación se valoran las diferentes alternativas de quemadores para cada criterio de selección

Tabla 2. 7. Peso específico de cada alternativa para el criterio de Rendimiento

Rendimiento		QUEMADOR						$\Sigma + 1$	PONDERACIÓN
		1	2	3	4	5	6		
QUEMADOR	1	-	1	1	1	1	1	6	0,29
	2	0	-	1	0	0,5	0	2,5	0,12
	3	0	0	-	0	0	0	1	0,05
	4	0	1	1	-	1	0	4	0,19
	5	0	0,5	1	0	-	0	2,5	0,12
	6	0	1	1	1	1	-	5	0,24
				SUMA			21	1	

Tabla 2. 8. Peso específico de cada alternativa para el criterio de Distribución de la llama

Distribución de la llama		QUEMADOR						$\Sigma + 1$	PONDERACIÓN
		1	2	3	4	5	6		
QUEMADOR	1	-	0,5	1	0	1	0	3,5	0,17
	2	0,5	-	1	0	1	0	3,5	0,17
	3	0	0	-	0	0	0	1	0,05
	4	1	1	1	-	1	1	6	0,29
	5	0	0	1	0	-	0	2	0,10
	6	1	1	1	0	1	-	5	0,24
				SUMA			21	1	

Tabla 2. 9. Peso específico de cada alternativa para el criterio de Resistencia al desgaste.

Resistencia al desgaste		QUEMADOR						$\Sigma + 1$	PONDERACIÓN
		1	2	3	4	5	6		
QUEMADOR	1	-	0	0,5	0	0	0	1,5	0,07
	2	1	-	1	0	0	0	3	0,14
	3	0,5	0	-	0	0	0	1,5	0,07
	4	1	1	1	-	1	0	5	0,24
	5	1	1	1	0	-	0	4	0,19
	6	1	1	1	1	1	-	6	0,29
					SUMA		21	1	

Tabla 2. 10. Peso específico de cada alternativa para el criterio de Facilidad de mantenimiento.

Facilidad de mantenimiento		QUEMADOR						$\Sigma + 1$	PONDERACIÓN
		1	2	3	4	5	6		
QUEMADOR	1	-	0,5	1	1	1	1	5,5	0,26
	2	0,5	-	1	1	1	1	5,5	0,26
	3	0	0	-	0	0,5	0,5	2	0,10
	4	0	0	1	-	1	1	4	0,19
	5	0	0	0,5	0	-	0,5	2	0,10
	6	0	0	0,5	0	0,5	-	2	0,10
					SUMA		21	1	

Tabla 2. 11. Peso específico de cada alternativa para el criterio de Facilidad de fabricación.

Facilidad de fabricación		QUEMADOR						$\Sigma + 1$	PONDERACIÓN
		1	2	3	4	5	6		
QUEMADOR	1	-	0	1	1	1	1	5	0,24
	2	1	-	1	1	1	1	6	0,29
	3	0	0	-	1	1	1	4	0,19
	4	0	0	0	-	0	0	1	0,05
	5	0	0	0	1	-	1	3	0,14
	6	0	0	0	1	0	-	2	0,10
					SUMA		21	1	

Tabla 2. 12. Peso específico de cada alternativa para el criterio de Déficit en el mercado.

Déficit en el mercado		QUEMADOR						$\Sigma + 1$	PONDERACIÓN
		1	2	3	4	5	6		
QUEMADOR	1	-	0,5	0,5	0	0	0	2	0,10
	2	0,5	-	0,5	0	0	0	2	0,10
	3	0,5	0,5	-	0	0	0	2	0,10
	4	1	1	1	-	0,5	0,5	5	0,24
	5	1	1	1	0,5	-	0,5	5	0,24
	6	1	1	1	0,5	0,5	-	5	0,24
					SUMA		21	1	

2.2.2.3. Análisis final de la selección

Finalmente, se presenta la tabla de conclusiones:

Tabla 2. 13. Conclusión del método de selección de alternativas.

CONCLUSIÓN		CRITERIOS DE SELECCIÓN						Σ	PRIORIDAD
		Rendimiento	Distribución de la llama	Resistencia al desgaste	Facilidad de mantenimiento	Facilidad de fabricación	Déficit en el mercado		
QUEMADOR	1	0,08	0,04	0,00	0,03	0,03	0,018	0,20	2
	2	0,03	0,04	0,01	0,03	0,03	0,018	0,16	4
	3	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,018	0,08	5
	4	0,05	0,07	0,01	0,02	0,01	0,045	0,21	1
	5	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,045	0,14	3
	6	0,07	0,06	0,01	0,01	0,01	0,045	0,21	1

Como se puede observar en la Tabla 2. 13 los quemadores más convenientes a fabricar son, con igual valor de importancia, el quemador 4 y el quemador 6.

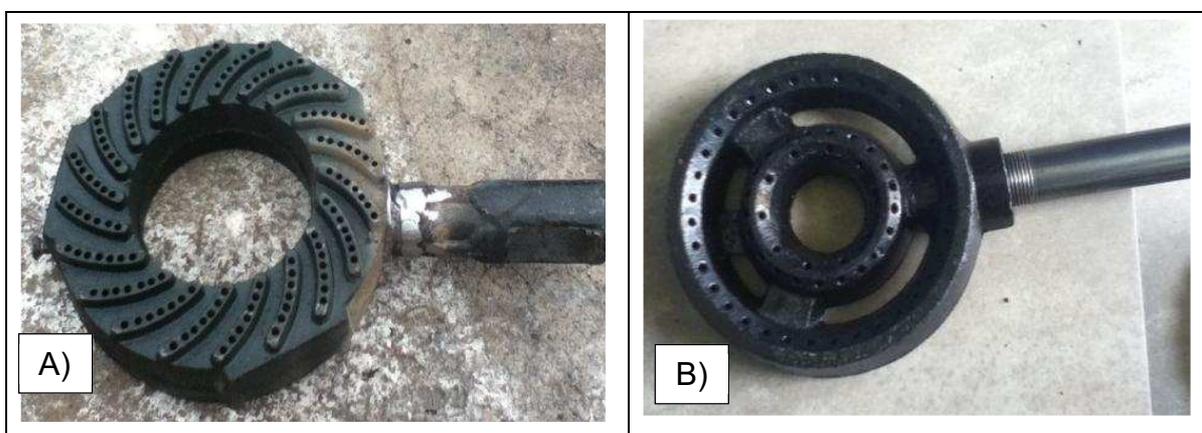


Figura 2. 17. A) Quemador 6 B) Quemador 4

Sin embargo el quemador 1 obtuvo un resultado similar en la selección debido a su alto rendimiento, además este quemador es de tapa lo que facilita su fabricación y mantenimiento.



Figura 2. 18. Quemador 1 de tapa

Por este motivo se decide combinar la versatilidad del quemador con tapa 1 con la resistencia y rendimiento del quemador 4, obtenido un quemador distinto a los propuestos, fabricado en fundición gris, que lucirá como el mostrado en la Figura 2. 19.

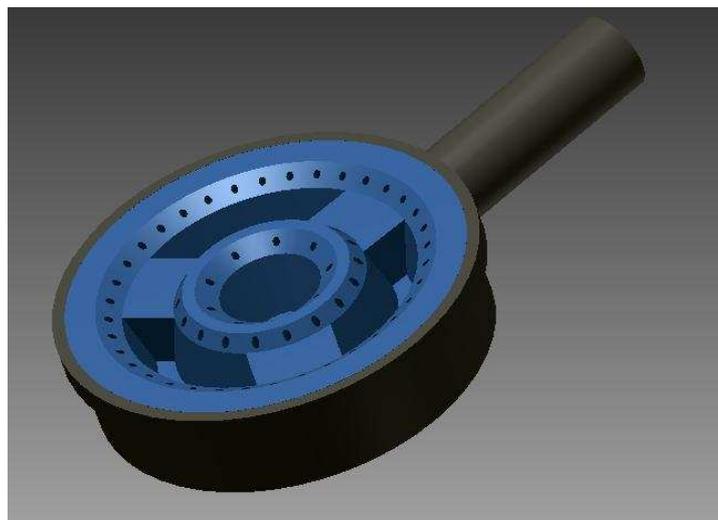


Figura 2. 19. Modelo de quemador a fabricarse

CAPÍTULO 3

DISEÑO DE LOS MODELOS Y CAJA DE MOLDEO

En este capítulo se presentan y diseñan los modelos para utilizarlos la fundición de los quemadores seleccionados en el Capítulo 2, tomando en cuenta la desmoldeabilidad de los mismos así como la contracción que sufren al momento que solidifica el metal. Debido a la geometría de los quemadores seleccionados es necesario diseñar la estructura y portada de los noyos que proporcionan su detalle interno. Se exponen los cálculos del sistema de alimentación para determinar las dimensiones de los alimentadores y tragaderos que permitan el paso de la colada de modo que el molde se llene completamente y solidifique sin ningún desperfecto. Finalmente, se muestra los cálculos de las cajas que alojarán la mezcla de moldeo que permite la obtención de los quemadores por fundición de hierro gris.

3.1. TECNOLOGÍA DE LA PRODUCCIÓN POR FUNDICIÓN

El costo de las piezas fundidas depende en gran parte de la variante del proceso tecnológico adaptado, por eso la elección correcta del proceso tecnológico, óptimo desde el punto de vista técnico económico para condiciones de producción determinadas, es la tarea más importante para el proceso de fundición.

En la obtención de una pieza fundida desempeña un papel muy importante el correcto diseño de la tecnología de confección del molde que dará lugar a la pieza.

Cada proceso de fundición presenta particularidades que vienen dadas por el tipo de molde usado. En este caso se enfocará solamente la tecnología del molde de arena para una colada a base de mezclas sílico-arcillosas convencionales. Una correcta tecnología de fundición se obtiene como culminación de un proceso recurrente en que unas decisiones modifican a otras, y que por tanto, no debe ser enfocado como una simple sucesión de cálculos y decisiones.

Una tecnología de producción por fundición consta de las partes generales que se enlistan a continuación:

- Tecnología del modelo y moldeo.
- Tecnología de fusión del metal.
- Tecnología de colada, enfriamiento y desmoldeo.
- Tecnología de limpieza y acabado.

3.1.1. PROYECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DEL MODELO Y MOLDEO

Para proyectar la tecnología del modelo y moldeo es necesario tener en cuenta aspectos como la ubicación de la pieza en el molde, para ubicar adecuadamente la pieza en el molde se debe tratar de que la mayor parte de la pieza o toda la pieza quede situada en una sola parte del molde, preferentemente en la parte inferior, las superficies más importantes, sobre todo las que lleven maquinado se deben situar en el fondo o en caso extremo vertical u oblicuamente. Se aconseja también colocar las paredes finas de forma vertical, oblicua o preferentemente en el fondo. Para eliminar el surgimiento de sopladuras de gas, la posición escogida durante el llenado tiene que asegurar la salida de los gases, preferentemente por arriba de los noyos. Los noyos internos tienen que ocupar durante el llenado la posición más estable y su fuerza sustentadora tiene que actuar en la dirección de la portada.

Generalmente el moldeo se realiza en dos o más cajas y en dependencia de la complejidad de la pieza a fundir esta debe ser dividida, de forma tal que partes de ella queden en una u otra caja.

Al definir la tecnología de moldeo se debe poner especial énfasis en que la misma sea la más económica posible, para lo cual, debe tenerse en cuenta la posibilidad de simplificar las operaciones más costosas como son la fabricación de noyos, el moldeo complejo y otros.

3.2. DISEÑO DE LOS MODELOS

Para obtener el molde hay que emplear un modelo, que por regla general, es una fiel reproducción de la pieza (modelo natural). Éste es diseñado teniendo en cuenta las siguientes consideraciones: contracción, facilidad de desmoldeo y la funcionalidad o congruencia.

En algunos casos el diseño de los modelos se determina mediante las condiciones de su trabajo y no puede ser variado; pues esto provoca la necesidad de cambiar conjuntos y de esta manera se produce un encarecimiento.

Para el diseño de los modelos se debe tener en cuenta los quemadores que se van a producir de acuerdo al Capítulo 2 del presente proyecto:

a) Quemador A:

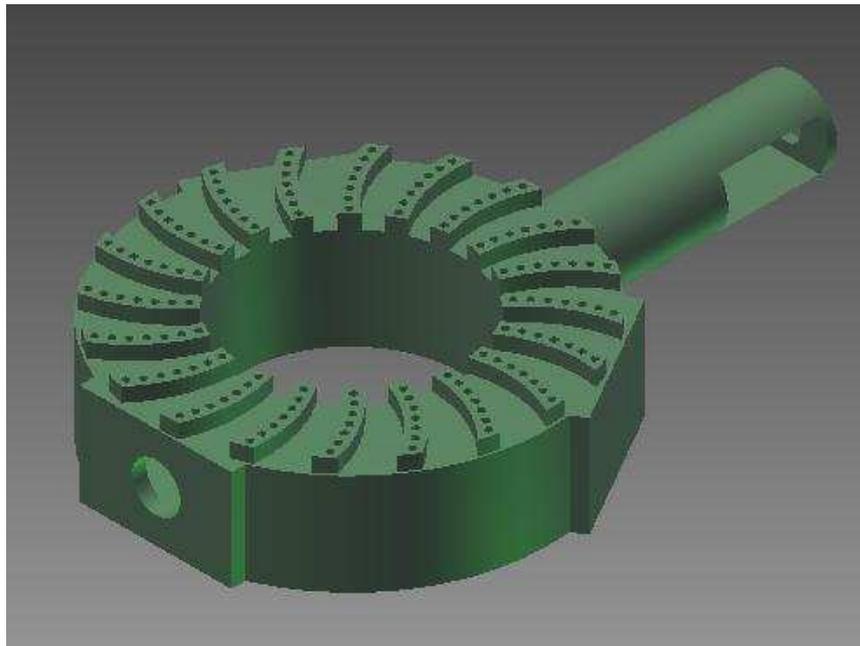


Figura 3. 1. Esquema en 3D del quemador A.

b) Quemador B:

Para abaratar los costos de producción de este quemador se realizó una mezcla del modelo del quemador cerrado negro con los quemadores de cacerola y tapa.

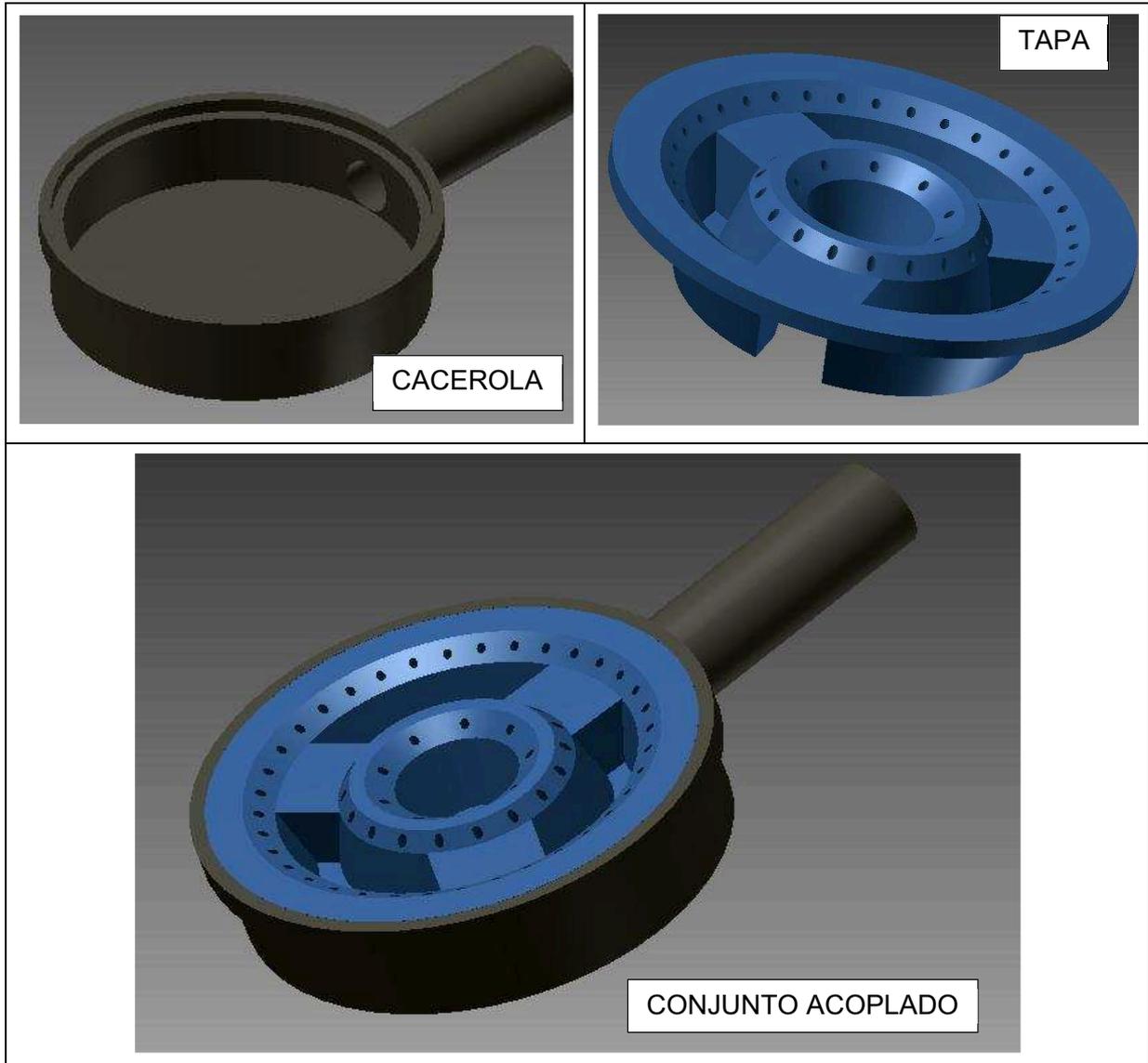


Figura 3. 2. Esquema en 3D del quemador B.

3.2.1. DETERMINACIÓN DEL PLANO DIVISORIO

La superficie de división se determina según la construcción de la pieza fundida y es necesario considerar los siguientes criterios:

- a) Se debe guiar por la comodidad de moldeo, para asegurar la extracción de la plantilla con la menor cantidad de partes sueltas.
- b) La cantidad de divisiones del molde debe ser mínima en todos los casos.
- c) La cantidad de partes sueltas debe ser mínima.
- d) Cuando se necesita gran cantidad de partes sueltas se aconseja sustituirla por noyos.

- e) La cantidad de noyos debe ser mínima. Los noyos se sustituyen por noyos naturales si no aumenta la tolerancia de fabricación.
- f) El plano divisor tienen que asegurar las comodidades del apisonado, del acabado, pintado, secado, etc.
- g) La división del molde debe asegurar la salida fácil de los gases de todos los noyos.

