

**DISEÑO ESTRUCTURAL Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS DIFERENTES  
ELEMENTOS DEL CUBILOTE DE LA EMPRESA IDEA (GIRON-SANTANDER)**

**SILVIA CRISTINA CASADIEGO PACHECO  
ARIEL DIOMEDES ALVARADO PÉREZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS Y FÍSICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA E INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2011**

**DISEÑO ESTRUCTURAL Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS DIFERENTES  
ELEMENTOS DEL CUBILOTE DE LA EMPRESA IDEA (GIRON-SANTANDER)**

**SILVIA CRISTINA CASADIEGO PACHECO  
ARIEL DIOMEDES ALVARADO PÉREZ**

**Trabajo de Grado como requisito para optar por el título de  
INGENIERO METALÚRGICO E INGENIERO MECÁNICO**

**Directores**

**Ing. ARNALDO ALONSO BAQUERO**

**Ing. JABID QUIROGA MENDEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS Y FÍSICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA E INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2011**

## AGRADECIMIENTOS

*A los Profesores Arnaldo Alonso Baquero y Jabid Quiroga Méndez directores de este proyecto por el tiempo, conocimiento compartido y por impulsar el desarrollo de este proyecto.*

*Al CUESS y en especial a María José Silva por su colaboración y confianza; por crear los vínculos con la empresa.*

*A Don Jairo Pinzón y a su empresa IDEA por abrirnos sus puertas y permitir que este proyecto se llevara a cabo.*

*Al Ingeniero Orlando Aguirre Director de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales por su amistad, apoyo y motivación para la culminación de esta etapa profesional.*

*A mis maestros.*

*Jhon Freddy Palacios, Custodio Vásquez, Luz Amparo Quintero, Orlando Gómez, Gustavo Neira, Ana Emilce Coy, Sandra García, Afranio Cardona, por compartirme sus conocimientos y por su orientación*

*Al grupo de técnicos, Ambrosio Carrillo, Javier Gaitán, Mario Navarrete, Juan Domingo y Fermín Martínez por su colaboración y por compartirme su experiencia.*

*A la Universidad Industrial de Santander y en especial a la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales por haberme acogido en sus aulas.*

**SILVIA CASADIEGO**

## DEDICATORIAS

*A Dios, por su infinito amor.*

*Porque está conmigo en cada paso que doy, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos.*

*A mis padres,*

*Por su apoyo en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor. Te amo Madrecita hermosa.*

*A mis hermanos Mario, Jose, Diana, Pedro y Caro*

*Por todos los momentos especiales que hemos compartido, por el cariño, apoyo y amistad, por estar ahí cuando los he necesitado, los quiero demasiado.*

*A Jaime Armando,*

*Mi novio, amigo, compañero. Por su amor, comprensión, apoyo incondicional y motivación en momentos de declive y cansancio. Te amo!*

*A toda mi familia,*

*Por estar pendiente de mí, por el apoyo, el aliento constante, por estar conmigo aunque no estuviéramos físicamente juntos. No escribo nombres porque son muchos y no quiero olvidar a nadie, pero todos saben que los quiero y les agradezco mucho todo lo que me han brindado en esta etapa universitaria y en toda mi vida.*

*A mis amigos,*

*Quienes me acompañaron y apoyaron a lo largo de mi formación profesional, Layla, Giova, Javier, Adri, Cayita, Marce, Jennifer y Caro Castillo: amiga y compañera constante en este último tramo para llegar a la meta, a leidyrita y Alcírita por su amistad, consejos, apoyo y colaboración.*

*Nydian y Gisela, mis amigas que siempre están ahí.*

**SILVIA CASADIEGO**

*DEDICATORIA*

*A mis padres y a mis hermanos  
Quienes me apoyaron a lo largo de toda mi carrera universitaria y  
gracias a ellos he logrado cumplir con esta gran meta.*

*ARIEL ALVARADO*

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	19
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
2. OBJETIVOS	22
2.1. GENERAL	22
2.2. ESPECIFICOS	23
3. MARCO TEORICO	23
3.1. LAS FUNDICIONES Y EL CUBILOTE	23
3.2. MECANISMO DE LA FUSION EN EL CUBILOTE	25
4. CARACTERISTICAS TECNOLOGICAS DEL CUBILOTE	30
4.1 CORAZA	31
4.2. TUBERIA VENTILADOR - CAJA DE VIENTO	32
4.3. CAJA DE VIENTO	33
4.4. TUBERIA CAJA DE VIENTO - TOBERAS	34
4.5. TOBERAS	35
4.6. EQUIPO DE MEDIDA DEL SOPLO	36
4.7. PIQUERAS DE METAL Y ESCORIA	38
4.8. PUERTA DE CARGA	38
4.9 CHIMENEA	39
4.10. VENTILADOR Y POTENCIA UTIL DEL VENTILADOR	39
5. METODOLOGIA	40
5.1. IDENTIFICACION DEL PROBLEMA	41
5.2. REVISION BIBLIOGRAFICA	41
5.3. CALCULO DE LOS PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL CUBILOTE CON UNA PRODUCCION OPTIMA DE 2 t/h	41
5.3.1. Temperatura de la fundición Líquida	43
5.3.2. Producción Horaria	43
5.3.3. Índice de Combustión	44

5.3.4. Aire que Combuste por Hora ( $O_2$ , $N_2$ , qc)	44
5.3.5. Flujo de Aire (Q)	45
5.3.6. Potencia Útil del ventilador	46
5.4. CALCULO Y DISEÑO EN SolidWorks 2007 DE CADA UNO DE LOS ELEMENTOS DEL CUBILOTE CON UNA PRODUCCION DE 2 t/h	48
5.4.1. Carcasa	49
5.4.2. Soportes	49
5.4.3. Tubería Ventilador - Caja de Viento	50
5.4.4. Caja de Viento	51
5.4.5. Toberas	52
5.4.6. Tubería Caja de Viento - Toberas	54
5.4.7. Elementos del Crisol	57
5.4.8. Tubo Venturi	58
5.4.9. Estimación de la altura efectiva $H_e$	59
5.5. SELECCIÓN DEL TRANSPORTE MECÁNICO PARA EL PROCESO DE CARGUE DEL HORNO DE CUBILOTE	61
5.5.1. Selección del Cable	61
5.5.2. Selección de la Polea	64
5.5.3. Cálculo del tambor de Enrollamiento	65
5.5.4. Cálculo de la Estructura del Carro de Cargue	72
6. DISEÑO Y CALCULO DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DE OXÍGENO POR MEDIO DE LAS TOBERAS	76
6.1. PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LA FUSIÓN SEGÚN EL PROCEDIMIENTO SEGUIDO	83
6.2. PORCENTAJE DE OXÍGENO AÑADIDO	85
6.3. TECNICAS DE INTRODUCCIÓN DE OXÍGENO EN EL CUBILOTE	87
6.3.1. Enriquecimiento del Aire por Dilución de Oxígeno en la Tubería	88
6.3.2. Inyección de Oxígeno por Medio de las Toberas	89
6.3.3. Inyección de Oxígeno en el Crisol	91
7. CONCLUSIONES	93

8. RECOMENDACIONES	94
9. RESULTADOS ESPERADOS	95
10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	96
ANEXOS	100

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Horno de Cubilote	24
Figura 2. Influencia del porcentaje de coque entre carga sobre el índice de combustión según Jungbluth.	29
Figura 3. Representación gráfica de la combustión simplificada del coque en el cubilote	30
Figura 4. Partes del cubilote	31
Figura 5. Caja de viento	33
Figura 6. Tubo venturi	36
Figura 7. Dimensiones del venturi	37
Figura 8. Diagrama reticular estándar de un cubilote de viento frío, enfriado con agua, según Jungbluth	42
Figura 9. Especificaciones de los soportes del cubilote	50
Figura 10. Especificaciones de la tubería ventilador – Caja de viento	50
Figura 11. Especificaciones de la caja de viento	52
Figura 12. Especificaciones de las toberas	53
Figura 13. Dispositivo de inversión del aire de las toberas autlimpiantes	54
Figura 14. Especificaciones de la tubería caja de viento - toberas	55
Figura 15. Especificaciones del crisol	57
Figura 16. Especificaciones del venturi	58
Figura 17. Horno Cubilote Diseñado para la Empresa IDEA	60
Figura 18. Diagrama de cuerpo libre del carro de cargue	61
Figura 19. Poleas fijas	64
Figura 20. Tambor de enrollamiento	66
Figura 21. Estructura del carro de cargue	74
Figura 22. Rendimiento de la combustión en función de la temperatura de los humos para viento frío	76

Figura 23. Rendimiento de la combustión en función de la temperatura de los humos para viento frío	77
Figura 24. Temperatura de los gases de combustión si el calor total liberado se utiliza para el calor, según el índice de combustión	78
Figura 25. Influencia del enriquecimiento del aire en las temperaturas en el cubilote	80
Figura 26. Cubilote con doble hilera de toberas	85
Figura 27. Flujo de oxígeno que se agrega en m <sup>3</sup> /h. en función del aire soplado y del porcentaje de sobreoxigenación	86
Figura 28. Inyección de oxígeno por las toberas	88
Figura 29. Adición de oxígeno por dilución	88
Figura 30. Inyección de oxígeno por debajo de las toberas	91

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Producción Horaria para un cubilote con $D_i=600\text{mm}$	43
Tabla 2. Índice de Combustion	44
Tabla 3. Aire de Combustion por Hora $P_{min}$ y $P_o$	45
Tabla 4. Flujo de Aire Soplado y de Combustion	46
Tabla 5. Seccion Tuberia ventilador–caja de viento para un P entre 10% y 15%	51
Tabla 6. Diametro de las toberas para diferentes relaciones entre la seccion del cubilote y las secciones de las tobreas	54
Tabla 7. Numero de toberas en funcion del diametro interno del cubilote	56
Tabla 8. Seccion y diametro de la tuberia caja de viento-toberas	56
Tabla 9. Selección del cable	63
Tabla 10. Poleas para cables de acero	65
Tabla 11. Seleccion del rodamiento teniendo en cuenta el diametro del eje y la carga dinamica	70
Tabla 12. Caracteristicas tecnicas del motoreductor	72
Tabla 13. Comparación de los efectos del coque y del oxígeno en la fusión del cubilote	79
Tabla 14. Comparación entre el método de dilución e inyección de oxígeno.	91

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>ANEXO A.</b> ESPECIFICACIONES TECNICAS PARTICULARES PARA EL HORNO DE CUBILOTE DISEÑADO PARA LA EMPRESA INDUSTRIAL DE ACCESORIOS LTDA	101
<b>ANEXO B.</b> SELECCIÓN DEL MOTOR PARA EL VENTILADOR PARA LA INYECCIÓN DE AIRE EN EL CUBILOTE	104
<b>ANEXO C.</b> CARTAS DE COMPROMISO Y CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS PLANTEADOS POR PARTE DE LA EMPRESA INDUSTRIAL DE ACCESORIOS "IDEA"	106
<b>ANEXO D.</b> PLANOS DE CONSTRUCCION	108

## RESUMEN

**TITULO: DISEÑO ESTRUCTURAL Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS DIFERENTES ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN EL CUBILOTE DE LA EMPRESA IDEA (GIRON – SANTANDER).\***

**AUTORES: CASADIEGO PACHECO, Silvia Cristina.  
ALVARADO PEREZ, Ariel Diomedes \*\***

**PALABRAS CLAVES:** Horno de cubilote, toberas autoescoriantes, caja de viento, tubo venturi, recuperación, solera, piqueras, fusión, cargue mecánico.

### **DESCRIPCIÓN:**

El presente trabajo se basa en una metodología que considera las más importantes recomendaciones sobre los parámetros de diseño del horno y de su operación. En tal sentido, se evalúan la altura efectiva del horno, el área total de toberas, las dimensiones de los conductos de aire, entre otros parámetros de diseño. De igual forma se evalúan la productividad, el consumo de aire, la altura de la cama, el peso de la carga, y otros parámetros de operación del horno.