Tomando en cuenta los parámetros anteriormente mencionados, se definen los planos divisorios de los modelos a fabricar, los cuales se encuentran detallados en las siguientes figuras.

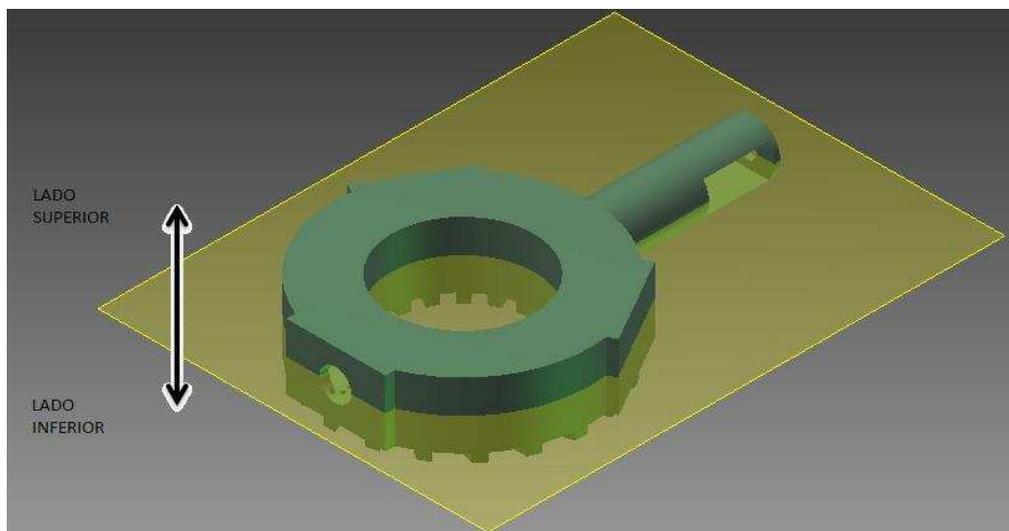


Figura 3. 3. Plano divisorio del quemador A.

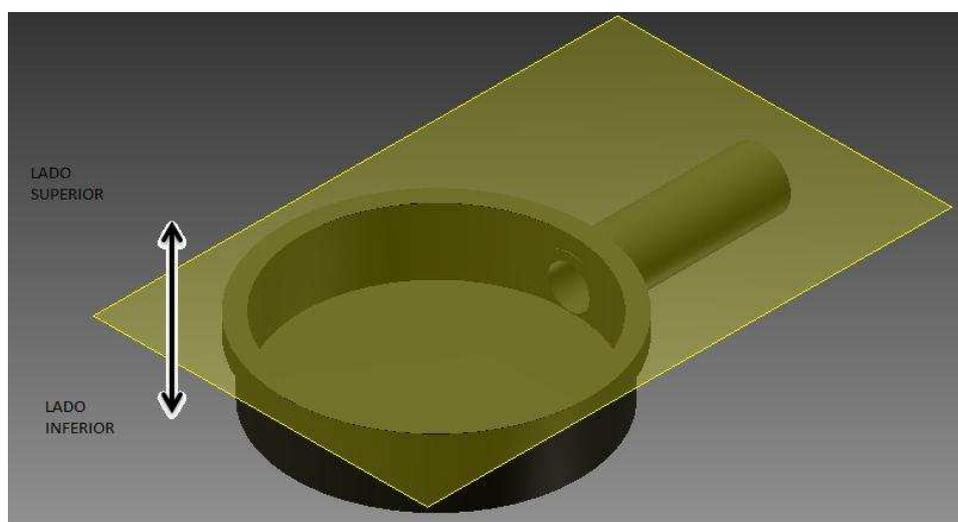


Figura 3. 4. Plano divisorio del quemador B (cacerola).

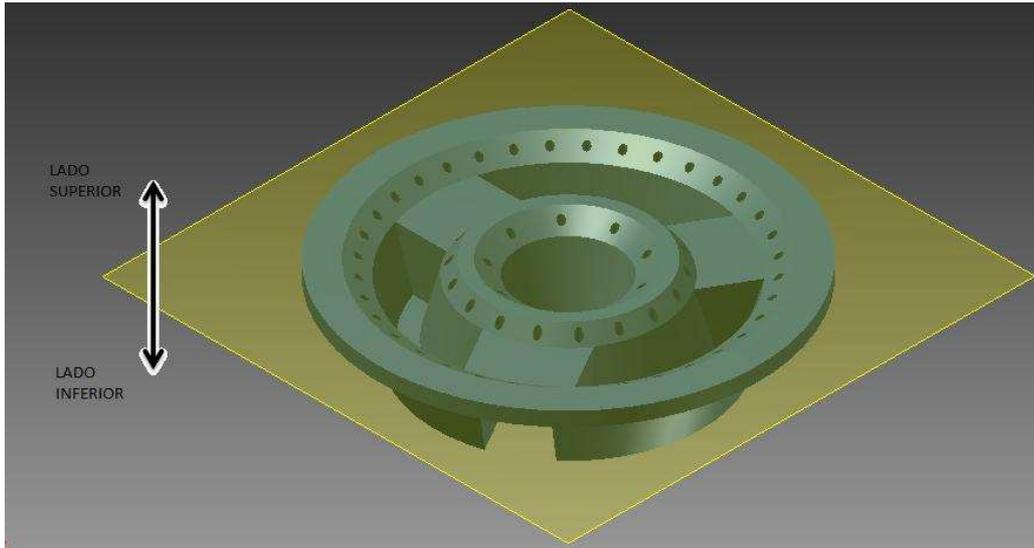


Figura 3. 5. Plano divisorio del quemador B (tapa).

Los modelos deben garantizar un método simple de desmoldeo, corte y limpieza, la reducción de nudos térmicos y la utilización mínima de noyos o de ser posible, elementos simples. Todas estas razones disminuyen el costo del proceso tecnológico.

3.2.2. ESPESORES MÍNIMOS DE LAS PIEZAS

Para saber si la pieza se puede obtener por fundición lo primero que se hace es verificar si los espesores mínimos se pueden lograr por este método.

El espesor de las paredes en sí se determina en dependencia del tipo de aleación, así como de sus propiedades mecánicas y tecnológicas, de la configuración y dimensiones máximas de la pieza fundida. Así mismo se debe tener en cuenta que el espesor excesivo de las paredes aumenta el peso de la pieza por lo que facilita la presencia de defectos al momento de la solidificación al igual que otros aspectos.

El espesor mínimo de las paredes debe asegurar la resistencia nominal que se exige y satisfacer los requerimientos del proceso de fundición. Para las piezas

obtenidas en moldes de arena se debe usar diferentes gráficos y tablas para determinar los espesores mínimos.

El gráfico de los espesores mínimos trabaja de acuerdo a la dimensión equivalente N.

$$N = \frac{2(l) + b + h}{3} [m] \quad \text{Ecuación 3. 1.}^{31}$$

Dónde:

l: Longitud

b: Ancho

h: Altura

Con la dimensión equivalente conocida y el tipo de aleación que se trabaja, se puede determinar el espesor mínimo de acuerdo al siguiente gráfico.

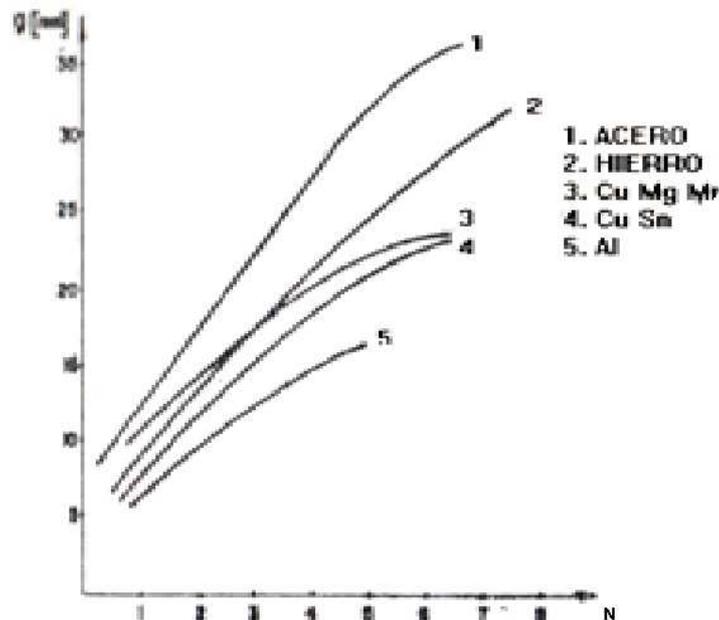


Figura 3. 6. Espesores mínimos de las piezas.

³¹ GOYOS, L; "Tecnología de la Fundición II"; ISPJAE; pág. 21-22

Los elementos de estudio que son el quemador A y las dos partes que conforman el quemador B, tienen diferentes dimensiones, por esta razón cada uno tendrá su dimensión equivalente. La Tabla 3. 1 muestra las dimensiones equivalentes para cada modelo a diseñar.

Tabla 3. 1. Dimensión equivalente de los tres modelos a obtener

	Quemador A	Quemador B	
		Cacerola	Tapa
Longitud (l)	0.272	0.273	0.158
Ancho (b)	0.176	0.168	0.158
Altura (h)	0.049	0.042	0.035
Dimensión Equivalente (N)	0.256	0.252	0.170

Para las aleaciones de hierro fundido gris con una dimensión equivalente $N < 0,5$ m, el espesor de las paredes puede ser de 1,5 a 2,0 mm.³²

Los tres modelos analizados están proyectados para tener un espesor de 5 mm, por lo que pueden trabajar perfectamente debido a que la dimensión equivalente de los mismos es menor que 0,5 m.

3.2.3. FACILIDAD DE DESMOLDEO

Para el diseño de los modelos es recomendable que la mayoría de las superficies sean rectas y enlazadas por curvas, para proporcionar una transición suave. De la misma manera, los modelos deben lograr que el número de superficies perpendiculares al plano de división sea mínimo, para que en el futuro no se tenga que calcular ángulos de inclinación.

³² GOYOS, L; “Tecnología de la Fundición II”; ISPJAE; pág. 22

Está claro que, desde este punto de vista, no todas las piezas pueden realizarse en la fundición sin modificar su estructura. Una sección rectangular, por ejemplo, deberá hacerse trapecial; una cilíndrica, cónica, etc.

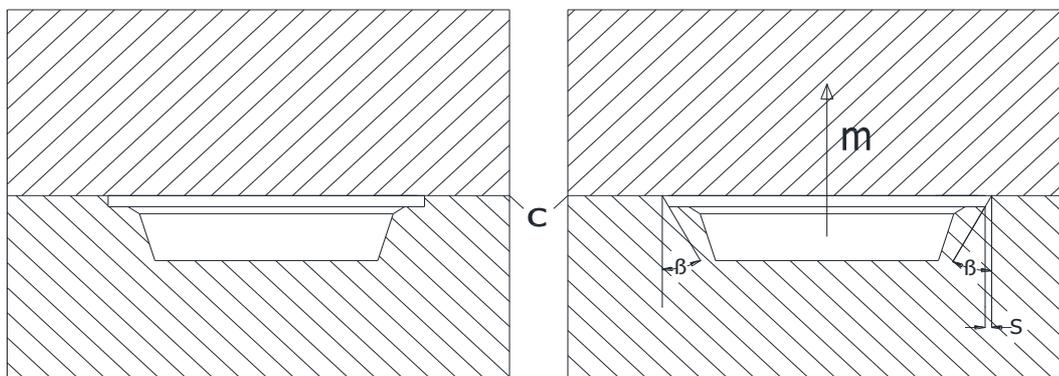


Figura 3. 7. Manera en que el modelista debe modificar las formas geométricas para dar la salida y hacer posible la extracción de los modelos.

El diseñador debe tener en cuenta esta circunstancia y establecer en sus diseños el ángulo de salida conveniente para evitar que el modelista lo establezca por su cuenta, alterando el molde o las dimensiones de la pieza en dirección o en cantidad inadecuadas a las exigencias del proyecto. En la Tabla 3. 2 se indican los valores de la salida s y los ángulos de salida β aconsejables.

Tabla 3. 2. Valores aconsejables de salida s , tanto por ciento y ángulo β .³³

Altura del modelo mm	Salida			Observaciones
	s		Ángulo de salida β	
	mm	%		
Hasta 40	0,5	1,25	1'30"	Para agujeros y huecos = 7 ... 15°, y a veces más.
40 ... 59	0,75	1,8 ... 1,2	1'	
60 ... 119	1	1,7 ... 0,8	40"	
120 ... 159	1,5	1,25 ... 0,9	40"	

³³CAPELLO, E; "Tecnología de la Fundición"; G. Gili; 1971; pág. 11

En los 3 modelos la altura no sobrepasa los 40mm, lo cual se tiene que el ángulo de salida β para los mismos es de $1'30''$, de la misma manera se debe considerar los modelos que contengan hoyos, en estos modelos se considera un ángulo entre 7° y 15° en la parte donde se encuentran las portadas de los hoyos. En este caso para el quemador A y el quemador B (cacerola) se considera un ángulo de 8° .

3.2.4. CONTRACCIÓN

Cuando el metal líquido ingresa en el molde comienza a enfriarse y posteriormente solidifica. Se sabe que el aumento de la temperatura dilata los cuerpos, y que con el enfriamiento los contrae. En el proceso de fundición se trabaja con el metal desde la fase líquida, a temperatura de colado, hasta la fase sólida, a temperatura ambiente. La contracción que aquí debe considerarse es la diferencia de volumen que hay cuando el metal está en estado sólido en referencia al volumen a la temperatura de estado líquido, como se conoce, todos los metales tienen un volumen inferior a temperatura ambiente en relación a la temperatura de colado.

Teniendo en cuenta el fenómeno el modelo debe construirse de acuerdo con el grado de contracción del metal que se emplea en la colada. En la siguiente tabla se indica los valores medios de contracción de fundición de las aleaciones más comunes.

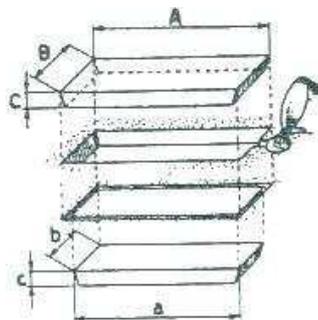


Figura 3. 8. Significado de la contracción.³⁴

³⁴ CAPELLO, E; "Tecnología de la Fundición"; G. Gili; 1971; pág. 13

Tabla 3. 3. Contracciones lineales medias de fundición de las aleaciones más corrientes en 0/00
(o en mm/m).³⁵

Aleación	Dimensiones del modelo Piezas macizas mm	Piezas con machos mm	Contracción en 0/00 o mm/m
Fundición gris...	Hasta 600	Hasta 600	10
	De 630 a 1200	De 630 a 920	8,5
	Más de 1200	Más de 920	7
Fundición gris de gran resistencia...	Hasta 600	Hasta 600	13
	De 630 a 1200	De 630 a 920	10,5
	Más de 1200	Más de 920	8.5
Aluminio y sus aleaciones...	Piezas pequeñas	Pequeñas	13...15
	Piezas medianas	Medianas	12...13
	Piezas grandes	Grandes	11...12

Como la aleación que se va a obtener en la colada para los 2 quemadores es Fundición gris se tiene que la contracción del metal que debe considerarse es de 10 mm/m, ya que los quemadores tienen dimensiones menores a los 600mm.

3.2.5. SOBRE-MEDIDAS DE MAQUINADO

El sobre espesor de maquinado es el exceso de material que se añade a la pieza fundida para llevarla, mediante el maquinado, a la medida establecida en el diseño de la pieza terminada. Las dimensiones de las sobre-medidas de maquinado se establecen en base a la precisión de la producción y masividad, y a la confección de la plantilla.³⁶

Las superficies a ser maquinadas son únicamente las de los modelos del quemador B. En el caso de las placas modelo la precisión aumenta debido a su proceso de moldeo y extracción, por lo que los modelos se sobredimensionan

³⁵ CAPELLO, E; "Tecnología de la Fundición"; G. Gili; 1971; pág. 14.

³⁶ GOYOS, L; "Tecnología de la Fundición II"; ISPJAE; pág. 27.

hasta un máximo de 3 mm, el cual permite un buen maquinado que garantiza el ensamble entre las dos partes del quemador B.

3.2.6. FUNCIONALIDAD O CONGRUENCIA

Los modelos deben construirse de modo que la pieza resultante de la colada se adapte al mecanizado y al uso para el que está destinada; han de ser por consiguiente funcionales o congruentes y resultar:

Prácticos: Los modelos deben barnizarse con coloraciones diversas según la clase de metal que se emplee en la colada. Esto evitará errores y será una indicación de mucha utilidad para la fundición. Los modelos deben llevar, además, marcas, siglas y números que sirvan para su fácil catalogación, su ordenado almacenamiento y para una clara individualización de las piezas. Es preferible que las indicaciones estén en relieve o grabadas, de modo que no estorben a la extracción del modelo ni afecten la estética de la pieza.

Tabla 3. 4. Coloración en los modelos y cajas de machos.³⁷

Superficie o parte de la superficie	Fundición gris	Fundición de Metales pesados	Fundición de Metales ligeros
Color de fondo para superficie en el modelo y en la caja de machos que quedan sin maquinar en la pieza fundida.	Rojo	Amarillo	Verde
Las superficies a maquinar en la pieza fundida.	Listas amarillas	Listas amarillas	Listas amarillas
Asientos de noyos o plantillas.	Negro		

³⁷ AVENDAÑO, H; “Diseño y fabricación de modelos para fundición”; Unidad Profesional Azcapotzalco; NORMA ALEMANA DIN 1511; pág. 48

Precisos: Si se requiere conseguir piezas de precisión, es indispensable que los modelos sean igualmente exactos y que conserven esta cualidad mientras estén en uso, e incluso durante su almacenamiento. Los modelos de madera, por ejemplo, deben construirse en madera sometida a un secado conveniente y recubrirse con barniz impermeable. Los modelos delicados deben consolidarse con refuerzos, nervaduras, etc.

Duraderos: Los criterios de proyección y de construcción de un modelo son distintos según vayan a servir para una sola pieza, para algunas decenas o para mayor número de piezas. Las propiedades de exactitud y de duración son las que determinan el tipo constructivo y el material que ha de emplearse.

Siguiendo los requerimientos de los quemadores, y el material a usarse para producir los mismos, los modelos deben pintarse de color rojo y en la zona donde están las portadas de los noyos el color debe ser negro.

Se adjunta en el ANEXO 2 los planos originales y del modelista correspondientes a cada uno de los modelos con las medidas y formas antes prescritas.