La empresa Industrial de Accesorios IDEA, es una empresa dedicada a la producción y comercialización de partes y elementos para el control y el transporte de fluidos, así como otras aplicaciones industriales. Fabrica y distribuye piezas procesadas por medio de fundición y mecanizado de materiales metálicos y no metálicos.

Los antecedentes demuestran que es una empresa sólida y muy bien constituida, lo cual se refleja en la experiencia en todos los procesos de fundición. Para dicho procedimiento es necesario contar con una administración adecuada del proceso, maquinaria y equipo en perfectas condiciones de funcionamiento; así también el personal que labora en la empresa debe tener el equipo de protección necesario, debido a los posibles riesgos que se pueden presentar dentro de su lugar de trabajo ya que en el área de fundición se manejan temperaturas muy elevadas.

Con la constante demanda de producción, la competitividad en la industria de la fundición y para optimizar el proceso, se creó la propuesta “DISEÑO ESTRUCTURAL Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS DIFERENTES ELEMENTOS DEL CUBILOTE DE LA EMPRESA IDEA (GIRON SANTANDER)”, se espera que este trabajo de grado cumpla con las expectativas de la empresa y contribuya al progreso de la misma.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas y Físicomecánicas, Escuela de Ingeniería Metalúrgica e Ingeniería Mecánica, Directores Arnaldo Alonso Baquero; Jabid Quiroga Méndez

## ABSTRACT

**TITLE: STRUCTURAL DESIGN AND DIMENSIONING OF THE DIFFERENT ELEMENTS THAT MAKE UP THE IDEA COMPANY CUPOLA. (GIRON - SANTANDER)\***

**AUTHORS: CASADIEGO PACHECO, Silvia Cristina.  
ALVARADO PEREZ, Ariel Diomedes.\*\***

**KEYWORDS:** Cupola furnace, self deslagging nozzles, wind box, venturi tube, recovery, hearth, tapholes, fusion, mechanical load.

### DESCRIPTION

This work is based on a methodology that considers the most important recommendations on the design parameters of the furnace and its operation. In this way, the effective height of the furnace, the total area of nozzles, the dimensions of the airways, among other design parameters will be assessed, similarly evaluating productivity, air consumption, bed height, weight of load and other furnace operation parameters.

The IDEA company (Accessories Industrial Company) is a company dedicated to the production and marketing of parts and elements for the control and transport of fluids and other industrial applications. The company manufactures and distributes parts processed by casting and machining from metallic and nonmetallic materials.

The record shows that it is a solid and well established company, which is reflected on the experience in all the casting processes. For such a procedure it is necessary to have proper management of the processes, machinery and equipment in perfect operating conditions, so the people working in the company must have the necessary protective equipment, due to the potential risks that may occur within their workplace as in the smelting area extremely high temperatures are handled.

With the constant demand for production, competitiveness in the foundry industry and optimize the process, the proposal “**STRUCTURAL DESIGN AND DIMENSIONING OF THE DIFFERENT ELEMENTS THAT MAKE UP THE IDEA COMPANY CUPOLA. (GIRON - SANTANDER)**” was created. It is expected that this work achieve the expectations of the company and contribute to its progress.

---

\* Research work.

\*\* Physicochemical and Engineering Faculty of physicommechanical, School of Metallurgical Engineering and Mechanical Engineering, Director Arnaldo Alonso Baquero; Jabid Quiroga Méndez

## INTRODUCCIÓN

La práctica de la fusión es un aspecto importante de las operaciones de fundición, ya que tiene un efecto directo sobre la calidad de las piezas fundidas. Los hornos se cargan con material rico en el metal de interés, elementos de aleación y otros materiales como el fundente y formadores de escorias o escorificantes.

La fundición es una de las profesiones más antiguas, desde hace mucho tiempo el hombre ha producido objetos de metal fundido para propósitos artísticos o prácticos, por esta razón, la fundición fue considerada como un arte, ya que el moldeador, sin más ayuda que la del modelo y algunas herramientas rudimentarias podía producir piezas muy complejas realizando un trabajo que puede llamarse de escultor. Pero con el crecimiento de la sociedad industrial, la fundición de metales en los últimos años ha tenido una gran evolución.

La técnica de la fundición es muy usada en nuestro país y uno de los hornos más utilizados en este proceso es el horno de cubilote, éste emplea un combustible sólido que es el coque el cual es producido en el país.

Además de que los costos de producción son bajos en comparación con otro tipo de horno, su operación y control durante el proceso no presenta grandes dificultades, no requiere mayor cantidad de mano de obra y no ocupa mucho espacio.

La empresa Industrial de Accesorios IDEA es una empresa dedicada a la producción y comercialización de partes y elementos para el control y el transporte de fluidos, así como otras aplicaciones industriales. Fabrica y distribuye piezas procesadas por medio de la fundición y mecanizado de materiales metálicos y no metálicos.

Debido a la globalización económica, la fuerte competencia que existe y la implementación de normas de medio ambiente establecidas en Colombia para la industria de la fundición, la empresa IDEA quiere ampliar su producción y seguir compitiendo con más fuerza y calidad en el mercado local e internacional, pero con respeto y compromiso de protección del medio ambiente.

Ante este hecho la empresa IDEA vio la necesidad de solicitar a la Universidad Industrial de Santander UIS, mediante el Comité Universidad Empresa Estado de Santander (CUEES) dentro de su estrategia "PROMOVER", la colaboración de las escuelas de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales y de Ingeniería Mecánica, para desarrollar proyectos y aportar sus conocimientos, con el fin de contribuir con soluciones a las diferentes tareas que se proponen realizar en la búsqueda de su incursión en el ámbito internacional.

Dentro de los puntos incluidos en este convenio de Universidad-Empresa, se aprobó la realización de este trabajo de grado relacionado con el diseño estructural y el cálculo de las dimensiones del horno cubilote de 600mm de diámetro interno para una producción aproximada de 2 t/h.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Teniendo en cuenta los requerimientos del mercado y la competitividad que existe actualmente en la industria de la fundición, la empresa Industrial de Accesorios IDEA tiene como propósito cumplir con las exigencias que sus clientes solicitan y esto le implica diseñar estrategias para mejorar la calidad de sus productos, una de las cuales es la adquisición de un nuevo horno de cubilote provisto de mejoramientos de diseño para aumentar el rendimiento térmico y de sistemas que permitan mejorar el ambiente tanto en la fundición como en las vecindades. Así mismo, para mejorar las condiciones de trabajo, se reemplazará el cargue manual con un dispositivo mecánico que permita elevar las cargas e introducir las al horno sin la participación de los operarios.

Con el nuevo horno se busca aumentar la producción para atender no solo la demanda de equipos de control y accesorios a nivel nacional sino incursionar en el campo internacional.

Actualmente el horno de la empresa IDEA arroja una producción aproximada de 850Kg/h de hierro gris, en una jornada de fundición de alrededor de 8 horas continuas. En estas condiciones los costos se elevan por el pago de horas extras necesarias para alcanzar la producción programada.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

- Aportar metodologías de desarrollo en el proceso de fusión de fundiciones en el horno de cubilote de la Empresa IDEA (Girón- Santander)

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Calcular y dimensionar los diferentes sistemas que constituyen un horno cubilote con 600 mm de diámetro interno y doble hilera de refractario para alcanzar una producción de 2000 kg/hr.

Sistema mecánico (envoltura cilíndrica, base, puerta de carga, puerta de fondo, piquera de colada, piquera de escoria y chimenea)

Sistema de Viento (ventilador centrífugo, caja de viento, toberas, tubería toberas caja de viento, tubería ventilador caja de viento)

- Seleccionar un sistema de transporte mecánico para el proceso de cargue del horno cubilote, el cual va a tener una capacidad aproximada con el carro cargado de 400 Kg.
- Diseñar y calcular el sistema de inyección de oxígeno por medio de las toberas para mejorar el desempeño de operación del horno.
- Representar los diseños mencionados, en planos de construcción utilizando una herramienta CAD (SolidWork).

### 3. MARCO TEORICO

#### 3.1 LAS FUNDICIONES Y EL CUBILOTE

Definidas como una aleación de hierro y carbono con un contenido de carbono que varía entre el 2,0%C y por fines técnicos hasta un 4,5%C. Aleaciones caracterizadas por su excelente aptitud al moldeo, su economía y están provistas de microestructuras variadas que les permiten ser utilizadas en una gama de aplicaciones, han sido tradicionalmente elaboradas en el horno de cubilote.

Hoy en día, en los estados unidos el 60% de las fundiciones elaboradas son fundidas en el cubilote, porcentaje que se eleva hasta el 65% si se consideran todos los países desarrollados.

Uno de los hornos más utilizados en el proceso de fundición es el horno de cubilote, ya que los costos de producción son bajos en comparación con otro tipo de horno, su operación y control durante el proceso no presentan grandes dificultades, no requiere mayor cantidad de mano de obra y no ocupa mucho espacio.

En el cubilote se producen una gran familia de fundiciones, desde la tradicional fundición con grafito laminar, fundiciones blancas, atruchadas, fundiciones maleables y dúctiles hasta de alta aleación como las Ni-Hard, Ni-Resistentes y fundiciones al cromo. Solo el contenido de carbono en la fundición limita la elaboración de las fundiciones en alto horno. En efecto, cuando el contenido de carbono en la fundición es menor que 3.0%C se requiere de hornos eléctricos para poder fabricarlas.

El horno de cubilote (Figura 1) es un horno de cuba, su diseño es sencillo, consiste en un cilindro vertical cuyo interior se encuentra revestido por un material

refractario, que puede tener una naturaleza química ácida, básica o neutra. Utiliza como combustible el coque y como comburente el aire. Del mismo tipo que el alto horno, se diferencia por el producto fundido que elabora y por la carga que utiliza. En el alto horno se utiliza mineral de hierro como carga y en el cubilote chatarra de fundición y de aceros.

El producto fundido que se obtiene en el cubilote tiene características metalúrgicas, químicas y mecánicas muy diversas, que les permiten tener amplias aplicaciones.

**Figura 1.** Horno de Cubilote



**Fuente:** ALONSO, BAQUERO ARNALDO. Diseño, operación y control del cubilote. Bucaramanga: División Editorial y de publicaciones UIS. 2000

Las características de diseño cubilote datan desde el siglo XVIII, y su diseño básico no ha experimentado cambios radicales. Su calificación como horno moderno comienza en la década de los años cincuenta cuando se puso en

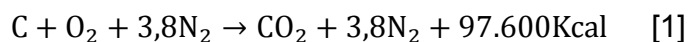
funcionamiento la técnica de fusión de viento caliente. Posteriormente la disminución del costo del oxígeno y la doble hilera de toberas hicieron del cubilote un horno moderno con alta eficiencia térmica. Cumple con todas las especificaciones que regulan las emisiones al medio ambiente, aun las más vigentes.

### 3.2 MECANISMO DE LA FUSION EN EL CUBILOTE

Su mecanismo de fusión se basa en los trabajos de los investigadores alemanes Junbluth<sup>1</sup>, Patterson<sup>2</sup> y Neumann<sup>3</sup>, ellas se encuentran recopiladas en su mayor parte en la obra de Guyot.<sup>4</sup>(1)

El principio que regula el mecanismo de fusión en este horno es la ocurrencia de dos reacciones al ponerse en contacto el aire soplado con el coque incandescente:

- **La primera reacción** es la reacción de combustión del carbono del coque que genera la energía necesaria para precalentar, fundir y sobrecalentar la fundición. Considerando un Kmol de carbono esta reacción se expresa:



En la combustión del coque en el cubilote el aire circula a gran velocidad y a un flujo más o menos constante. El factor que determina la cinética de la reacción es la transferencia de masa que tiene lugar a través de la película de aire que está en

---

<sup>1</sup> JUNGBLUTH, H. Las leyes de la fusión. En GEISSEREI, (mar, 1939); p. 113-120.