3.3. DISEÑO DE LOS NOYOS

Los noyos se emplean para crear los orificios y cavidades en las molduras, como también para obtener ciertas superficies exteriores de las mismas. Al llenar el molde los noyos generalmente están rodeados con la masa fundida y por esta razón se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- El noyo tiene que darle forma acabada a la superficie de la pieza con la precisión determinada.
- La construcción del noyo tiene que permitir producirlo sin dificultades.
- Tiene que ser asegurada la salida libre de los gases que se forman durante el llenado y la extracción fácil de la mezcla de noyos durante el desmoldeo.
- El noyo debe poseer flexibilidad y resistencia mecánica.

3.3.1. ESTRUCTURA DE LOS NOYOS

La obtención de la moldura con cavidades de dimensiones exactas, en correspondencia con el dibujo de la moldura, se logra no sólo con dimensiones bien definidas, sino también con su correcta instalación en el molde. Para este fin los noyos deben tener la suficiente cantidad de portadas de dimensiones y formas determinadas.

Las portadas de los noyos aseguran la estabilidad del noyo en el molde, una fijación precisa de su posición, como también la evacuación de los gases que se desprenden del mismo al llenarse el molde con el metal fundido. Las portadas deben ser de tal medida que resistan la carga de la masa del noyo, la presión de la masa fundida sobre el semimolde superior y el noyo sin que éstos se deformen, como también tener una configuración tal, que excluya la posibilidad de desplazamiento del mismo.

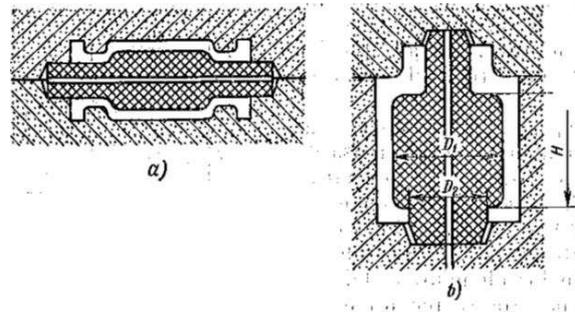


Figura 3. 9. Dimensiones para el cálculo de las portadas de los noyos.³⁸

En la práctica, las dimensiones de las portadas para noyos se determinan según normas estándares que se observan en la Tabla 3. 5.

³⁸ TITOV, N; “Tecnología del proceso de Fundición”; Moscú; 1984; pág. 166

Tabla 3. 5. Longitud de las portadas para machos horizontales.³⁹

DIMENSION $\frac{a+b}{2}$ o D en mm	LONGITUD DE LA PORTADA I (máxima) CUANDO LA LONGITUD DEL MACHO ES L										
	Hasta 50	51-150	151-300	301-500	501-750	751-1000	1001-1500	1501-2000	2001-2500	2501-3000	Más de 3000
Hasta 25	15/-	25/-	40/-	-	-	-	-	-	-	-	-
26-50	20/15	30/20	45/30	60/40	-	-	-	-	-	-	-
51-100	25/20	35/30	50/40	70/50	90/60	110/70	-	-	-	-	-
101-200	30/-	40/45	55/50	80/60	100/70	120/80	140/100	160/110	-	-	-
201-300	-	50/50	60/60	90/70	110/80	130/90	150/110	180/120	200/130	-140	-150
301-400	-	-	80/70	100/80	120/90	140/100	160/120	200/130	220/140	-150	-160
401-500	-	-	100/80	120/90	130/100	150/110	180/130	230/140	250/150	-160	-170
501-750	-	-	-	140/100	150/110	170/120	200/140	250/150	280/160	-170	-180

ADVERTENCIAS:
 1.- La longitud L es sin portadas.
 2.- a, b y D – ancho, altura y diámetro.
 3.- En machos simplemente apoyados la longitud de portada puede aumentarse hasta L.
 4.- La longitud de portada en machos de varios apoyos puede reducirse de 30-50%.

OBSERVACIONES:
 1.- a, b y D ancho, longitud y diámetro de la sección superior del cono de la portada.
 2.- En el numerador se indica la altura de la portada inferior y en el denominador la altura de la portada superior.
 3.- En producción en masa las alturas de las portadas puede ser iguales.
 4.- En caso de faltar la portada superior, la inferior puede ser incrementada en 50%

³⁹ NAVAS, E; "Métodos de Cálculo en Fundición"; Holguín; 1990; pág. 18

a) Noyo del quemador A:

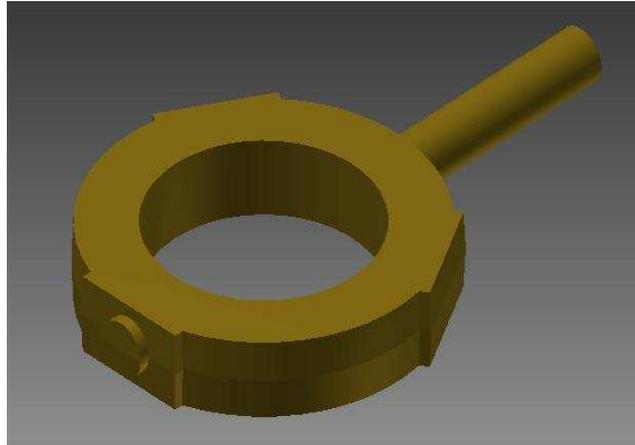


Figura 3. 10. Esquema del noyo del quemador A.

Teniendo en cuenta que la mayor parte del noyo tiene la sección de la parte superior, se tiene las medidas siguientes:

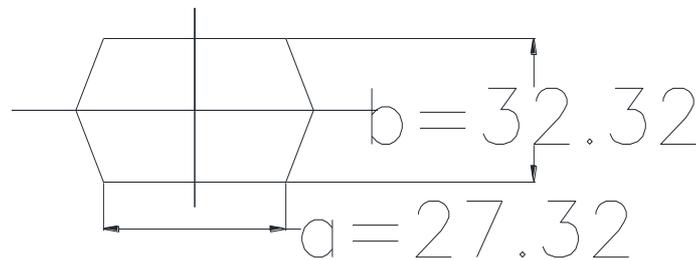


Figura 3. 11. Esquema de las medidas de la sección del noyo del quemador A.

Con las medidas mostradas en el esquema, se calcula el factor $(a+b)/2$ que se solicita en la Tabla 3. 5. Obteniéndose un factor $(a+b)/2 = 29,8$ mm y con una longitud del noyo $L = 265$ mm, tomando en cuenta el largo del mismo, se tiene que las longitudes de las portadas son:

- Portada Superior = 45mm.
- Portada Inferior = 30 mm.

Como el presente proyecto está destinado a ser producido en masa se considera que las portadas deben ser de la misma longitud. Por esta razón, se toma la dimensión de la portada inferior.

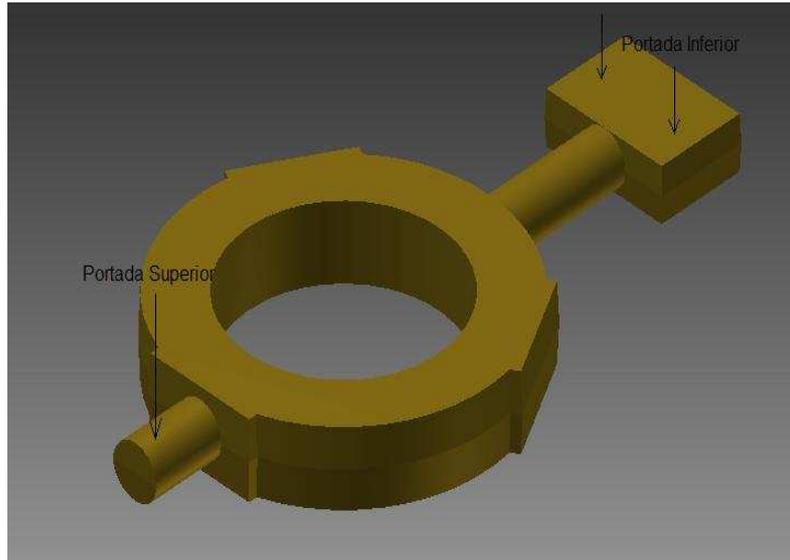


Figura 3. 12. Esquema de las portadas del noyo del quemador A.

b) Noyo del quemador B (cacerola):

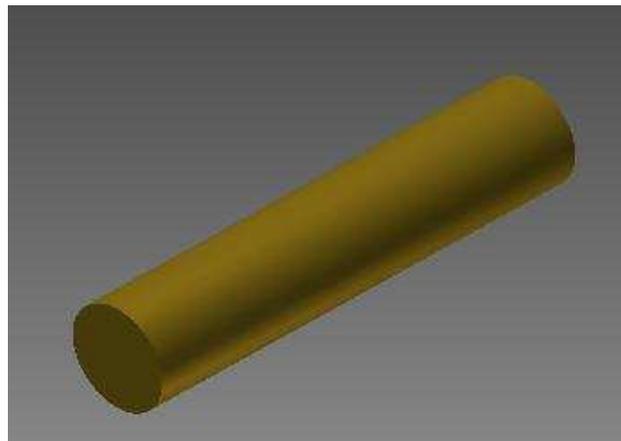


Figura 3. 13. Esquema del noyo del quemador B (cacerola).

En este caso como toda la sección del noyo es circular, se tiene:

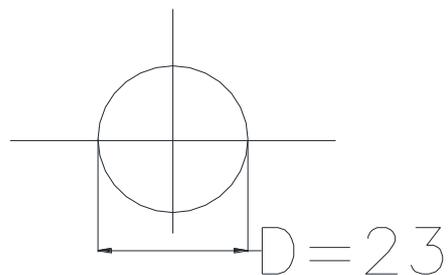


Figura 3. 14. Esquema de las medidas de la sección del noyo del quemador (cacerola).

Por lo tanto, el factor D es igual al diámetro del noyo y la longitud $L = 106\text{mm}$, tomando en cuenta el largo del mismo. Comparando estos datos con la Tabla 3. 5 se tiene que las longitudes de las portadas son:

- Portada Superior = 25mm
- Portada Inferior = 0 mm.

Al igual que el caso del noyo anterior, como las piezas están destinadas a ser producidas en masa, se consideran que las portadas deben ser de la misma longitud. Por esta razón, se toma la dimensión de la portada inferior.

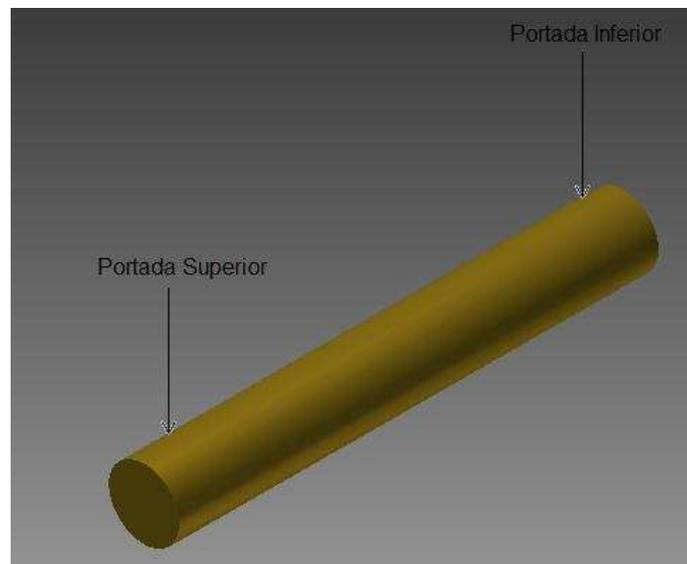


Figura 3. 15. Esquema de las portadas del noyo del quemador B (cacerola).

3.3.2. ARMADURAS DE LOS NOYOS

Para aumentar la resistencia mecánica de los noyos, en ellos se conforma una armadura-armazón, la cual se elabora de alambre de acero o de armazones de fundición. La armadura para los noyos debe responder a las siguientes exigencias: asegurar la suficiente resistencia y rigidez del noyo; no pandear y no despegarse de la mezcla para machos, para este propósito el alambre debe ser blando y recocado; no impedir la contracción de la moldura; no impedir el labrado

de canales de ventilación en los noyos; expulsarse con facilidad de la moldura al desmoldear el noyo.

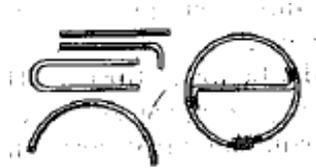


Figura 3. 16. Armaduras de los noyos a usarse en los quemadores.⁴⁰

3.3.3. LABRADO DE CANALES DE VENTILACIÓN EN LOS NOYOS

Durante la colada del molde los noyos se calientan con rapidez y desprenden una gran cantidad de gases, por lo cual deben tener canales de ventilación. Estos se labran en los noyos por diversos procedimientos: practicando canales de ventilación en los noyos con agujas o punzones; moldeando en los noyos varillas de acero o tubos que luego se extraen, mechas de cera (durante el secado del noyo la cera se derrite, los cordones se extraen).

En los noyos contruidos en dos mitades y posteriormente pegados, los canales de ventilación se practican por corte por el plano de separación en una de las dos mitades.

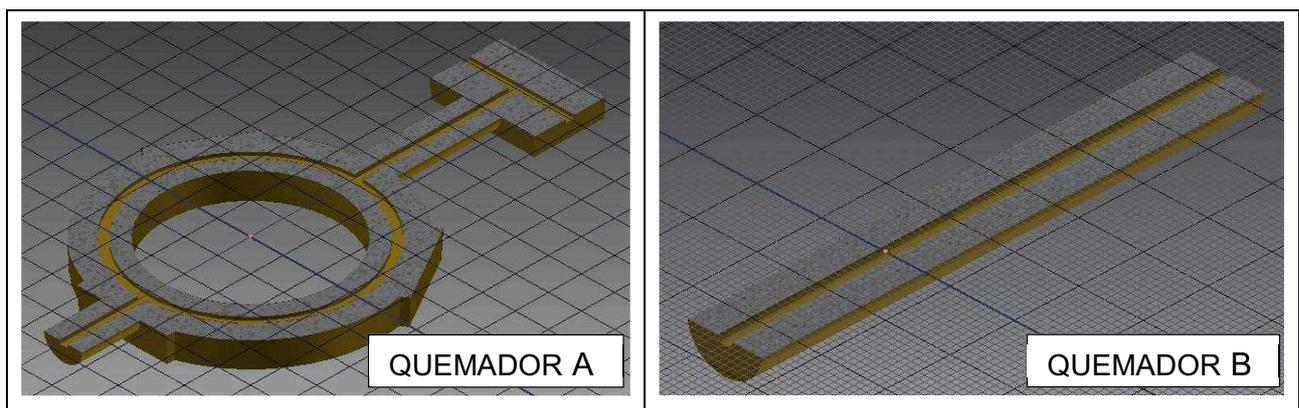


Figura 3. 17. Esquema de los canales de ventilación de los noyos de los 2 quemadores.

⁴⁰ TITOV, N; “Tecnología del proceso de Fundición”; Moscú; 1984; pág. 167

3.3.4. ESTRUCTURA DE LOS SOPORTES

En algunos casos, para una mayor estabilidad de los noyos en el molde durante la colada del metal, el noyo se monta sobre soportes, apoyos metálicos rígidos. La altura del soporte es igual al espesor del cuerpo de la moldura. La aleación para la elaboración de los soportes se elige en correspondencia con la aleación que se cola en el molde. Para molduras de fundición o acero los soportes se hacen de hojalata o de acero pobre en carbono.

En la Figura 3. 18 que se muestra a continuación se muestran algunos tipos de soportes que se utilizan para apoyar los noyos.

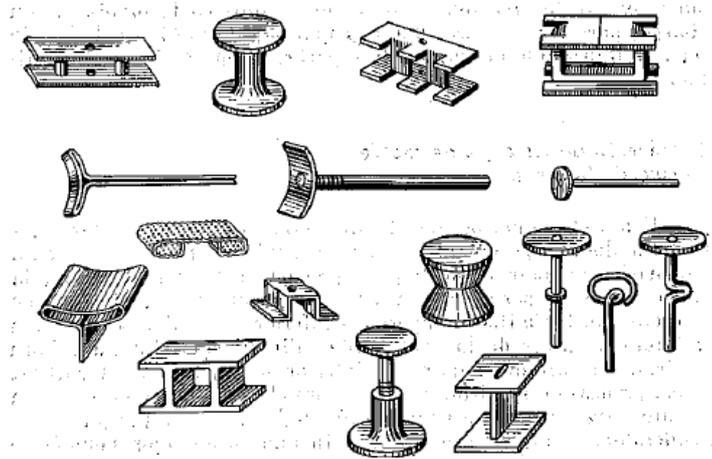


Figura 3. 18. Estructura de soportes.⁴¹

3.4. CÁLCULO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

Una de las condiciones más importantes para obtener piezas de calidad es la correcta estructura del sistema de alimentación. En la práctica de fundición los defectos por causa de un sistema de alimentación de baja calidad representan no menos de un 30%, además de esto, para obtener piezas fundidas buenas, se necesita consumir un exceso del metal en el sistema de alimentación.

⁴¹ TITOV, N; "Tecnología del proceso de Fundición"; Moscú; 1984; pág. 189

El sistema de alimentación es el responsable de conducir el metal líquido y a la cavidad del molde en el punto adecuado y a la velocidad conveniente para una correcta solidificación. La mayor complejidad en estos cálculos se debe precisamente a la esencia del proceso de fundición, es decir, al hecho de que el metal pierda el calor que almacena y solidifique dentro del molde.

El sistema de alimentación consta de 3 elementos principales que son el tragadero, el escoriador y los alimentadores.

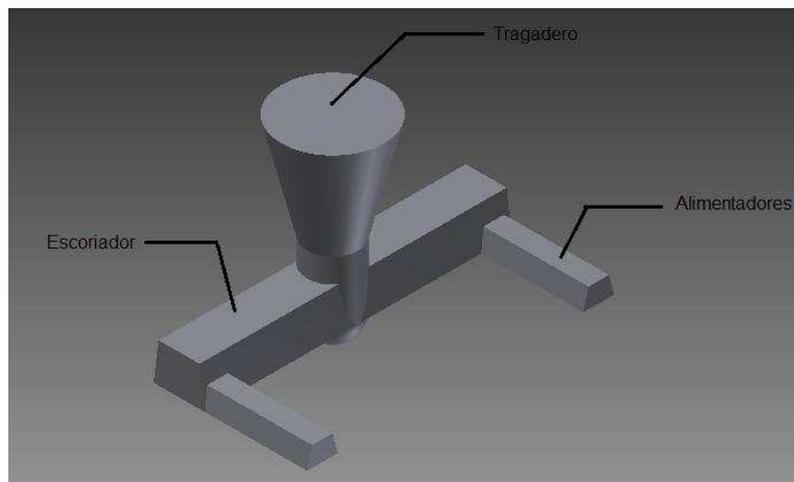


Figura 3. 19. Esquema típico de un sistema de alimentación.