<sup>2</sup> PATTERSON, W Y NEUMANN, F. Reglas de la fusión en el cubilote. En Geisserei, (feb, 1961); p. 49-56

<sup>3</sup> NEUMANN, F. Ventajas metalúrgicas de la fusión en el cubilote de viento caliente y en el de viento frío. En: Geisserei. (sep. 1964); p. 538 – 545.

<sup>4</sup> GUYOT, J. Manuel du cubilot. 1 ed. Paris: Editions Techniques des Industries de la Fonderie, 1980. P. 85,87

contacto con el coque y que hace referencia específicamente al oxígeno. La cantidad de masa que se transfiere por unidad de volumen (oxígeno), es proporcional a la velocidad del aire e inversamente proporcional al espesor del coque. Se expresa por la reacción:

$$M = K \cdot \frac{v_A}{d} \quad [2]$$

En donde:

M: Masa de oxígeno transferida

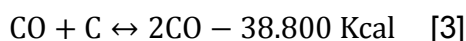
d: Espesor del coque considerado esférico

$v_A$ : Velocidad del aire

K: Coeficiente de proporcionalidad

Como se puede apreciar en la expresión anterior, la velocidad del soplo en las toberas y el tamaño del coque ejercen influencia determinante en la combustión del coque.

- **La segunda reacción**, conocida con el nombre de reacción de gasificación del coque, se caracteriza por consumir calor al producirse. Esta reacción, considerando un Kmol de carbono se representa:



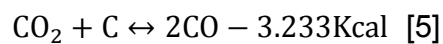
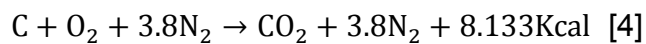
La capacidad del coque para producir esta reacción se conoce con el nombre de reactividad del coque, y ha sido una de las propiedades que más controversia ha originado. La disparidad de criterio fue dilucidada por el investigador Seymour Katz<sup>5</sup> (1), al explicar los mecanismos de la reacción de gasificación y las características del coque que la influyen. Según Katz, el valor de la reactividad del coque es importante a bajas temperaturas, pero a temperaturas superiores a

---

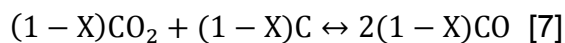
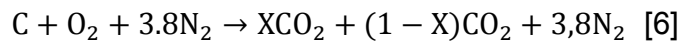
<sup>5</sup> KATZ, S. Defining the coke properties that directly affect the energy efficiency of cupolas. 49 Congreso Internacional de Fundición. Chicago: 1982

1300<sup>0</sup>C la velocidad de la reacción es dependiente de otros factores como el contenido de carbono, el diámetro del coque, la porosidad de la cama de coque y el flujo de aire.

Si en lugar de un kilomol, se considera un kilogramo de carbono, las dos reacciones anteriores se transforman:



La ocurrencia de la reacción de gasificación indica que no todo el CO<sub>2</sub> producido por la combustión del carbono se va como gas en los humos. Por lo tanto, una manera más completa de representar dichas reacciones es:



En donde:

X : Es el número de kilomoles de CO<sub>2</sub> que se va en los humos.

(1-X) : Kilomoles de CO<sub>2</sub> que intervienen en la reacción de gasificación.

Si se suman estas dos reacciones, queda:



- **Índice de Combustión n.**

Las reacciones anteriores indican las cantidades de CO<sub>2</sub> y CO que van a los humos. Sin embargo, al fundidor le gustaría tener una herramienta que le permitiera conocer de antemano los contenidos de CO<sub>2</sub> y CO que salen en los

humos, la temperatura de la fundición líquida la producción, rendimiento térmico del horno, entre otras. De aquí nace el concepto de índice de combustión que se expresa por la relación:

$$n = \frac{CO_2}{CO_2+CO} \quad [9]$$

Este índice que indica la composición simplificada de los gases de combustión, depende, para una calidad de coque determinado, del flujo de aire y del porcentaje de carbono utilizado. Según el investigador alemán Jungbluth, el aire ejerce una influencia muy baja sobre el índice de combustión y, en una primera aproximación se puede despreciar, dentro de los límites de trabajo habitual del cubilote. Bajo esta consideración y aceptando que **n** depende esencialmente del porcentaje de carbono en la carga, Jungbluth estableció experimentalmente la siguiente relación

$$n = \frac{0,03865}{p.C-\Delta C} + 0,15 \quad [10]$$

En donde:

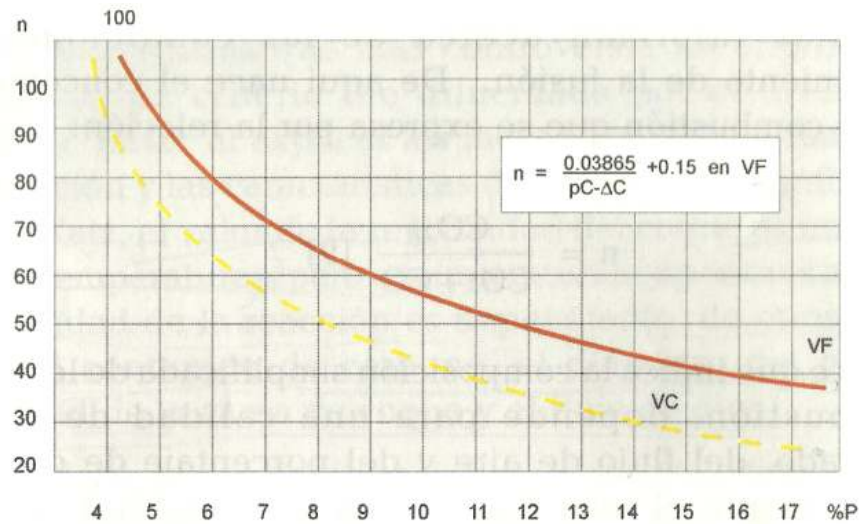
p: % de coque entre carga

C: % de carbono del coque

$\Delta C$ : % de carburación de la fundición

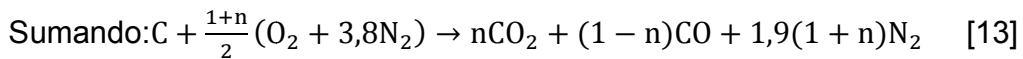
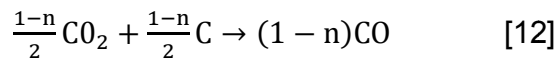
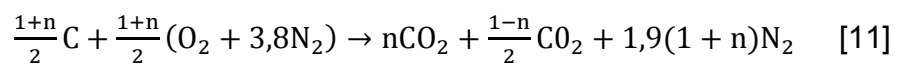
La relación [10] está representada en la figura 2.