En el caso de las piezas a obtener, el sistema de alimentación tiene el tragadero con un alimentador sin escoriador, debido a que las piezas son relativamente pequeñas.

3.4.1. MÉTODO DE CÁLCULO⁴²

Existen muchos métodos de cálculo del sistema de alimentación, en este caso para las tres piezas a obtener, se recomienda utilizar el método de Y. Dubinski y K. Soboleb.

⁴² NAVAS, E; "Métodos de Cálculo en Fundición"; Holguín; 1990; pág. 32-43

Se debe determinar la sumatoria de las áreas transversales de los alimentadores, en este caso sería una sola área debido a que son piezas pequeñas.

$$Fa = \frac{K \cdot G}{\mu \cdot \rho \cdot Tv \cdot \sqrt{Hm \cdot 2g}} \quad \text{Ecuación 3. 2.}$$

Dónde:

G es la masa de la pieza [kg].

K es el coeficiente que incluye pérdida en el sistema de alimentación y mazarota (Fundición gris K=1,21).

μ es el coeficiente que abarca la resistencia del sistema de alimentación al aso del metal.

ρ es la densidad del metal fundido [kg/cm^3] (Fundición gris $\rho=0.0069 \text{ kg}/\text{cm}^3$).

Hm es la presión metalostática media [cm].

Si se tiene que $\rho\sqrt{2g}$ es una magnitud constante; entonces se tiene que la fórmula para calcular el área del alimentador es:

$$Fa = \frac{K \cdot G}{\mu \cdot Tv \cdot 0,31 \cdot \sqrt{Hm}} \quad \text{Ecuación 3. 3.}$$

El valor de μ para aceros y fundiciones se obtiene de la Tabla 3. 6.

Tabla 3. 6. Valores de μ para acero y fundiciones.

CARÁCTER DEL MOLDE	VALOR					
	ACERO			FUNDICIÓN		
	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio	Bajo
Húmedo	0,25	0,32	0,42	0,35	0,42	0,50
Seco	0,30	0,38	0,50	0,41	0,48	0,60

En el caso de las piezas de los 2 quemadores, el valor que se toma es el valor medio de fundición con un molde seco, de esta manera se tiene que $\mu=0,48$.

La presión metalostática se determina por la siguiente fórmula:

$$Hm = Ho - \frac{P^2}{2.C} \quad \text{Ecuación 3. 4.}$$

Los valores de Ho , P y C se observan en la Figura 3. 20.

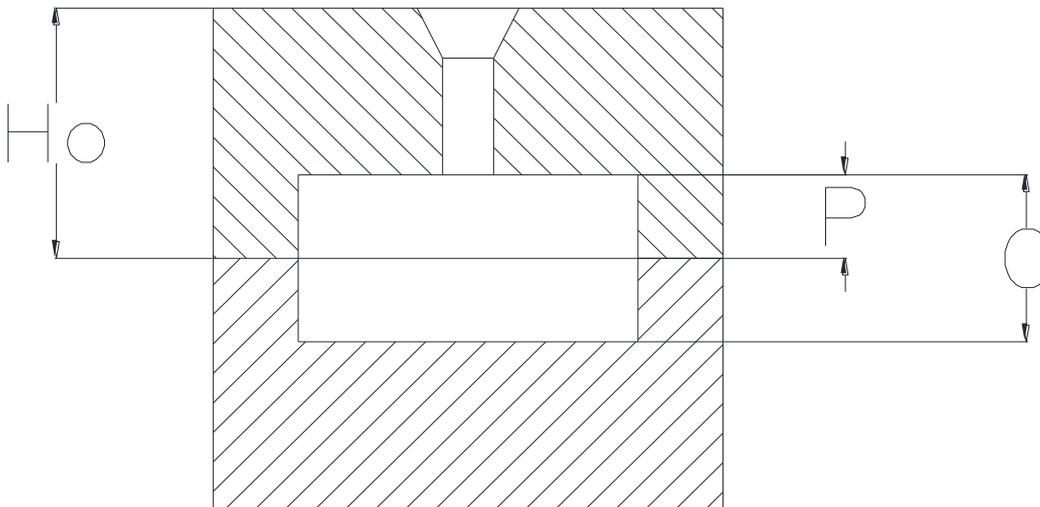


Figura 3. 20. Esquema para el cálculo de Hm .

Según el cálculo de la caja de moldeo se tiene que para las tres piezas a obtener $Ho=10\text{cm}$.

El tiempo de vertido se considera unos de los problemas más complejos, para su cálculo en piezas de fundición gris se puede usar la siguiente fórmula:

$$Tv = S\sqrt{G.K} \quad \text{Ecuación 3. 5.}$$

Dónde:

S es el coeficiente que se obtiene de la Tabla 3. 7.

G es la masa de la pieza [kg]

K es el coeficiente que estudia la pérdida de metal en el sistema de alimentación
 $K=1,21$.

Tabla 3. 7. Magnitud del coeficiente S para fundición gris.

ESPESOR MEDIO DE LA PARED mm	<10	10-20	20-40	>40
VALOR DEL COEFICIENTE S	1,0	1,3	1,5	1,7

En el caso de las piezas de los 2 quemadores, como los espesores son de 5mm se toma en cuenta el valor de S para espesores menores a 10mm, por lo tanto el valor del coeficiente que se considera es $S=1$.

Una vez calculado el T_v se debe tener en cuenta la velocidad de llenado del metal en el molde V (mm/seg). La práctica ha demostrado que el valor de V se debe acercar a una magnitud que se representa en la Tabla 3. 8, caso contrario pueden ocurrir defectos en la obtención de los quemadores, por lo tanto se debe adecuar el T_v al valor numérico de la Tabla 3. 8; esto se hace por medio de la fórmula:

$$V_v = \frac{C}{T_v} \quad \text{Ecuación 3. 6.}$$

Dónde:

C es la altura de la pieza (en dependencia de su posición en el molde).

Tabla 3. 8. Valor de la velocidad de llenado del metal en el molde.

ESPESOR MEDIO DE LAS PAREDES	<5	5-10	10-40	40-60	>60
MENOR VALOR DE VELOCIDAD (V) DE LLENADO PERMITIDO mm/seg	30	20	10	7	4

Para el desarrollo de los quemadores el valor de V no debe ser menor de 20mm/seg.

Una vez calculada el área del alimentador F_a , se debe usar la siguiente relación para el área del tragadero F_{tr} , que se recomienda para piezas pequeñas en un sistema de alimentación a presión.

$$F_a : F_{tr} = 1 : 1,1$$

Con estos valores se eligen las dimensiones de los alimentadores y tragadero de las siguientes tablas:

Tabla 3. 9. Canales de alimentación de sección trapezoidal.

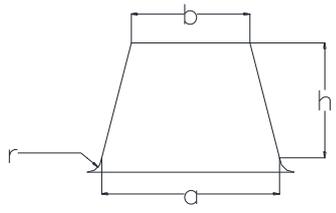
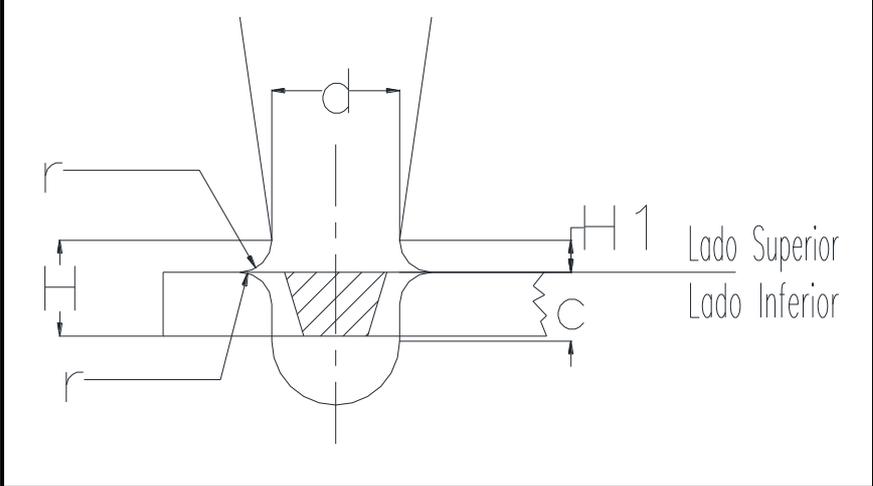
Área de la sección [cm ²]				
	a	b	h	r
1,0	15,0	12,0	7,5	5
1,5	18,0	15,5	9,0	5
2,0	22,0	18,0	11,0	5
2,5	24,0	20,0	12,0	5
3,0	26,0	22,0	13,0	5
3,5	28,0	23,0	14,0	5
4,0	30,0	24,0	15,0	5
4,5	31,0	28,0	15,5	5
5,0	33,0	28,0	16,5	5
5,5	35,0	29,0	17,5	5
6,0	36,0	31,0	18,0	5
6,5	37,0	32,0	18,5	5
7,0	38,0	33,0	19,0	5

Tabla 3. 10. Dimensiones del tragadero.



Sección mínima del tragadero cm ²	Diámetro del tragadero (mm)	DIMENSIONES (mm)				
		R	c	r	H	H1
7,06	30	17,5	10	6	40	10
9,62	35	20	10	6	40	10
19,63	50	29	10	10	60	15
23,75	55	32	15	10	60	15
28,27	60	35	15	15	70	20

3.4.2. CÁLCULO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA UN QUEMADOR

a) Quemador A

Antes de empezar los cálculos se debe tener la masa de la pieza, esto se lo obtiene considerando el volumen de la misma que la herramienta AUTODESK INVENTOR nos proporciona, de esta manera se tiene que el volumen del quemador A es 379,3 cm³

Se tiene que la densidad es:

$$\rho = \frac{G}{V}$$

Dónde:

ρ es la densidad del material a obtener, (fundición gris=0,0069 kg/cm³).

G es la masa de la pieza a obtener [kg]

$$V = 379,3 \text{ cm}^3$$

De esta manera se tiene que la masa del quemador A es:

$$G = \rho \cdot V = 0,0069 * 379.3$$

$$\mathbf{G = 2,62 \text{ kg}}$$

Después de haber calculado la masa del quemador y siguiendo el método descrito anteriormente se tiene primeramente que la presión metalostática es:

$$Hm = Ho - \frac{P^2}{2 \cdot C}$$

Dónde:

$$Ho = 100\text{mm}$$

$$P = 21,65\text{mm}$$

$$C = 43,3\text{mm}$$

Por lo tanto se tiene que:

$$Hm = 100 - \frac{21.65^2}{2 * 43.3}$$

$$\mathbf{Hm = 94,6 \text{ mm} = 9,46 \text{ cm}}$$

El tiempo de vertido se lo calcula de la siguiente manera:

$$Tv = S\sqrt{G.K}$$

Dónde:

$$S = 1$$

$$G = 2,62 \text{ kg}$$

$$K = 1,21$$

De esta manera se tiene que el tiempo de vertido es:

$$Tv = 1\sqrt{2,62 * 1,21}$$

$$**Tv = 1,78 \text{ seg}**$$

Por lo que se tiene que la velocidad de vertido es:

$$Vv = \frac{C}{Tv}$$

Dónde:

$$C = 43,3\text{mm}$$

$$Tv = 1,78 \text{ seg}$$

$$Vv = \frac{43,3}{1,78}$$

$$**Vv = 24,3 \text{ mm/seg}**$$

Este valor quiere decir que la velocidad de vertido es correcta, ya que anteriormente se dijo que la velocidad Vv no debe ser menor de 20 mm/seg.

Teniendo todos los valores necesarios se puede calcular Fa:

$$Fa = \frac{K.G}{\mu.Tv.0,31.\sqrt{Hm}}$$

Dónde:

$$K = 1,21$$

$$G = 2,62\text{kg}$$

$$\mu = 0,48$$

$$T_v = 1,78\text{seg}$$

$$H_m = 9,46\text{cm}$$

$$F_a = \frac{1,21 * 2,62}{0,48 * 1,78 * 0,31 * \sqrt{9,46}} = \frac{3,1702}{0,8146}$$

$$F_a = 3,9 \text{ cm}^2$$

Para obtener el área del tragadero se tiene la siguiente relación:

$$F_a : F_{tr} = 1 : 1,1$$

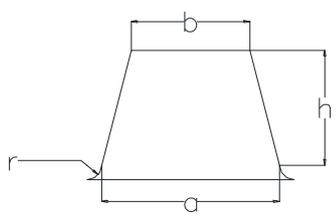
Por lo tanto se tiene que el área del tragadero es:

$$F_{tr} = 4,29 \text{ cm}^2$$

Teniendo tanto la sección del alimentador como el área del tragadero, se pueden obtener las medidas de ambas secciones de la siguiente manera:

$$F_a = 3,9 \text{ cm}^2 \approx 4 \text{ cm}^2$$

Tabla 3. 11. Dimensiones del canal de alimentación del quemador A.

Área de la sección [cm ²]	 <p>Cuando $h=0,5a$</p>			
	a	b	h	r
4,0	30,0	24,0	15,0	5

En el caso de la sección del tragadero, se escoge la de menor dimensión, como se indica en la Tabla 3. 12.

$$F_{tr} = 4,29 \text{ cm}^2$$

Se escoge la sección $F_{tr} = 7,06 \text{ cm}^2$

Tabla 3. 12. Dimensiones del tragadero del quemador A.

Sección mínima del tragadero cm^2	Diámetro del tragadero (mm)	DIMENSIONES (mm)				
		R	c	r	H	H1
7,06	30	17,5	10	6	40	10

3.4.3. CÁLCULO DE VALORES DE LOS TRES MODELOS

Siguiendo el método descrito anteriormente se han encontrado y tabulado los siguientes valores:

Tabla 3. 13. Dimensiones del sistema de alimentación a utilizar.

ρ hierro gris		6,9 g/cm ³		
μ		0,48		
S		1		
K		1,21		
		Quemador A	Quemador B (cacerola)	Quemador B (tapa)
G		2,62	1,79	1,39
Hm		9,46	7,89	10,0
Tv		1,78	1,47	1,30
Fa		3,9	3,53	2,75
Ftr		4,29	3,88	3,03
Alimentador	h	15	14	13
	a	30	28	26
	b	24	23	22
	r	5	5	5
Tragadero	d	30	30	30
	R	17,5	17,5	17,5
	c	10	10	10
	r	6	6	6
	H	40	40	40
	H1	10	10	10

3.5. CÁLCULO DE LA CAJA DE MOLDEO

Para diseñar la caja de moldeo, las dimensiones se determinan por las dimensiones de la pieza fundida, por la cantidad de piezas en una caja de moldeo, por su posición, por las dimensiones de las mazarotas y el sistema de alimentación, y por las dimensiones de las portadas de los noyos. Puede

plantearse que las dimensiones de la caja de moldeo se determinarán después de la elaboración de la tecnología de la pieza fundida.

Debe tenerse en cuenta también que la capa de mezcla entre la cavidad del molde y las paredes de la caja de moldeo tiene que asegurar la resistencia debida del molde para evitar su destrucción y deformación por la acción de las presiones estática y dinámica del metal vertido. Las dimensiones de la caja de moldeo no deben ser excesivas porque aumenta la laboriosidad d la producción del molde y el consumo de la mezcla de moldeo. Las distancias mínimas entre las diferentes partes de la cavidad del molde y las partes de la caja de moldeo se dan en la Tabla 3. 14.

Tabla 3. 14. Distancias permisibles entre piezas y elementos del molde. ⁴³

DISTANCIAS PERMISIBLES					
Distancias Pieza-Pieza y Pieza-Molde					
Tipo de Pieza	Dimensiones [mm]				
	a	b	B	S	d
Pequeñas	20-30	35-60	50-75	0,3 de la altura de la plantilla	0,5 de la altura de la plantilla
Medianas	50-75	75- 100	100- 125		

⁴³ GOYOS, L; “Tecnología de la Fundición II”; ISPJAE; pág. 61

Continúa Tabla 3. 14.

Grandes	125-175	150-200	175-200						
Distancias Pieza-Conductos de Alimentación									
Base del conducto (c) [mm]	Tipo de molde	Masa de la pieza							
		0-50	51-250	251-500	501-	0-50	51-250	251-500	501-
		K1 [mm]				K [mm]			
0-2	seco	30	35	-	-	30	35	-	-
	verde	50	60	-	-	30	35	-	-
26-50	seco	40	40	45	50	40	40	45	30
	verde	50	55	60	70	45	50	55	60
51-...	seco	50	50	55	60	50	50	55	60
	verde	60	65	70	80	60	60	65	70

Teniendo en cuenta las dimensiones de los modelos, así como también las dimensiones de los sistemas de alimentación, y siguiendo la tabla indicada anteriormente, sabiendo que son piezas pequeñas y que en cada caja se tiene un solo modelo, se concluye que las dimensiones de las cajas son:

a) Quemador A

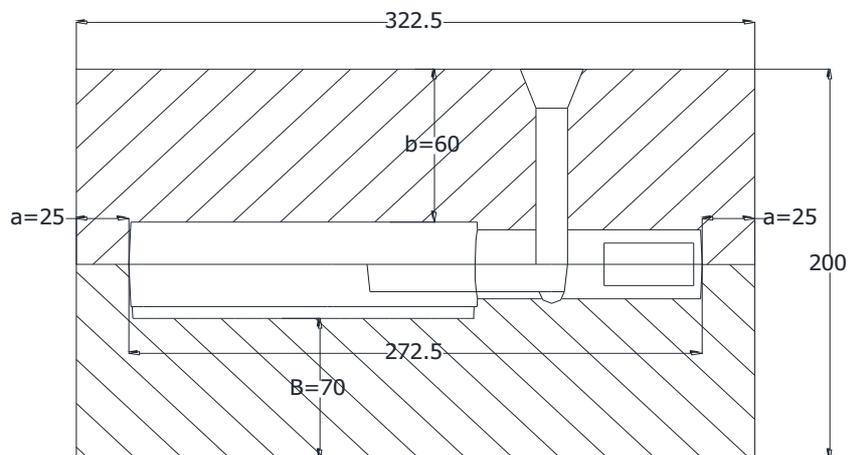


Figura 3. 21. Vista frontal del modelo del quemador A acoplado con la caja de moldeo.

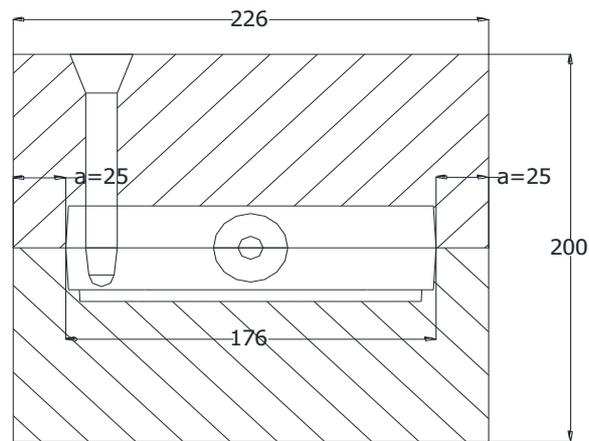


Figura 3. 22. Vista lateral del modelo del quemador A acoplado con la caja de moldeo.

Para no tener medidas con décimas de milímetros, se aproximan las mismas para que de esta manera las cajas no sean complicadas de construir, por esta razón las dimensiones de las cajas para este modelo serán de 325 x 225 x 200 [mm].

b) Quemador B (Cacerola)

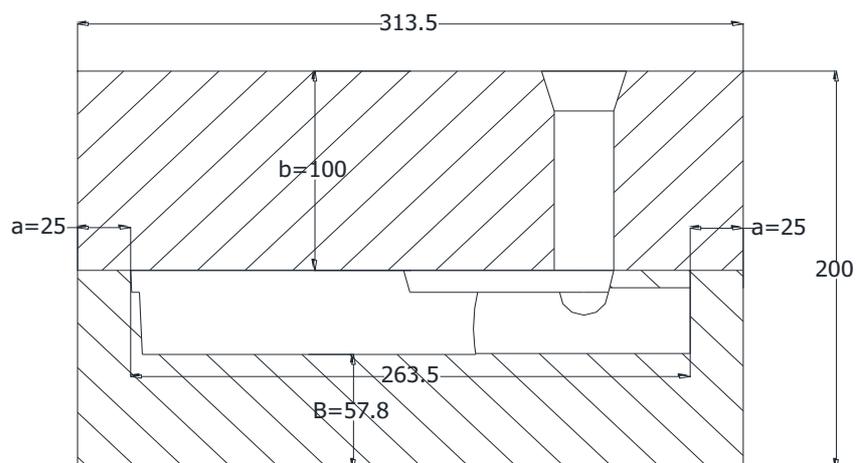


Figura 3. 23. Vista frontal del modelo del quemador B (cacerola) acoplado con la caja de moldeo.

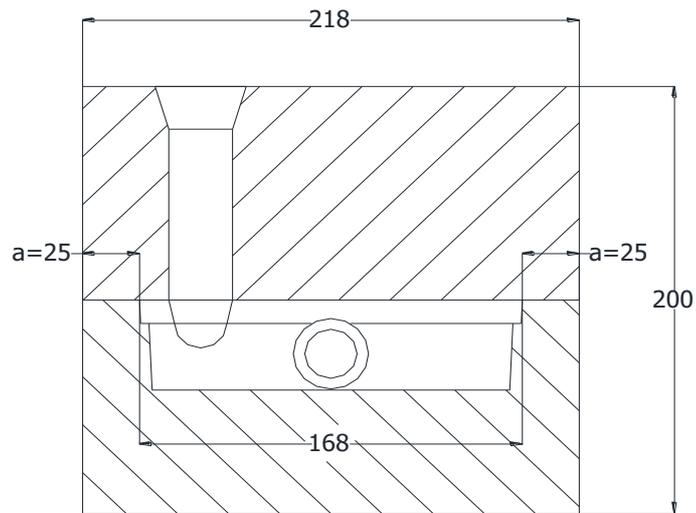


Figura 3. 24. Vista lateral del modelo del quemador B (cacerola) acoplado con la caja de moldeo.

Las dimensiones de las cajas para este modelo serán de 315 x 220 x 200 [mm].

c) Quemador B (Tapa)

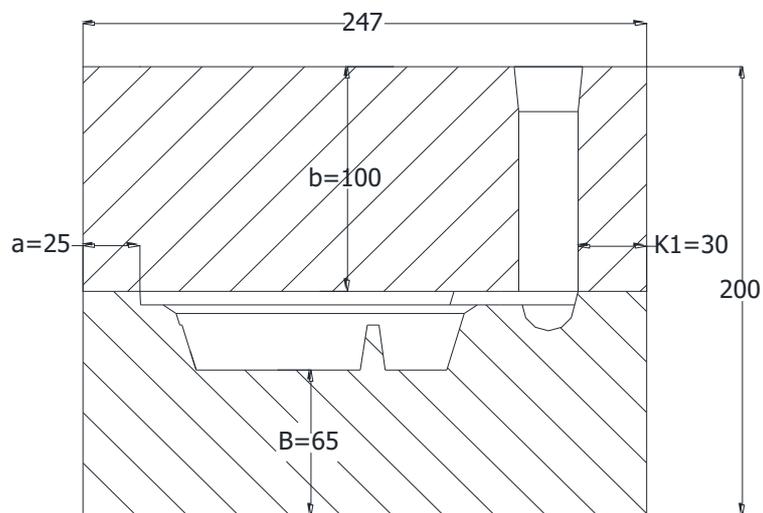


Figura 3. 25. Vista frontal del modelo del quemador B (tapa) acoplado con la caja de moldeo.

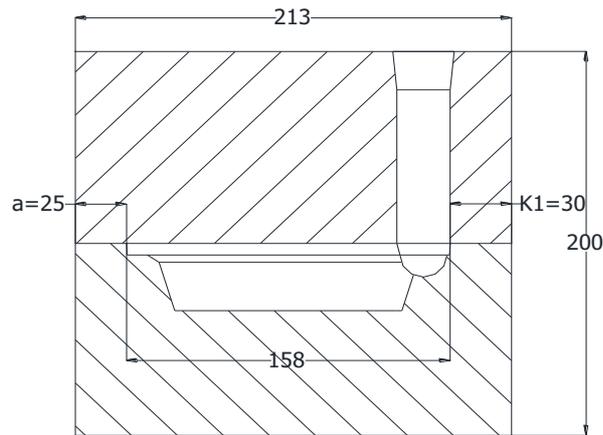


Figura 3. 26. Vista lateral del modelo del quemador B (tapa) acoplado con la caja de moldeo.

Las dimensiones de las cajas para este modelo serán de 250 x 210 x 200 [mm].

Como se puede observar en la dimensión b del acople entre los modelos y las cajas de moldeo, tiene un valor mayor del que recomienda la Tabla 3. 14, esto primeramente se hace para que la fabricación de la caja de moldeo sea más sencilla y segundo para garantizar un mayor peso de la caja superior para que la misma no se levante por la presión metalostática.

CAPÍTULO 4

PRODUCCIÓN DE LOS QUEMADORES

En este capítulo se presenta el proceso completo de fabricación de los quemadores seleccionados a partir del conocimiento de las mezclas de moldeo convenientes para las cajas y para los noyos. Se construyen las placas modelo, las cajas de noyos y las cajas desmontables que alojaran a cada molde. A continuación, se describe brevemente la obtención de la colada así como el proceso de colado hasta obtener las piezas fundidas. Finalmente se elaboran instructivos tecnológicos que hacen a este proceso reproducible siguiendo una secuencia determinada.

4.1. OBTENCIÓN DE LA MEZCLA DE MOLDEO PARA LA CAJA

La arena de moldeo está compuesta básicamente de sílice (base refractaria), y aglutinante, además de impurezas inevitables, tales como óxido de hierro, cal, etc. Pueden también utilizarse diferentes aditivos para mejorar las propiedades de la mezcla dependiendo de su aplicación.

4.1.1. BASE REFRACTARIA⁴⁴

Es una composición de silicio y oxígeno, llamada sílice o cuarzo, y está formada por granos de diferentes tamaños, representa la parte preponderante de la arena de moldeo. Del tamaño de sus granos depende la distinción de las arenas entre arenas de granos finos, granos medianos y granos gruesos. La uniformidad de los granos de la arena es de mucha importancia para la permeabilidad de la misma; la arena uniforme resulta siempre porosa, mientras que mezclando arenas de granos gruesos y finos la permeabilidad disminuye, pues los granos finos rellenan

⁴⁴ OVIEDO F; “Tecnología de Fundición”; EPN; 2012.

los agujeros que dejan entre sí los granos gruesos. La sílice resiste a temperaturas de hasta 1400 °C y se funde a unos 1600° C.

El contenido necesario de sílice en la arena de moldeo depende de la característica de la pieza a fundir; cuanto más gruesas las paredes de las piezas, tanto más elevado debe ser el contenido de sílice en la arena. La proporción normal de sílice en las arenas de moldeo, es de un 90 a 94 por ciento.

A pesar de que las mezclas de moldeo, principalmente de arena silícica con aglomerante o aglutinante, son muy antiguas, su utilización sigue siendo fundamental en el proceso de producción de piezas fundidas. Cerca del 80% de piezas son producidas en moldes de arena, en el país sobrepasa el 95% de piezas producidas. Los cambios que se han dado en la utilización de este método son muy significativos y tienen que ver con el conocimiento de las partes que constituyen la mezcla de moldeo, sus propiedades y los diferentes tipos de mezclas existentes. El dominio de estos aspectos permite obtener piezas de excelente calidad que justifican plenamente su uso. La composición de las mezclas de arenas y mezclas para machos es diversa y depende del tipo de aleación, masa, espesor y configuración de la moldura, las exigencias planteadas y el sistema de producción.



Figura 4. 1. Arena sílice

4.1.1.1. Propiedades de la arena base

Las propiedades que en este caso se deben considerar son:

- Refractariedad.
- Tamaño de grano.

4.1.1.1.1. Refractariedad

La refractariedad es la propiedad de soportar altas temperaturas sin mostrar índice de fusión (reblandecimiento) o de descomposición. La refractariedad está íntimamente ligada con la composición química, de manera que una arena que contenga un 99,8% de SiO₂ o más es considerada altamente estable y altamente refractaria. La presencia de pequeñas cantidades de óxido de hierro, de aluminio, de calcio o de magnesio es causa fundamental que la temperatura de fusión de la arena disminuya y por lo tanto ser causa de una menor refractariedad en la arena.

Tabla 4. 1. Temperatura de fusión según porcentaje de sílice

SiO ₂ (%)	T.Fusión(°C)
100	1750
99	1650
90	1350

4.1.1.1.2. Tamaño del grano de arena

Este parámetro es sumamente importante ya que las principales propiedades de la mezcla de moldeo están influenciadas por el tamaño de grano de la arena. Más aún, las propiedades de las piezas moldeadas dependen del tamaño de grano y de la uniformidad en la con la que los granos de arena están distribuidos. Por definición la arena tiene granos de tamaño variable entre 0,05mm a 2mm.

Una clasificación muy conocida es la siguiente:

Tabla 4. 2. Clasificación de los tamaños de grano.

Arena	Índice AFS (i)	Tamaño de granos (mm)
Muy gruesa	18	1-2
Gruesa	18-35	0,5-1
Media	35-60	0,25-0.5
Fina	60-150	0,10-0,25
Muy Fina	150	0,05-0,10

El procedimiento que universalmente es aplicado es el método A.F.S. Muchos países han elaborado sus propias normas pero las diferencias establecidas con respecto al método AFS son insignificantes.

4.1.2. AGLUTINANTE

Son materiales que sirven para unir los granos de arena, dando a la mezcla de moldeo formada inmediata resistencia, conservando esa resistencia en "verde" y en "seco".

Uno de los principales elementos aglutinantes es la arcilla o bentonita, cuya composición es $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O$. Está contenida en las arenas naturales y es la sustancia aglutinante, al mojarla obra como material de unión de los granos de sílice.



Figura 4. 2. Bentonita.

En consecuencia, si la cantidad de bentonita es pequeña en la arena de moldeo, los moldes no tienen una resistencia suficiente y se desmoronan; por otra parte, si la cantidad es demasiado elevada, disminuye la permeabilidad de la arena.

Al humedecerse, la bentonita se vuelve plástica, dando a los granos de arena una elevada fuerza adhesiva. Por otra parte, al perder humedad ésta se vuelve dura y rígida, desapareciendo completamente su plasticidad.

Puesto que las arcillas contenidas en las arenas naturales de moldeo tienen puntos de fusión que oscilan entre 1250 y 1400° C, vale decir, que se funden a temperaturas más bajas que el cuarzo, son en realidad las arcillas las que

determinan el grado de refractariedad (resistencia a altas temperaturas) de las arenas de moldeo.

4.1.3. IMPUREZAS

Se encuentra en todas las arenas y determina el color de las mismas. Es perjudicial en proporciones mayores y aumenta el peligro de que los moldes se vitrifiquen.

Si el contenido del sesquióxido de hierro (Fe_2O_3) sobrepasa el 6 %, debe tratarse la arena con ácido clorhídrico para poder utilizarla. En caso contrario se corre el riesgo de obtener piezas de fundición defectuosas.

El contenido máximo de sesquióxido de hierro admitido en la arena es normalmente del 4 por ciento.

- Cal: Es una composición de oxígeno y de calcio (óxido de calcio CaO). Es también un fundente y es considerado como impureza de las arenas. Una arena de buena calidad no debe contener más del 2,5 % de cal.
- Magnesio, álcali, potasa, etc: Obrar como fundentes y reducen, por lo tanto, la propiedad refractaria de la arena. El contenido debe ser lo más reducido posible; el límite máximo para magnesio es de 2,5 %, y para álcali de 0,75 % a 1 por ciento.

4.1.4. ADITIVOS

Es toda sustancia que se añade a la mezcla de moldeo diferente de la arcilla y que tiene como función proporcionarle propiedades a la mezcla. Para su estudio se dividen según la función que realizan.

4.1.4.1. Aditivos que incrementan la elasticidad de las mezclas de moldeo

La elasticidad es la medida en cuanto la mezcla puede deformarse sin romperse. Para el desmoldeo la mezcla debe deformarse lo suficiente como para permitir su extracción sin dañar el molde, para lograr esto se usan los aditivos del tipo cereal.

Uno de los más usados es la dextrina (se obtiene de almidón).

4.1.4.2. Aditivos que mejoran el acabado superficial y reducen la penetración metálica

Harina de silicio o Marahalita, este aditivo por ser altamente disperso rellena los espacios intergranulares; se recomienda para moldes secos pues en verde disminuye la permeabilidad.

Carbón mineral, se usa para fundiciones y no para aceros, Con la presencia de calor el carbón se funde humedeciendo la capa de arcilla que recubre el grano mejorando el acabado superficial de las piezas pues evita la penetración.

4.1.4.3. Aditivos que reducen los defectos superficiales en el molde

Estos defectos se producen por exceso de apisonado que provoca alta densidad en el molde y poca capacidad de expansión.

Estos aditivos, permiten obtener moldes densos y cuando están en presencia de calor producido por el metal líquido, se funden, volatilizan o cambian de forma y permiten que los granos de sílice puedan expandirse.

Ejemplos:

- Dextrina
- Harina de madera, harina de mazorca de maíz.

4.1.4.4. Aditivos que incrementan la tolerancia de humedad

Pueden existir mezclas con el mismo valor de resistencia a la compresión en verde, con diferentes contenidos de humedad.

“La tolerancia de humedad” es la capacidad de una mezcla de soportar mayor cantidad de humedad sin variar sus propiedades de resistencia mecánica.

Estos aditivos tienen la función de absorber el exceso de humedad con lo cual evitan lo haga la arcilla.

Entre estos tenemos:

- Harina de madera.
- Harina de mazorca de maíz.
- Cáscara de arroz.
- Cáscara de maní.

4.1.5. ANÁLISIS FINAL

Resulta entonces que dependiendo del tipo de pieza y del metal a colar se deben sacrificar ciertas propiedades en beneficio de otras propiedades de las mezclas de moldeo.

Tabla 4. 3. Propiedades de la arena en función del metal a fundir.

Material	Arcilla [%]	Índice AFS	Tamaño de Grano [mm]	Arena
Aluminio	12 – 18	160 – 225	0,05-0,10	Muy Fina
Bronce	12 – 14	140 – 150	0,10-0,25	Fina
Hierro gris medio	4 – 10	55 – 75	0,25-0.5	Media
Hierro gris resistente	8 – 13	50 – 61	0,25-0.5	Media
Hierro maleable	8 – 13	70 – 85	0,10-0,25	Fina
Acero ligero	4 – 10	45 – 55	0,25-0.5	Media
Acero resistente	4 - 10	38 - 62	0,25-0.5	Media

Es así que para cada tipo de pieza, sobre todo cuando de producción en serie se trata, es preferible evaluar correctamente la mezcla de moldeo a utilizar. Debido a que el material con el cual se van a obtener los quemadores es un hierro gris medio, las propiedades que debe tener la mezcla de moldeo son las siguientes:

Tabla 4. 4. Propiedades de la arena para la producción de los quemadores.

Material	Arcilla [%]	Índice AFS	Tamaño de Grano [mm]	Arena	Aditivos
Hierro gris medio	4 – 10	55 – 75	0,25-0.5	Media	Ninguno

4.2. OBTENCION DE LA MEZCLA DE MOLDEO PARA NOYOS

Los detalles interiores de una pieza se consiguen mediante el empleo de noyos, que se colocan en portadas o se fijan en el mismo molde como se indicó anteriormente. La fabricación de los noyos constituye una de las operaciones más delicadas del arte de moldear, porque casi siempre tienen una importancia decisiva para la obtención de piezas sin defectos. Por lo tanto, es necesario que los noyos cumplan con las siguientes características⁴⁵:

- De fácil preparación, simples y capaces de reducir las posibilidades de formación de rebabas.
- De material refractario, es decir, que resista la temperatura del metal líquido sin vitrificarse, fundirse ni metalizarse (en otras palabras no se deje penetrar por el metal).
- De suficiente resistencia mecánica, para que no se deformen ni se rompan a causa de la presión o el empuje metalostático.
- Provistos de portadas que garanticen la salida de los gases y a la vez soporten el esfuerzo que recae sobre el noyo por su propio peso y por la presión metalostática.

⁴⁵ CAPELLO, E; “Tecnología de la Fundición”; G. Gili; 1971; pág. 78.

- Muy permeables.
- Algo elásticos, a fin de que no obstaculicen la contracción de los metales durante la solidificación.
- Fáciles de extraer, es decir que tengan una buena colapsibilidad, capaces de desmenuzarse fácilmente por efecto del empleo de un medio de sacudimiento o del martillo neumático, después de la solidificación del metal líquido, al objeto de que puedan extraerse de la cavidad correspondiente de modo rápido y completo.