**Figura 2.** Influencia del porcentaje de coque entre carga sobre el índice de combustión según Jungbluth. (1)



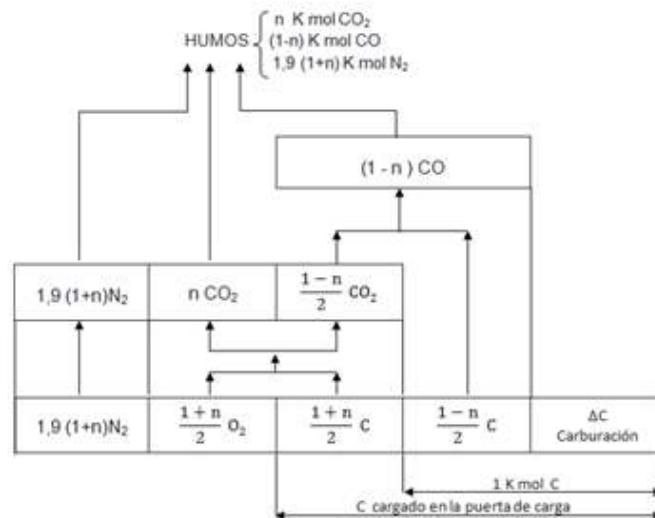
**Fuente:** ALONSO, BAQUERO ARNALDO. Diseño, operación y control del cubilote. Bucaramanga: Editorial y publicaciones UIS. 2000. p.6-11

De la relación [10] se tiene que  $n = \frac{X}{2-X}$ . Si se expresan las relaciones [6], [7] y [8], en función del índice de combustión n para un kilomol de carbono, estas ecuaciones se transforman en:



Estas reacciones definen la fusión del cubilote en función del índice de combustión n. La Figura 3 expresa de manera esquemática la ocurrencia de dichas reacciones. A partir de ellas se pueden determinar diferentes parámetros que influyen la operación del horno.

**Figura 3.** Representación gráfica de la combustión simplificada del coque en el Cubilote (1)



**Fuente:** ALONSO, BAQUERO ARNALDO. Diseño, operación y control del cubilote. Bucaramanga: Editorial y publicaciones UIS. 2000. p.6-11

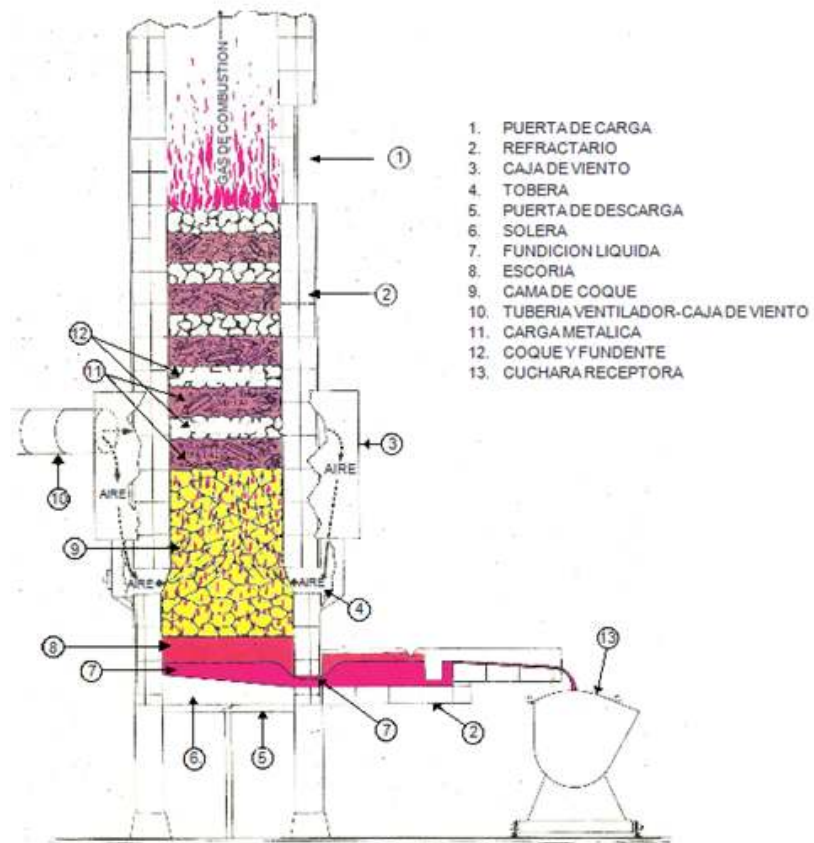
#### 4. CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DEL CUBILOTE

- **Cimentación y Soportes**

La cimentación puede ser de ladrillo o de hormigón y debe quedar unos 15 cm abajo del nivel del piso de la fundición para que se pueda llenar con arena u otro material aislante de calor, para proteger la zapata de concreto.