4.2.1. PROCESOS DE FABRICACIÓN DE LOS NOYOS⁴⁶

Los procesos de fabricación de noyos se pueden clasificar desde diversos puntos de vista, según su ejecución (a mano o máquina), según la temperatura de elaboración (ambiente o diferente de ella), según la serie y precisión dimensional (cajas de noyos metálicas, de madera o plásticas), según la arena y/o el aglomerante utilizado, que caracterizan los diferentes procesos para la fabricación de noyos. Los de mayor empleo y la tendencia actual, siguiendo procesos ya puestos a punto en los países industrializados son:

- Noyos al aceite
- Noyos al Silicato - CO₂
- Noyos cáscara
- Noyos a la resina (diversos tipos)
- Noyos al Silicato - CO₂ – cemento

4.2.1.1. Noyos al aceite

Aunque la tendencia actual es dejar de emplear este proceso por los costos frente al empleo de estufa y plantillas de curado; en el país todavía es de empleo corriente por la facilidad técnica de ejecución de las mezclas de arenas y los noyos en sí. El proceso es relativamente sencillo si se compara con los procesos

⁴⁶ http://www.bdigital.unal.edu.co/626/4/120_-_3_Capi_2.pdf

modernos. De todas formas puede llegar a competir con la fabricación de noyos de una serie media siempre y cuando los noyos sean relativamente pequeños. En este caso se emplea el molino convencional de rulos para la preparación de la arena, se utilizan cajas de madera y la ejecución del noyo se hace a la mano.

El proceso consiste en elaborar una mezcla de arena con aceite, con la cual se hacen los noyos que son desmoldados y apoyándolos en plantillas o soportes se llevan a una estufa donde se les hace el curado o endurecido.

4.2.1.2. Noyos al Silicato – CO₂

Utilizando el Silicato de Sodio como aglomerante se han estudiado diferentes procesos para elaborar noyos, variando el agente endurecedor o catalizador. Entre estas variantes encontramos los procesos : Silicato de Sodio - Silicio, Silicato de Sodio - escoria de alto horno, Silicato de Sodio - éster y para concluir, Silicato de Sodio - CO₂ del que nos ocupamos en este trabajo por ser el que se utiliza con más amplitud.

El proceso consiste en preparar una mezcla de arena con Silicato de Sodio, con la que se elabora el noyo y al que se le hace pasar una corriente de bióxido de carbono (CO₂), directamente en la caja de noyos; produciéndose como efecto un endurecimiento más o menos elevado de acuerdo con la variación de los diferentes factores o parámetros que intervienen en el endurecido.

Posiblemente debido al bajo costo del Silicato, éste no se selecciona cuidadosamente con el fin de aprovechar al máximo sus ventajas. Es corriente el sobre gaseado de los noyos, lo que implica malas propiedades y desperdicio del CO₂.

4.2.1.3. Noyos cáscara

En rasgos generales, el proceso de fabricación de noyos por este sistema, consiste en preparar una mezcla de arena que es proyectada o soplada dentro de un utillaje metálico (molde), el que efectúa un pre-curado aproximadamente a 280°C para terminar el proceso de curado con un calentamiento a 350°C durante 1 ó 2 minutos. El noyo así obtenido es una cascara muy dura y resistente.

Este proceso que se presenta altamente rentable para grandes series, conlleva altos gastos de implantación y mayores cuidados técnicos, si se le compara con los procesos descritos anteriormente. Además, se deben tomar precauciones para evitar quemaduras del operario, reacciones cutáneas y olores desagradables.

4.2.1.4. Noyos a la resina

El empleo de resinas ha permitido la elaboración de moldes y noyos de acuerdo a las necesidades que se presentaban con respecto a la cantidad y tamaño de los noyos a fabricar frente a las propiedades deseadas, la producción diaria u horaria requerida y a los costos.

En general estos procesos son clasificados según su endurecimiento en frío o en caliente, dependiendo de la necesidad de calentar o no la caja de noyos. El curado en la caja caliente se debe a la acción del calor, mientras que el endurecimiento en el proceso auto-fraguado se hace por acción de un catalizador o endurecedor y de allí que el primero se realice a temperaturas vecinas a 200°C mientras que el segundo se haga a temperaturas muy próximas a la ambiental.

El endurecimiento en el proceso de auto-fraguado se realiza mediante la acción de un catalizador o acelerador sobre una resina furánica o fenólico - furánica, que genera una reacción de policondensación. Dicha reacción es exotérmica, produciéndose un aumento de aproximadamente 10°C en la mezcla.

En la selección de la resina y el catalizador se presentan varias dificultades, pues el fabricante se reserva su composición. La arena a emplear debe ser una arena silícea lavada, sin finos, seca y por lo menos estar a temperatura ambiente. También se pueden emplear el zirconio o la cromita, pero no la olivina. El tamaño del granó debe corresponder a índices de finura comprendidos entre 40 y 100, de granos homogéneos y de preferencia redondos.

Noyos al Silicato – CO₂ - cemento⁴⁷

Las mezclas autofraguantes, son sin lugar a dudas, las de más amplio uso en la producción de moldes y noyos. El empleo de las mezclas autofraguantes con silicato de sodio, resulta de interés particular, siempre y cuando se resuelvan los problemas más importantes asociados con los métodos de endurecimiento conocidos.

En el caso del proceso silicato-CO₂, se presenta como principal inconveniente (al igual que en el cemento, aunque en diferentes medidas) la mala desmoldeabilidad, pero en particular se destaca adversamente el bajo aprovechamiento del CO₂ durante el proceso de soplado al molde, el cual se estima en el orden de solo el 20%. Sin embargo presenta ventajas como: la rapidez del proceso de obtención de noyos y moldes, el buen acabado superficial y la exactitud en las dimensiones que se obtiene en las piezas, la gran vida de banco de las mezclas, así como la facilidad de introducción en un taller y los bajos costos asociados al proceso de producción.

El mecanismo de endurecimiento para una mezcla con silicato de sodio endurecida con CO₂, se basa en la formación de un gel de ácido silícico, que une fuertemente los granos de arena entre sí y en cuyos retículos queda retenida parte del agua que tiene el silicato de sodio originalmente.

El cemento Pórtland es un compuesto formado por el silicato tricálcico, el silicato dicalcico, el aluminato tricálcico y el aluminio ferrito tetracálcico. La composición química del silicato de calcio hidratado es en cierto modo variable, pero contiene cal (CaO) y sílice (SiO₂), en una proporción sobre el orden de 3 a 2. En la pasta de cemento ya endurecida, estas partículas forman uniones enlazadas entre las otras fases cristalinas y los granos sobrantes de cemento sin hidratar; también se adhieren a los granos de arena y a piezas de agregado grueso, cementando todo el conjunto. La formación de esta estructura es la acción cementante de la pasta y es responsable del fraguado, del

⁴⁷ MERINO, S; “Tecnología de Fundición ”; Tomo I; Habana; pág. 35

endurecimiento y del desarrollo de resistencia. La resistencia que se alcanza en las mezclas es gracias a la formación del hidrato de silicato de calcio que se forma.

Se emplea como desarenante azúcar descartado, lográndose desmoldeabilidades muy bajas de acuerdo a las reportadas para mezclas silicato-CO₂

4.2.2. ANÁLISIS FINAL

Para la producción de los quemadores se necesita de una mezcla de noyo que tenga alta colpasibilidad, para que el mismo no de complicaciones al momento de ser extraído de la pieza terminada, por otro lado como se proyecta a una producción en serie, se debe buscar una mezcla que fragüe rápidamente y de esta manera poder utilizar una sola caja de noyos para reproducirlos en serie.

Por otro lado el proceso óptimo que se encuentra acorde con la producción de los noyos es el de Noyos al Silicato – CO₂ – cemento, debido a que esta mezcla utiliza un desarenante, que permite que los noyos se colapsen fácilmente.

4.3. CONTRUCCIÓN DE LAS PLACAS MODELO

Las placas modelos facilitan y agilitan el moldeo permitiendo la producción en serie. Estas se fabrican en base a los planos del ANEXO 2 y considerando los sistemas de alimentación calculados en el apartado 3.4. De acuerdo a estas consideraciones se tendrán tres placas modelo fabricadas en madera de pino con acabado superficial de laca. La madera presenta especial aptitud para sobrepasar su límite de elasticidad por flexión sin que se produzca rotura inmediata lo que facilita el labrado de los modelos en la misma, además su alta resistencia a impactos y a tensiones repetidas la hace óptima para resistir la presión del apisonamiento en espesores recomendados en la práctica de 2 a 4 cm.

4.3.1. PLACA MODELO PARA EL QUEMADOR A



Figura 4. 3. Parte inferior del quemador A.



Figura 4. 4. Parte superior del quemador A.

4.3.2. PLACAS MODELO PARA EL QUEMADOR B

4.3.2.1. Cacerola

Esta placa, requiere además de una portada que aloja un noyo exterior para poder obtener el modelo con los planos divisorios que se determinaron en el literal 3.2.1.



Figura 4. 5. Parte inferior del quemador B (cacerola).



Figura 4. 6. Parte superior del quemador B (cacerola)

4.3.2.2. Tapa



Figura 4. 7. Parte inferior del quemador B (tapa).



Figura 4. 8. Parte superior del quemador B (tapa).

4.4. CONSTRUCCIÓN DE NOYOS

La geometría de los quemadores a fabricarse hace necesario la utilización de noyos cuyo diseño se detalla en el numeral 3.3. En primer lugar se fabrican las cajas que permiten obtener la forma del noyo con la densidad adecuada de mezcla dada por el apisonamiento. Se elaboran posteriormente las armaduras para mejorar la resistencia del noyo y finalmente los soportes para su montaje en el molde.

4.4.1. CAJAS DE NOYOS

Las cajas de noyos se construyen de igual manera en madera, debido su facilidad de labrado y resistencia al apisonamiento.

4.4.1.1. Caja de noyos para el quemador A



Figura 4. 9. Caja de noyos para el quemador A.

4.4.1.2. Caja de noyos para el quemador B (cacerola)

La cacerola del quemador B requiere de dos tipos de noyos, uno para el detalle interno, el cual se calcula, y otro para obtener la superficie exterior que cubre al mismo el cual se convierte en parte del molde al momento del montaje.



Figura 4. 10. Caja de noyos para el detalle interno de la cacerola del quemador B.



Figura 4. 11. Caja de noyos para la superficie externa de la cacerola del quemador B.

4.4.2. ARMADURAS Y SOPORTES

4.4.2.1. Noyo del quemador A

Los cambios de sección en el noyo del quemador A hacen que este requiera de armaduras que se realizan en alambre de acero, su forma debe facilitar la extracción de las mismas.



Figura 4. 12. Armaduras para el noyo del quemador A.

La distribución de masa del noyo no es uniforme, por lo que es necesaria la elaboración de estructuras inferiores que soporten su peso y de superiores que eviten que éste se tambalee en el molde. Los soportes se fabrican en acero de bajo carbono procedentes de vinchas de carpetas.

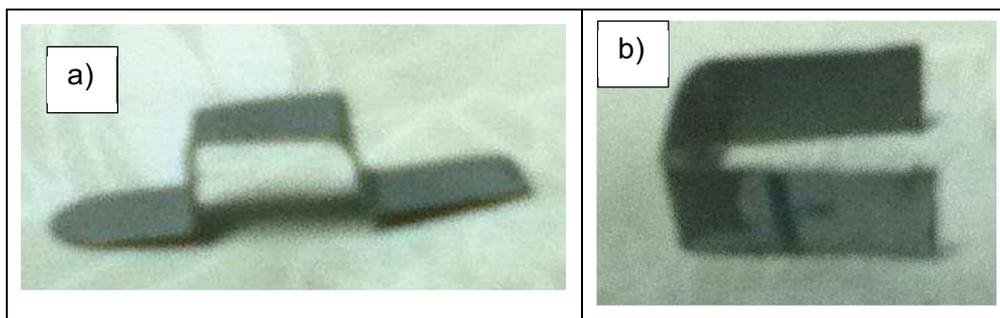


Figura 4. 13. Soportes del noyo del quemador A a) Soporte inferior b) Soporte superior

4.4.3. PROCEDIMIENTO

- a) Se estima la cantidad de arena necesaria para llenar las cajas de noyos.



Figura 4. 14. Estimación de la cantidad de arena para la mezcla de moldeo de noyos.

- b) Se prepara la mezcla de moldeo siguiendo las recomendaciones del literal 4.2 y se mantienen un mezclado uniforme durante 10 minutos.



Figura 4. 15. Preparación de la mezcla.

- c) Se procede a moldear las cajas:

Tabla 4. 5. Proceso de llenado de las cajas de noyos.

Noyo del quemador A	Noyo interno de la cacerola del quemador B	Noyo externo de la cacerola del quemador B
<p>Se moldea cada una de las partes de la caja por separado hasta la mitad de su capacidad.</p> 	<p>Usando cinta adhesiva, se unen las partes de la caja del noyo.</p> 	<p>Se llena de mezcla la caja.</p> 
<p>Se colocan las armaduras en las posiciones correspondientes.</p> 	<p>Se llena de mezcla la caja y se apisona.</p> 	<p>Se apisona suavemente hasta compactar la mezcla en la caja.</p> 
<p>Se termina de llenar la caja con la mezcla ejerciendo suaves golpes de apisonado.</p> 		

- d) Se el exceso de mezcla de las superficies y se realizan los canales de ventilación para los noyos interiores del quemador A y de la cacerola del quemador B.



Figura 4. 16. Canales de ventilación.

- e) Finalmente, se deja curar un tiempo prudencial de acuerdo a la composición química de la mezcla.
- f) El noyo del quemador A, debido a que esta moldeado en partes, requiere ser pegado luego de que la mezcla fragüe.



Figura 4. 17. Ensamble del noyo del quemador A.



Figura 4. 18. Noyo del quemador A terminado.



Figura 4. 19. Noyo interno de la cacerola del quemador B terminado.



Figura 4. 20. Noyo externo de la cacerola del quemador B terminado.

4.5. CONSTRUCCIÓN DE LA CAJA DESMONTABLE

Para que la elaboración de quemadores industriales sea en serie, el proceso tecnológico se completa con la fabricación de la caja desmontable.

La caja se construye en madera de pino bajo las consideraciones de altura y espesores recomendados en el apartado 3.5. Las uniones de la caja deben ser machihembradas en dos de sus esquinas y en las sobrantes se colocan bisagras que permiten la apertura de la misma.



Figura 4. 21. Cajas desmontables abiertas.

Además se colocan guías laterales que permiten la extracción y la alineación de la placa modelo con la caja desmontable.



Figura 4. 22. Guías laterales para las cajas.



Figura 4. 23. Ensamble de la caja desmontable con la placa modelo.

4.6. ELABORACIÓN DE LOS MOLDES

Para la elaboración de los moldes de los quemadores se utiliza el método tradicional del moldeo a mano.



Figura 4. 24. Moldeo a mano.

Una vez finalizado este proceso, se procede al montaje de los noyos para cada molde, teniendo en cuenta los soportes para el caso del quemador A.

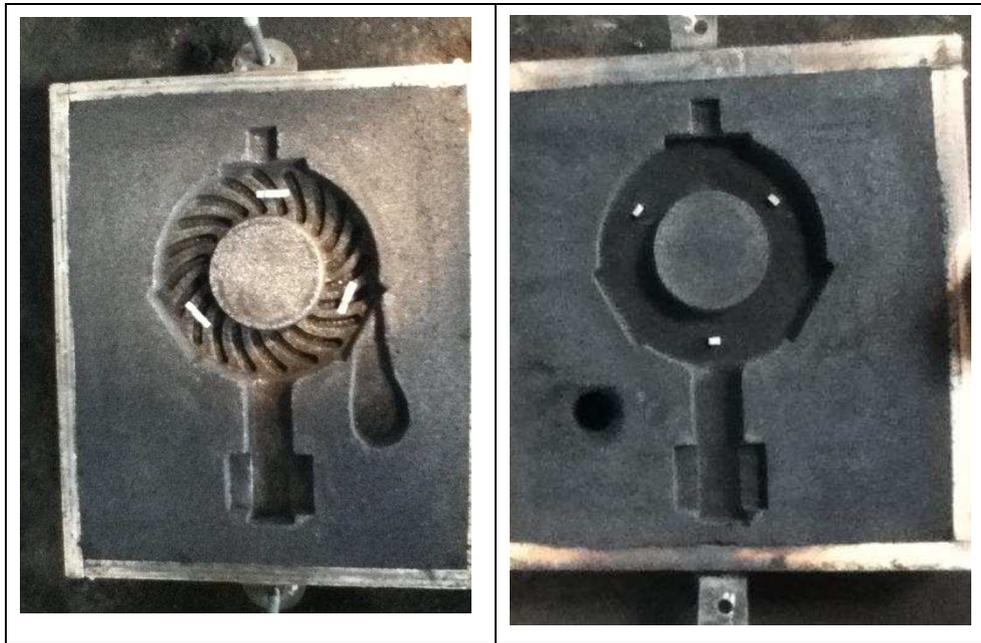


Figura 4. 25. Montaje de los soportes en el molde del quemador A.



Figura 4. 26. Montaje del noyos en el molde del quemador A.



Figura 4. 27. Montaje del noy en el molde de la cacerola del quemador B.

4.7. PREPARACIÓN DE LA CARGA

Para el cálculo de la carga, se toma en cuenta que la chatarra a utilizarse es procedente de piezas automotrices las cuales tienen la siguiente composición⁴⁸:

C = 3,3%

Si = 2,1%

Mn = 0,7%



Figura 4. 28. Chatarra de piezas automotrices de fundición gris.

⁴⁸ TITOV, N; “Tecnología del Proceso de Fundición”; Moscú; 1984; pág. 274.

Como se revisó en el apartado 1.2.2.1, el material obtenido debe ser lo más maquinable posible y con una colada fluida para que los moldes de 5mm de espesor se llenen completamente sin generar defectos, debido a esto lo único que interesa es el contenido de silicio que tenga la fundición gris.

La manera de llegar a obtener el porcentaje de silicio es mediante la agregación de ferro-silicio al 75% (75%Si) en la cuchara.

Según la Figura 1. 4 el porcentaje de silicio debe ser mayor o igual al 3%, de esta manera se tiene que el cálculo del porcentaje de ferro-silicio que hay que añadir es:

$$K = \frac{(Ee - Er) * 100}{(100 - a) * El} \quad \text{Ecuación 4. 1.}^{49}$$

Dónde:

K es el porcentaje de ferro-silicio a insertar en la cuchara.

Ee es el porcentaje de silicio a obtener (3%)

Er es el porcentaje de silicio en la chatarra (2,1%)

a es el porcentaje de pérdida de silicio (15%)

El es el porcentaje del elemento en el ferro-silicio (75%)

De esta manera se tiene que:

$$K = \frac{(3 - 2,1) * 100}{(100 - 15) * 75}$$

$$K = 0,014 = 1,4\%$$

⁴⁹ MSc. SÁNCHEZ Rigoberto; Producción de Metales Ferrosos y No Ferrosos; Seminario 1; AFME; Quito; 2012.

Esto quiere decir que si se tiene una carga de 60 kg de hierro gris en la cuchara, se debe añadir $(0,014 \cdot 60)$ kg, es decir 0,84 kg de ferro-silicio al 75%.

4.8. COLADO

Una vez fundido el material dentro del cubilote, se procede a verter la colada en la cuchara e inmediatamente se añade el ferro-silicio mezclándolo hasta que se disuelva completamente.



Figura 4. 29. Adición del Ferro-silicio en la cuchara.

La cuchara se transporta hacia el área de los moldes y se vierte el metal fundido por el cono de alimentación de cada uno de estos, evitando que la escoria ingrese.



Figura 4. 30. Colado en los moldes.

Se deja enfriar un tiempo considerable para evitar que el material se fragilice y se procede a retirar las piezas de la arena.



Figura 4. 31. Quemador A obtenido por fundición.



Figura 4. 32. Cacerola del quemador B obtenida por fundición.



Figura 4. 33. Tapa del quemador B obtenida por fundición.

4.9. ACABADOS FINALES

Luego de retirar las piezas de la arena de fundición se procede a extraer la arena de los hoyos.



Figura 4. 34. Extracción de los hoyos.

Como se puede observar en la Figura 4. 34 el hoyo es extraído con facilidad lo que evidencia que la mezcla de moldeo de los hoyos fue la adecuada.

A continuación, se cortan las alimentaciones.



Figura 4. 35. Corte del sistema de alimentación.

Se procede a taladrar los agujeros en cada quemador por donde saldrá la mezcla aire-combustible.



Figura 4. 36. Elaboración de agujeros para los quemadores.

Para que el quemador B sea funcional, la tapa y la cacerola deben acoplarse con un ajuste adecuado por lo que ambas partes se envían al torno para elaborar la juntura.



Figura 4. 37. Torneado del quemador B.

Se tapona el asiento de noyo del quemador A y se ajusta al mango de este, una lámina de metal que servirá para la regulación de aire.



Figura 4. 38. Pieza para regulación de aire en el quemador A.

Finalmente, los quemadores son sumergidos en pintura para evitar que estos se oxiden.



Figura 4. 39. Quemador A terminado.

CAPÍTULO 5

PRUEBAS Y DISCUSIONES

Con el fin de obtener una pieza con la mejor combinación de propiedades del material y apta para la producción en serie, se realizó un análisis y discusión de los resultados finales obtenidos en fundición, los cuales son mostrados en el presente capítulo. Se exponen y analizan los resultados de los ensayos realizados a las piezas fundidas siguiendo las mismas consideraciones del CAPÍTULO 2. Finalmente, se discute el proceso de fabricación estimando sus costos y su aplicación en la industria.

5.1. COMPARACIÓN DE LAS PIEZAS OBTENIDAS

Para comprobar la funcionalidad de los modelos de los quemadores, se procedió a realizar la fundición de los mismos en aluminio con fines didácticos en el laboratorio de Fundición de la Escuela Politécnica Nacional.



Figura 5. 1. Quemadores de aluminio obtenidos en el Laboratorio de Fundición EPN.

Posteriormente, tanto los quemadores de aluminio como los de fundición gris son sometidos a los criterios de selección que se describieron en el CAPÍTULO 2, con los mismos parámetros de prueba.

5.1.1. RENDIMIENTO

Se realiza el *Ensayo de Rendimiento* antes mencionado obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 5. 1. Datos de temperatura en función del tiempo para los quemadores de aluminio.

Quemador	Tiempo [min]	Temperatura de agua [°C]
A Aluminio	0	21,9
	5	32,1
	10	44,2
	15	55,9
	20	68,3
	25	79,2
	30	89,7
	30,08	90
B Aluminio	0	21,5
	5	29,8
	10	41,5
	15	54,7
	20	67,1
	25	77,9
	30	88,1
	31,83	90

Masa de gas consumida:
0,2 kg

Temperatura máxima en
el agua luego de la
extinción de la llama:
90,7 [°C]

Masa de gas consumida:
0,2 kg

Temperatura máxima en
el agua luego de la
extinción de la llama:
90,6 [°C]

Tabla 5. 2.Datos de temperatura en función del tiempo para los quemadores de fundición gris.

Quemador	Tiempo [min]	Temperatura de agua [°C]
A Fundición gris	0	22,1
	5	33,7
	10	45,4
	15	57,3
	20	69,5
	25	80,6
	29,55	90
B Fundición gris	0	21,2
	5	31,2
	10	42,8
	15	56,1
	20	68,5
	25	79,3
	30	89,6
	30,03	90

Masa de gas consumida:

0,2 kg

Temperatura máxima en

el agua luego de la
extinción de la llama:

90,6 [°C]

Masa de gas consumida:

0,2 kg

Temperatura máxima en

el agua luego de la
extinción de la llama:

90,5 [°C]

Para apreciar y comparar la variación de los datos, estos se grafican junto a los valores obtenidos de la prueba de rendimiento de los quemadores originales.

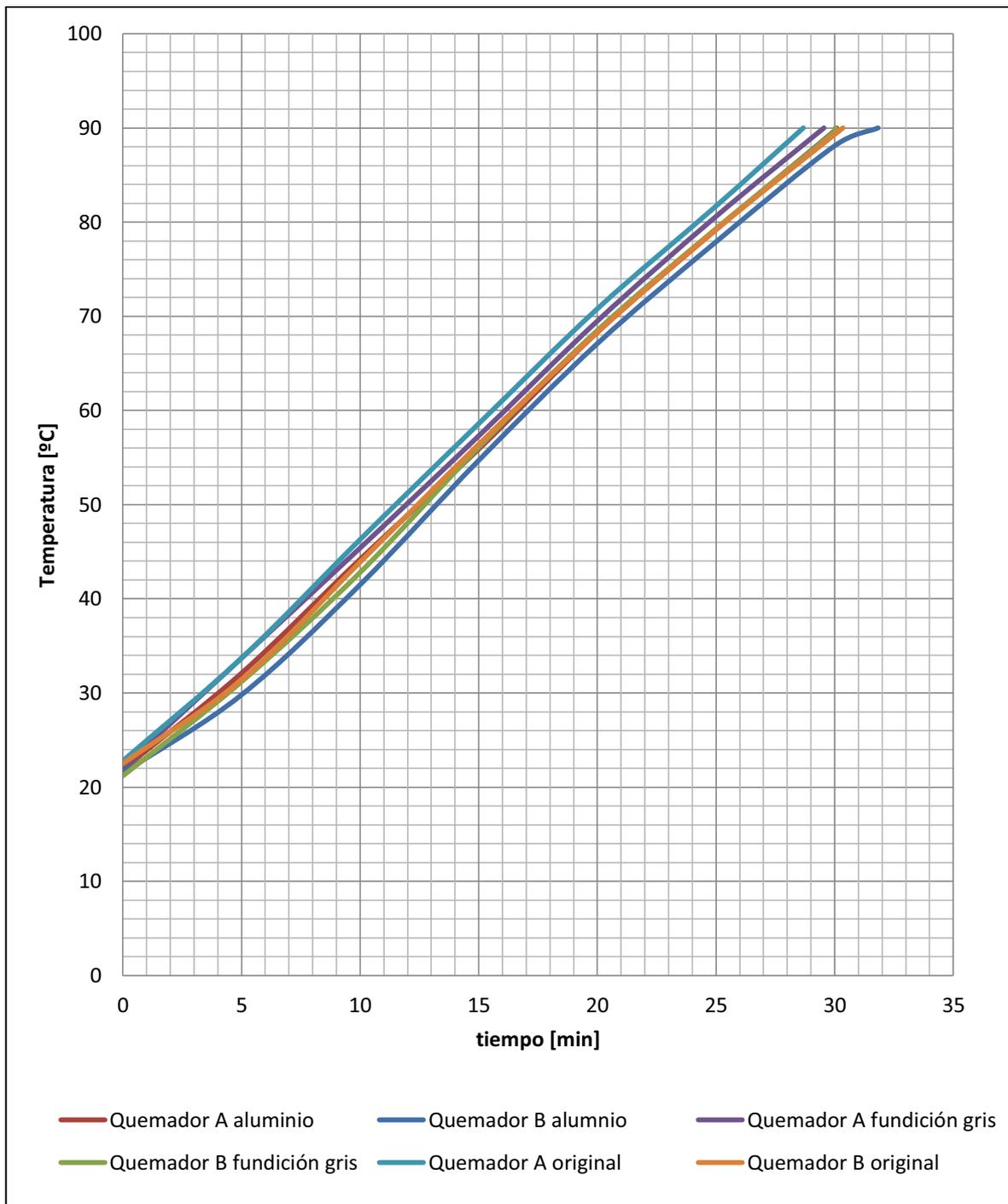


Figura 5. 2. Variación de la temperatura en función del tiempo para los quemadores.

Como se puede observar en la Figura 5. 2 los quemadores realizados en fundición gris tienen una pequeña ventaja sobre los de aluminio.

5.1.2. DISTRIBUCIÓN DE LA LLAMA

a) Quemadores realizados en aluminio



Figura 5. 3. Distribución de la llama en los quemadores de aluminio.

La llama es completamente azul lo que dificulta observarla en la fotografía, existe salida de gas por todos los agujeros del quemador.

b) Quemadores realizados en fundición gris



Figura 5. 4. Distribución de la llama en los quemadores de fundición gris.

Se observa una llama completamente azul distribuida uniformemente por todos los orificios de salida de gas.

Comparando la distribución de llama de los quemadores fabricados con los originales, tanto unos como otros presentan combustión completa comprobada por la tonalidad de la llama producida en todos los agujeros de salida de gas de los quemadores.

5.1.3. RESISTENCIA AL DESGASTE

El desgaste en los quemadores es casi imperceptible para el tiempo en el cual estuvieron en funcionamiento, por lo que este criterio únicamente se limita a comparar el material de fabricación. La fundición gris presenta mayor resistencia al desgaste debido a que a que calentamiento por reflexión es menor que el aluminio, por lo tanto este material resulta más conveniente para la fabricación de los quemadores.

5.1.4. FACILIDAD DE MANTENIMIENTO Y FABRICACIÓN

El quemador A presenta las mismas dificultades de fabricación y mantenimiento del original independientemente del material del que este hecho. El quemador B, elaborado a lo largo de este proyecto, resulto mucho más fácil de fabricar que el modelo original, ya que se modificó su diseño al incorporarle una tapa, lo que a la vez le añade facilidades de mantenimiento pues este puede ser limpiado e incluso resulta conveniente reemplazar únicamente la tapa en el caso de que esta se deteriore.

5.2. ESTIMACIÓN DE COSTOS

Se considera que las personas interesadas en la fabricación de los quemadores son exclusivamente fundidores ecuatorianos con un taller en servicio, esto quiere decir, que cuenten con un horno cubilote, dos taladros de pedestal, arena de moldeo y mezcla para noyos.

Esta estimación se realiza únicamente para el quemador A, cuya proyección es reemplazar las importaciones al país.

5.2.1. COSTOS DEL PROYECTO

Se asume una producción semanal de 280 quemadores tomando en cuenta la disponibilidad tanto del tiempo como del material. En los costos del proyecto solamente se considera la construcción de las placas modelo con cajas de noyos, cajas desmontables, plantillas para realizar los orificios y la compra de brocas.

Tabla 5. 3. Costos del proyecto.

ITEM	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Fabricación de placas modelo, cajas de noyos y cajas desmontables	3	\$ 300	\$ 900
Fabricación de plantillas	3	\$ 50	\$ 150
Brocas	100	\$ 0,80	\$ 80
TOTAL			\$ 1130

Teniendo en cuenta las cantidades adquiridas en la Tabla 5. 3, la estimación de costos se la realiza para una sola colada en la cual se emplean de 3 a 5 días.

5.2.2. COSTO DE MANO DE OBRA

Según el ministerio de relaciones laborales, los salarios mínimos sectoriales para el área metalmecánica son de \$299,30 al mes lo que da un costo por hora \$1,87, sin embargo se asume para este costo el valor de \$2/hora.

Tabla 5. 4. Costo de mano de obra.

CANTIDAD	ITEM	TIEMPO EMPLEADO	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
2	Moldeador	16 horas	\$2	\$64
2	Moldeador de noyos	16 horas	\$2	\$64
1	Metalúrgico	16 horas	\$2	\$32
1	Preparador del horno	16 horas	\$2	\$32

Continúa Tabla 5. 4.

1	Preparador de chatarra	16 horas	\$2	\$32
2	Operador de acabados	16 horas	\$2	\$64
1	Operador de taladro	36 horas	\$2	\$72
TOTAL				\$360

5.2.3. COSTO DE CHATARRA, FERROALEACIÓN Y COQUE

En el literal 3.4 se calcula la masa del quemador a producirse, por otro lado el sistema de alimentación tiene el 30% de la masa del mismo teniendo así un valor total de 3,41 kg/quemador.

Para la producción semanal estimada, se tiene una masa total de 954,8 kg, asumiendo que el rendimiento metálico de un horno cubilote en el país en promedio es del 75%, es necesaria una carga de chatarra de 1273,1 kg.

El coque, que servirá también como combustible, debe tener una masa del 30% de la carga total de chatarra, esto es 381,9 kg.

Considerando el porcentaje de ferro-silicio calculado anteriormente, se tiene que la masa requerida del mismo es de 13,4 kg.

Tabla 5. 5. Costo de materiales.

ITEM	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Chatarra	1273,1 kg	\$0,20/kg	\$ 254,62
Coque	381,9 kg	\$0,46/kg	\$175,67
Ferro-silicio	13,4 kg	\$ 2/kg	\$ 26,80
TOTAL			\$ 457,09

5.2.4. COSTO DE SERVICIOS BÁSICOS

Se considera el costo de energía de las máquinas que se necesitan para la producción de los quemadores.

Tabla 5. 6. Costo de servicios básicos.

CANTIDAD	ITEM	POTENCIA	TIEMPO DE TRABAJO	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
2	Taladro	1,12 kw	36 horas	\$0,09/kwh	\$7,26
1	Venterol	1,49 kw	8 horas	\$0,09/kwh	\$1,07
SUBTOTAL					\$ 8,33
OTROS SERVICIOS (20%)					\$1,67
TOTAL					\$10

5.2.5. COSTOS TOTALES

Para calcular este valor se suma el total de los costos descritos anteriormente, teniendo así un valor de \$1957,09 para toda la producción, considerando una utilidad del 30% el costo unitario por quemador es de \$9,09.

Tomando en cuenta la vida útil de la placa modelo, entre 1000 y 1200 moldes, se realiza también una estimación para producir 560 y 1120 quemadores, y de esta manera observar la variación de los costos totales.

Tabla 5. 7. Variación de costos para diferente producción.

COSTOS	560	1120
	QUEMADORES	QUEMADORES
Proyecto	\$ 1130	\$ 1130
Mano de obra	\$ 720	\$ 1440
Materia prima	\$ 914,18	\$ 1828,36
Servicios básicos	\$ 20	\$ 40
TOTALES + 30% DE UTILIDAD	\$ 3619,43	\$ 5769,87
VALOR UNITARIO	\$ 6,46	\$ 5,15

Como se puede observar en la Tabla 5. 7, el valor unitario del quemador disminuye significativamente debido al aumento de su producción. Los valores obtenidos luego de este análisis, son menores que el precio de venta al público del quemador A importado, lo que justificaría su producción nacional.

La estimación de costos se realizó únicamente para el quemador A debido a que su forma es exactamente igual al original. No se analizan los costos empleados en el quemador B pues el objetivo de su diseño es la fabricación de la tapa de manera masiva como un artículo reemplazable e intercambiable, ya que la cacerola puede ser fabricada por otros medios.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Luego de las pruebas realizadas a los quemadores existentes en el mercado, se comprueba que los importados son de mayor calidad, tanto en su rendimiento como en su resistencia, por lo que tienen excelente acogida por los consumidores, abriendo un nicho de mercado prospero para la producción nacional por fundición de hierro gris de los mismos.
- Las características obtenidas en los quemadores fabricados, son similares a las de los quemadores importados, en especial su rendimiento lo cual valida su diseño y futura implementación en el mercado nacional.
- Los cálculos de diseño de los modelos garantizaron de manera efectiva el llenado sin defectos en los moldes elaborados, lo que los vuelve fiables al momento de reproducir el procedimiento en serie.
- El material utilizado en la construcción de placas modelo, cajas de noyos y cajas desmontables resulto conveniente tanto en su precio como en su durabilidad.
- La presencia de azúcar hasta un 0,5% en relación a la masa total de arena para la mezcla de moldeo de los noyos, aumenta su colapsibilidad de los mismos lo cual permite su sencilla extracción de las piezas fundidas, disminuyendo los tiempos de acabado de la pieza.
- La presencia de silicio hasta en un 3% en el material fundido hizo que éste sea más fluido al momento de ser colado, pudiendo alcanzar incluso espesores menores a los asumidos en este proyecto lo que disminuiría el peso y el precio del quemador. De la misma manera, aumentó la maquinabilidad facilitando el taladrado de los orificios.

- La funcionalidad de los quemadores no requiere que estos sean pulidos, sin embargo queda a consideración del fabricante el llegar a mejores acabados superficiales. Los obtenidos en este proyecto satisfacen las necesidades de los usuarios.
- El costo unitario por quemador obtenido, resultó menor al precio de venta del mismo fabricado en el exterior considerando simplemente un tiraje inicial de 280 unidades. Sin embargo la inversión realizada perdura más de lo considerado, es decir, las placas modelo tienen una vida útil de aproximadamente 1000 piezas, dependiendo de su uso, lo cual hace a la pieza mucho más barata de lo estimado.
- Se cumplió con todos los objetivos planteados al inicio del estudio, obteniendo como resultado 2 instructivos tecnológicos simples, mostrados en el ANEXO 3, que resumen el proceso de fabricación de los quemadores garantizando su funcionamiento.

6.2. RECOMENDACIONES

- Considerando el peso de las piezas fundidas, el quemador B resulto más pesado que el original, razón por la cual conviene combinar la cacerola realizada en aluminio con la tapa de fundición gris, pues ésta es la única que está en contacto directo con la llama. Dicha combinación reduciría el peso total del quemador.
- Se recomienda el uso de resinas fenólicas para la mezcla de moldeo de los noyos, ya que estas dan buena resistencia al noyo y se debilitan a altas temperaturas.
- Para obtener mejor acabado superficial, es recomendable pintar los moldes con una mezcla refractaria basada en grafito y diesel dejándolos secar un tiempo prudente.

- Para asegurar la maquinabilidad de las piezas, se puede aumentar el porcentaje de silicio debido a que los quemadores no van a estar expuestos a esfuerzos mecánicos.
- Al momento de la elaboración de los moldes, se recomienda la utilización de armaduras con alambres de acero para sujetar la arena de moldeo en las partes donde se encuentren más detalles para no tener dificultades en el proceso.
- Las placas modelo deben ser tratadas con cuidado y almacenadas en lugares adecuados para que la madera se conserve y no pierda sus propiedades.
- Para la producción en serie de los quemadores se recomienda el uso de plantillas de perforación que se acoplen a las piezas terminadas, con el fin de facilitar el taladrado de los orificios.
- Para aumentar la vida útil de las placas modelo, se recomienda la fabricación de las mismas en aluminio lo que elevaría su rendimiento en una relación de 5 a 1 con respecto a los modelos de madera.