Los soportes del cubilote están hechos a modo de columna de acero, y deben ser rellenos con concreto reforzado. Estos soportes están atornillados al lado de abajo de las gruesas viguetas de la estructura de la base. Los soportes del cubilote varían en altura de acuerdo a las necesidades locales, pero la altura mínima deberá permitir la libre abertura de las puertas del fondo y la facilidad de retirar la descarga del cubilote. (2)

**Figura 4.** Partes del Cubilote (3)



**Fuente:** Danis, F. et Decrop, M. Influence du débit de vent, du calibre du coke et du taux de coke entre charges sur le fonctionnement du cubilot. En: Fonderie No. 148. (may, 1958); p. 215

#### 4.1 CORAZA

La envuelta de acero suele ser de chapa de aproximadamente 3 o 4 mm de espesor, rodada en forma de secciones cilíndricas y remachadas, atornilladas o soldadas unas a otras. En el interior de la coraza, y a intervalos regularmente espaciados, están atornillados unos segmentos en forma de repisa, para soportar

el revestimiento. En los hornos más grandes se emplean chapas de hasta 12 mm de espesor.

#### 4.2 TUBERIA VENTILADOR – CAJA DE VIENTO

En términos generales la tubería que va del ventilador a la caja de viento debe ser recta, con un diámetro suficiente para reducir las pérdidas de presión. Su diámetro se calcula en función del soplo, para una velocidad de aire del orden de 15 m/s. Su unión con la caja de viento debe ser tangencial y hacerse en la parte superior de la misma. Figura 5. La sección de la tubería se determina de manera práctica por la expresión<sup>6</sup>: (4)

$$St = 106Di^2p \quad [14]$$

En donde:

St: sección tubería ventilador - caja de viento, cm<sup>2</sup>

p: porcentaje de coque entre carga, para un p máximo de 15%.

Di: Diámetro interno del cubilote, en dm.

También se puede determinar la sección de la tubería ventilador- caja de viento calculando el valor de su diámetro interno, según la expresión y se representa geoméricamente en la figura 5:

$$dt = 0.45Di \quad [15]$$

---

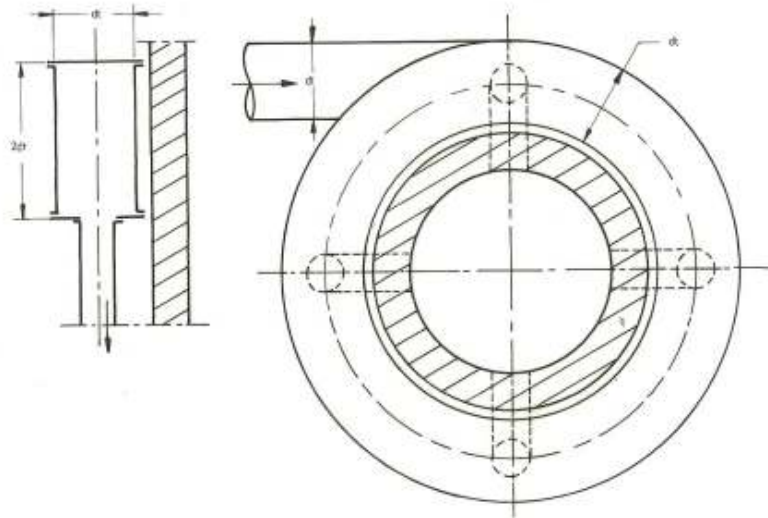
<sup>6</sup> CENTRE TECHNIQUE DES INDUSTRIES DE LA FONDERIE. Aide- Mémoire du fondeur. Paris: Editions Technique des Industries de la Fonderie, 1952. P. 3.

En donde:

dt: Diámetro interno de la tubería ventilador – caja de viento

Di: Diámetro interno del cubilote

**Figura 5.** Caja de Viento (4)



**Fuente:** ALONSO, BAQUERO ARNALDO. Diseño, operación y control del cubilote. Bucaramanga: División Editorial y de publicaciones UIS. 2000. Pág. 53-55

### 4.3. CAJA DE VIENTO

Está situada de 60 a 150 cm sobre la placa base y rodea a toda la envuelta, está fuertemente soldada a la sección del cuerpo para eliminar fugas de aire. La caja de viento debe tener un volumen suficiente para permitir una distribución regular del aire en las toberas. Su altura será igual a dos veces el diámetro de la tubería ventilador – caja de viento, y su anchura igual al diámetro de la misma. Con estas medidas se obtiene una sección de la caja superior a la sección de la tubería

ventilador - caja de viento. En general, el volumen mínimo de la caja de viento deberá ser igual al volumen de aire que envía el ventilador por segundo, para un porcentaje de coque entre carga correspondiente al 15%. Se recomienda utilizar cajas de viento altas o suspendidas, y en lo posible equilibradas, para así mejorar la distribución de aire en las toberas. El equilibrio se alcanza al colocar en su parte interna, en la mitad de su altura, un tabique horizontal que divide la caja en dos partes iguales. La sección de paso debe ser al menos igual a la sección de llegada del aire.

#### 4.4. TUBERIA CAJA DE VIENTO – TOBERAS

La sección total de la tubería caja de viento - toberas será igual a la sección de la tubería ventilador – caja de viento. Su número está definido por el número de toberas. Como ocurre con el cálculo de la sección de la tubería ventilador- caja de viento, la sección de cada segmento de la tubería caja de viento - toberas se determina para una velocidad del aire equivalente a 15 m/s, y se expresa por la relación:

$$S_{to} = \frac{106Di^2p}{n_o} \quad [16]$$

En donde:

$S_{to}$ : Sección tubería caja de viento – toberas, en  $\text{cm}^2$

$n_o$ : Número de toberas

#### 4.5. TOBERAS

Se encuentran ubicadas interiormente alrededor de la coraza metálica, conducen el aire al interior del cubilote, deben ser lo suficientemente grandes para suministrar la cantidad necesaria de aire a la cama de coque, las dimensiones de las toberas dependen del tamaño del horno, según los profesionales en esta rama, la suma del área de las toberas debe estar entre 12,5%-25% del área de la sección transversal del cubilote.