BIBLIOGRAFÍA

- ABRIL E; “Metalurgia Técnica y Fundición”; Editorial ALSINA; Argentina; 1956.
- AMERICAN FOUNDRYMEN SOCIETY; El horno cubilote y su operación; Editorial Continental; México; 2001.
- APRAIZ J; Fundiciones; 3era Edición; Editorial Dossat; Madrid; 1971.
- ASM; METALS HANBOOK; Volumen 1: Propierties and selecction of metal;8^{ava} Edisión; USA; 1965.
- AVENDAÑO, H; Diseño y fabricación de modelos para fundición; Unidad Profesional Azcapotzalco; NORMA ALEMANA DIN 1511.
- CAPELLO, E; Tecnología de la Fundición; Editorial G. Gili; 1971.
- DeGARMO E; “Materiales y Procesos de Fabricación”; Reverté; 2da Edición; Barcelona; 1994.
- DOYLE L; Materiales y Procesos de Manufactura para ingenieros; Editorial Prentice Hall; México; 2001.
- DUPONCHELLE L; Manual del Fundidor; Ediciones GILL S.A.; E.E.U.U; 1972.
- GOYOS, L; Tecnología de la Fundición II; Editorial ISPJAE; La Habana; 1994.
- MANGONON P; Ciencia de materiales, selección y diseño; Editorial Assistant Meg Weist; México; 2001.
- MARQUÉZ, M; “Combustión y quemadores”; NovaProductiva; España; 2005.
- MERINO, S; Tecnología de Fundición; Tomo I; La Habana.
- NAVARRO J; Fundición de hierro, fundición gris de alto valor; Editorial Dossat; Madrid; 1947.
- NAVAS, E; Métodos de Cálculo en Fundición; Holguín; 1990.
- RIBA Carles; Diseño concurrente; 2002.
- TITOV, N; Tecnología del proceso de Fundición; Moscú; 1984.

Publicaciones:

- ANCHALUISA M; Determinación del proceso de producción por fundición de antenas eléctricas telescópicas para el sistema integrado trolebús en la ciudad de Quito; Tesis EPN; 2012.
- CALDERÓN E; Elaboración de un procedimiento de fabricación de los patines de conducción eléctrica de cables de alta tensión en troles (Transportes de servicio público); Tesis EPN; 2012.
- GUERRERO A; Adaptación de un quemador para cocinas a gas en la empresa Mabe Ecuador; Tesis ESPOL; 2002.
- INEN 2 259:2000. Artefactos de uso doméstico para cocinar que utilizan combustibles gaseosos. Requisitos e inspección.
- INEN 2 481:2009. Fundiciones de Hierro Gris. Requisitos.
- MANTILLA W; Texto guía; Quito; 1998.
- OVIEDO F; “Tecnología de Fundición”; EPN; 2012.
- SALAO M.; Estudio experimental de la desulfuración para fundición gris con agitación de gas inerte; Tesis EPN; 2007.
- MSc. SÁNCHEZ Rigoberto; Producción de Metales Ferrosos y No Ferrosos; Seminario 1; AFME; Quito; 2012.
- VILLACRÉS M; “Desgaste y Falla de Materiales”; EPN; 2012.

Internet:

- <http://es.scribd.com/doc/32183971/FIERROS-FUNDIDOS>
- <http://materias.fi.uba.ar/6750/Resumen%20Fundiciones%20de%20hierro.pdf>
- http://platea.pntic.mec.es/pmarti1/educacion/3_eso_materiales/prof/bloque_ii/tablas_d_te_tf_internet.pdf.
- http://www.bdigital.unal.edu.co/626/4/120_-_3_Capi_2.pdf
- <http://www.blancogas.com/estilo/normas/bg/09-glp-cepsa.pdf>.
- <http://www.esi2.us.es/IMM2/Pract-html/y2.html>
- http://www.lumetalplastic.com/dural_carac_mec.html
- <http://www.metaleskutsukos.com.ar/propiedades.htm>

- <http://www.textoscientificos.com/quimica/combustion>
- http://www.uobabylon.edu.iq/uobcoleges/action_lect.aspx?fid=17&depid=1&lcid=20445

ANEXOS

- ANEXO 1.** EXTRAPOLACIÓN DE LOS VALORES DE MASA DE AGUA PARA
LOS DIÁMETRO DEL RECIPIENTE DE LA OLLA
- ANEXO 2.** PLANOS DE LOS QUEMADORES
 - A2.1.** PLANOS DE TALLER
 - A2.2.** PLANOS DEL MODELISTA
- ANEXO 3.** INSTRUCTIVOS TECNOLÓGICOS
 - A3.1.** ELABORACIÓN DE LOS MOLDES PARA LOS QUEMADORES
 - A3.2.** ELABORACIÓN DE NOYOS
- ANEXO 4.** NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2481:2009
- ANEXO 5.** NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2259:2000

ANEXO 1. EXTRAPOLACIÓN DE LOS VALORES DE MASA DE AGUA PARA LOS DIÁMETRO DEL RECIPIENTE DE LA OLLA

Tabla A. 1. Diámetro del recipiente/masa de agua.

Diámetro interior, mm	Masa de agua,kg
160	1,4
180	2
200	2,8
220	3,7
240	4,8
260	6,1
280	7,7
300	9,4
320	11,4

Fuente: INEN 2 259:2000

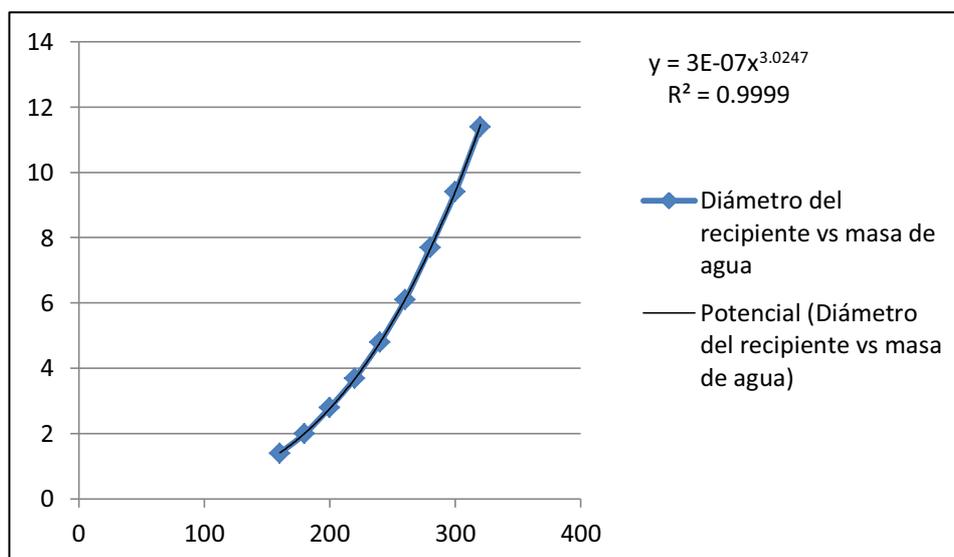


Figura A. 1. Diámetro del recipiente vs masa de agua.

Tabla A. 2. Valores extrapolados.

Diámetro interior, mm	Masa de agua,kg
340	13,6
360	16,2

ANEXO 2. PLANOS DE LOS QUEMADORES

A2.1. PLANOS DE TALLER

A2.2. PLANOS DEL MODELISTA

ANEXO 3. INSTRUCTIVOS TECNOLÓGICOS

A3.1. ELABORACIÓN DE LOS MOLDES PARA LOS QUEMADORES

A3.2. ELABORACIÓN DE NOYOS

	INSTRUCCIÓN	
	ELABORACIÓN DE LOS MOLDES PARA LOS QUEMADORES	

INDICE

1.0 Objetivo.

2.0 Alcance.

3.0 Definiciones.

4.0 Responsabilidades.

5.0 Referencias.

6.0 Desarrollo.

6.1 Materiales y equipos a utilizar.

6.2 Preparación para comenzar la actividad.

6.3 Secuencia ordenada de las operaciones a realizar.

6.4 Frecuencia de ejecución.

7.0 Registros

Elaborado por: Fernando Cúñez Shirley García Tesistas	Revisado por: Ing. Fausto Oviedo MSc. Director del Proyecto	Aprobado por: Ing. Fausto Oviedo MSc. Director del Proyecto
--	--	--

	INSTRUCCIÓN	
	ELABORACIÓN DE LOS MOLDES PARA LOS QUEMADORES	

1. OBJETIVO

Establecer los pasos a seguir en el proceso de elaboración de moldes por el método de moldeo manual en verde para la fabricación de los quemadores.

2. ALCANCE

Abarca el proceso de moldeo manual en verde en dos cajas con una placa modelo.

3. DEFINICIONES

No se aplica.

4. RESPONSABILIDADES

La persona encargada del procedimiento de fundición es el responsable de hacer cumplir la presente instrucción.

La persona que moldea la mezcla tiene la responsabilidad de cumplir lo establecido en esta instrucción.

5. REFERENCIAS

No se aplica.

6. DESARROLLO

Materiales y equipos a utilizar.

Elaborado por: Fernando Cúñez Shirley García Tesistas	Revisado por: Ing. Fausto Oviedo MSc. Director del Proyecto	Aprobado por: Ing. Fausto Oviedo MSc. Director del Proyecto
--	--	--

	INSTRUCCIÓN	
	ELABORACIÓN DE LOS MOLDES PARA LOS QUEMADORES	

MATERIALES

- Grafito en polvo.
- Mezcla de moldeo.
- Mazut o en su defecto aceite quemado.

EQUIPOS

- No se aplica.

INSTRUMENTOS

- Espátula.
- Lanceta.
- Cuchara.
- Punzón.
- Martillo.
- Guías de ensamblaje.
- Regla metálica.
- Pulverizador.
- Brocha.
- Cajas de moldeo.
- Pala.
- Apisonador de madera.

Elaborado por: Fernando Cúñez Shirley García Tesistas	Revisado por: Ing. Fausto Oviedo MSc. Director del Proyecto	Aprobado por: Ing. Fausto Oviedo MSc. Director del Proyecto
--	--	--

	INSTRUCCIÓN	
	ELABORACIÓN DE LOS MOLDES PARA LOS QUEMADORES	

PREPARACION PARA COMENZAR LA ACTIVIDAD

Preparación de la placa modelo.

- Revisar las dimensiones de las placas modelo de acuerdo con la carta del proceso tecnológico de fundición en moldes de arena en verde.
- Limpiar con waipe el juego de modelos y luego soplar con aire comprimido.
- Colocar el las placas modelo en la plataforma de moldeo de acuerdo con lo establecido en el plano tecnológico.
- Rociar con grafito en polvo la superficie del juego de modelos que estará en contacto con la mezcla de moldeo.

Preparación de la caja de moldeo.

- Limpiar la caja de moldeo de los residuos de mezclas anteriores y óxido.
- Comprobar la existencia de guías para el ensamble con la placa modelo.
- Colocar la caja de moldeo de forma manual.

SECUENCIA ORDENADA DE LAS OPERACIONES A REALIZAR.

- 1) Cubrir la placa modelo con mezcla de moldeo única, utilizando un tamiz de malla cuadrada de 5 mm o con mezcla de cara.
- 2) La capa de mezcla de moldeo de cara no se tamiza y se debe aplicar en el molde cuando el especialista del taller lo indique. El espesor de la capa de mezcla debe ser de 20 a 30 mm

Elaborado por: Fernando Cúñez Shirley García Tesisistas	Revisado por: Ing. Fausto Oviedo MSc. Director del Proyecto	Aprobado por: Ing. Fausto Oviedo MSc. Director del Proyecto
---	--	--

	INSTRUCCIÓN	
	ELABORACIÓN DE LOS MOLDES PARA LOS QUEMADORES	

- 3) Apretar con las manos esta capa de mezcla de moldeo en las partes más profundas.
- 4) Rellenar la caja inferior con la mezcla de moldeo indicada en la documentación tecnológica.
- 5) Apisonar la mezcla con ayuda del apisonador de madera por capas de 100 a 120 mm de espesor, hasta lograr que la mezcla apisonada quede rasante a la superficie superior de la caja de moldeo.
- 6) Se elimina la mezcla sobrante que se encuentra por encima de los bordes de la caja de moldeo utilizando una regla metálica o la pala.
- 7) Se gira el molde 180°.
- 8) Se coloca un tubo de 1" aproximadamente que servirá como tragadero.
- 9) Repetir las operaciones de los puntos 1 al 7.
- 10) Elaborar los canales de ventilación de acuerdo con la documentación tecnológica.
- 11) Extraer el tragadero con ayuda del martillo y elaborar la copa de vertido con la espátula o la pala.
- 12) Golpear suavemente la placa modelo.
- 13) Levantar la caja superior verticalmente ayudado de las guías, dejando la placa modelo en la caja inferior
- 14) Retirar la placa modelo de la caja inferior ayudado de las guías.
- 15) Guardar la placa modelo y el sistema de colada en el almacén.
- 16) Se procede a colocar los soportes de los noyos para el caso del quemador 1.

Elaborado por: Fernando Cúñez Shirley García Tesistas	Revisado por: Ing. Fausto Oviedo MSc. Director del Proyecto	Aprobado por: Ing. Fausto Oviedo MSc. Director del Proyecto
--	--	--

	INSTRUCCIÓN	
	ELABORACIÓN DE LOS MOLDES PARA LOS QUEMADORES	

- 17) Se colocan los noyos en el molde.
- 18) Se ensambla el molde
- 19) El molde ensamblado se traslada hasta el área de fusión.

FRECUENCIA DE EJECUCIÓN.

La presente actividad tiene una frecuencia que depende de la producción que se planifique.

7. REGISTROS.

No se aplica.

Elaborado por: Fernando Cúñez Shirley García Tesistas	Revisado por: Ing. Fausto Oviedo MSc. Director del Proyecto	Aprobado por: Ing. Fausto Oviedo MSc. Director del Proyecto
--	--	--

	INSTRUCCIÓN	
	ELABORACIÓN DE NOYOS	

INDICE

1.0 Objetivo.

2.0 Alcance.

3.0 Definiciones.

4.0 Responsabilidades.

5.0 Referencias.

6.0 Desarrollo.

6.1 Materiales y equipos a utilizar.

6.2 Preparación para comenzar la actividad.

6.3 Secuencia ordenada de las operaciones a realizar.

6.4 Frecuencia de ejecución.

7.0 Registros

Elaborado por: Fernando Cúñez Shirley García Tesistas	Revisado por: Ing. Fausto Oviedo MSc. Director del Proyecto	Aprobado por: Ing. Fausto Oviedo MSc. Director del Proyecto
--	--	--

	INSTRUCCIÓN	
	ELABORACIÓN DE NOYOS	

1. OBJETIVO

Establecer los pasos a seguir en el proceso de elaboración de noyos de los quemadores por el método de moldeo manual.

2. ALCANCE

Abarca el proceso de elaboración de noyos con mezclas con endurecimiento químico, así como también la colocación de sus estructuras.

3. DEFINICIONES

No se aplica.

4. RESPONSABILIDADES

La persona encargada del procedimiento de fundición es el responsable de hacer cumplir la presente instrucción.

La persona que realiza los noyos tiene la responsabilidad de cumplir lo establecido en esta instrucción.

5. REFERENCIAS

No se aplica.

6. DESARROLLO

Materiales y equipos a utilizar.

Elaborado por: Fernando Cúñez Shirley García Tesisistas	Revisado por: Ing. Fausto Oviedo MSc. Director del Proyecto	Aprobado por: Ing. Fausto Oviedo MSc. Director del Proyecto
---	--	--

	INSTRUCCIÓN	
	ELABORACIÓN DE NOYOS	

MATERIALES

- Grafito en polvo.
- Desmoldeante azucar.
- Mezcla de noyo.

EQUIPOS

- Estufas eléctricas.

INSTRUMENTOS

- Espátula.
- Lanceta.
- Cuchara.
- Pisón de madera.
- Punzón.
- Martillo de madera.
- Pala.
- Regla metálica.

PREPARACION PARA COMENZAR LA ACTIVIDAD

- Revisar las dimensiones de la caja de noyos de acuerdo con el plano del noyo.
- Limpiar con un waipe la caja de noyos y luego soplar con aire comprimido si quedaran residuos de mezcla.

Elaborado por: Fernando Cúñez Shirley García Tesistas	Revisado por: Ing. Fausto Oviedo MSc. Director del Proyecto	Aprobado por: Ing. Fausto Oviedo MSc. Director del Proyecto
--	--	--

	INSTRUCCIÓN	
	ELABORACIÓN DE NOYOS	

- Aplicar el grafito a la caja de noyos que estará en contacto con la mezcla del noyo.
- Fabricar las estructuras de los noyos.
- Juntar los componentes de la mezcla de los noyos.

SECUENCIA ORDENADA DE LAS OPERACIONES A REALIZAR.

- 1) Cubrir la parte inferior de la caja del noyo con la mezcla.
- 2) Apisonar suavemente la mezcla contra la caja del noyo.
- 3) Colocar las estructuras del noyo.
- 4) Llenar completamente la caja.
- 5) Apisonar la mezcla de moldeo completamente hasta que la misma sea lo más compacta posible.
- 6) Retirar la mezcla sobrante que se encuentra por encima de los bordes de la caja de macho utilizando una regla metálica.
- 7) Se realiza el labrado de los canales de ventilación con la ayuda del punzón de acuerdo con la documentación tecnológica.
- 8) Se introduce la caja del noyo moldeada en la estufa.
- 9) Esperar un tiempo adecuado hasta que los noyos hayan fraguado.

FRECUENCIA DE EJECUCIÓN.

La presente actividad tiene una frecuencia que depende de la producción que se planifique.

Elaborado por: Fernando Cúñez Shirley García Tesisistas	Revisado por: Ing. Fausto Oviedo MSc. Director del Proyecto	Aprobado por: Ing. Fausto Oviedo MSc. Director del Proyecto
---	--	--

	INSTRUCCIÓN	
	ELABORACIÓN DE NOYOS	

7. REGISTROS.

No se aplica.

Elaborado por: Fernando Cúñez Shirley García Tesistas	Revisado por: Ing. Fausto Oviedo MSc. Director del Proyecto	Aprobado por: Ing. Fausto Oviedo MSc. Director del Proyecto
--	--	--

ANEXO 4. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2481:2009

ANEXO 5. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2259:2000