Las toberas pueden ser redondas, cuadradas o rectangulares, también deben tener una inclinación hacia el interior del horno de 7° a 15°. El tamaño y diseño de las toberas es exagerado con frecuencia, y realmente se tendrán más beneficios si se corrige una práctica defectuosa que si se cambia el diseño o tamaño de las toberas. Una distribución correcta del material cargado evitará muchas de las dificultades atribuidas a las toberas.<sup>7</sup>

Las toberas más sencillas con buena práctica producirán buenos resultados y por esta razón la mayoría de los fabricantes abastecen toberas de diseño sencillo.<sup>8</sup>

- **Toberas autoescoriantes**

La tendencia actual está a favor de las toberas autoescoriantes. Su instalación evita estar abriendo y cerrando las toberas para su limpieza durante la marcha, lo cual afecta el buen funcionamiento de la combustión. La adecuada operación de este tipo de toberas incluye dos condiciones:

- Cierre estanco de las toberas
- Distancia superior a 200 mm entre la tobera que está en funcionamiento y la que esta auto limpiándose.

---

<sup>7</sup> Sam Carter y Ralph Carlsen, "Acid Cupola Slags and Some Relationships to Melting Conditions", AFS TRANSACTIONS, Vol. 61, Pág 527 (1953)

<sup>8</sup> Bernard P. Mulcahy, "How to use the cupola", Foundry, enero 1952, Pág. 152

La última condición obliga a adoptar distancias iguales o superiores a 600 mm entre dos toberas en servicio simultáneo. Esta condición limita la instalación de las toberas autolimpiantes en cubilotes pequeños.

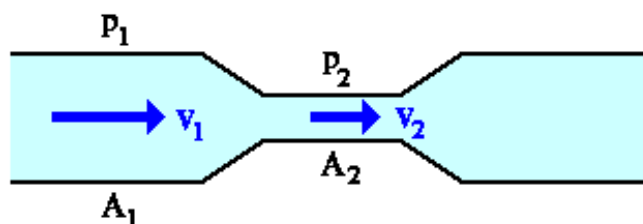
A este respecto merece mencionarse la afortunada instalación de toberas autolimpiantes en un cubilote de 600 mm de diámetro interno realizado en la Universidad Industrial de Santander.<sup>9</sup>

#### 4.6. EQUIPO DE MEDIDA DEL SOPLO

##### Tubo Venturi

Es un dispositivo que origina una pérdida de presión cuando por él pasa un fluido. En esencia, consta de una tubería corta recta, o garganta, entre dos tramos cónicos. Figura 6. El tubo venturi no necesita para su instalación un segmento rectilíneo, pero si es necesario que este posea dos tomas de presión como mínimo, tanto en la tubería de entrada como en la sección de estrangulamiento, las presiones medidas por el venturi son del orden de 100mm a 300mm de agua. Además las pérdidas de presión originadas por el venturi son entre 10 y 15% de la presión diferencial medida.

**Figura 6.** Tubo venturi



**Fuente:** <http://mecanicadefluidos5.blogspot.com/2010/10/medidores-de-velocidad-y-caudal-en.html>

<sup>9</sup> ALONSO, A. Diseño construcción y puesta en marcha de un dispositivo de extracción continua de metal-escoria por sifones separados en el cubilote. Informe final. Proyecto Colciencias, código: 1102-08-003-92. oct. 1995. P. 46,48.

Este elemento primario de medida se inserta en la tubería como un tramo de la misma, se instala en todo tipo de tuberías mediante bridas de conexión adecuadas. El venturi tiene una sección de entrada de diámetro igual al diámetro de conducción de la tubería a la cual se conecta. La sección de entrada conduce hacia un cono de convergencia angular fija, terminando en una garganta de un diámetro más reducido, se fabrica exactamente según las dimensiones que establece su cálculo. La garganta se comunica con un cono de salida o de descarga con divergencia angular fija, cuyo diámetro final es habitualmente igual al de entrada. Para el venturi que se utilizó en el diseño representado en la figura 7, la relación de la sección de estrangulamiento a la sección de la tubería, es igual a 0.25. Es decir:

$$m = \frac{S_e}{S_t} = 0.25 \quad [17]$$

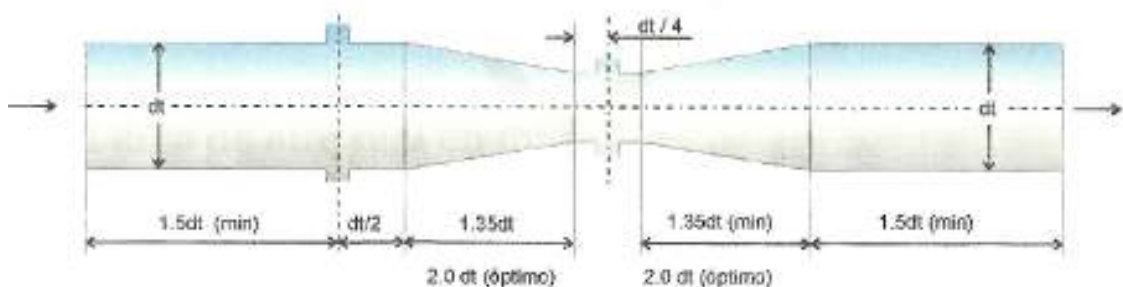
En donde:

m: Coeficiente de derrame.

Se: Sección de estrangulamiento

St: Sección de la tubería de entrada

**Figura 7.** Dimensiones del Venturi (5)



**Fuente:** ALONSO, BAQUERO ARNALDO. Diseño, operación y control del cubilote. Bucaramanga: Editorial y publicaciones UIS. 2000. Pág. 68

Para estas condiciones el flujo de aire teórico  $Q_t$ , medido por el venturi estará determinado por la expresión:

$$Q_t = \frac{3}{4} dt^2 \sqrt{\Delta H} \quad [18]$$

#### **4.7. PIQUERAS DE METAL Y ESCORIA**

Por la piqueta de metal fluye el metal fundido hasta el caldero de colada, por lo cual su revestimiento es de un material refractario, la altura del orificio de sangrado de metal está entre 10 cm a 30 cm respecto a la placa base y deberá tener la forma de un cono truncado, con el diámetro mayor hacia el exterior del cubilote, para facilitar la introducción y remoción de los tapones durante la operación de colada.

El canal de escoria debe estar situado a igual distancia de las dos toberas adyacentes para evitar que el viento que entra por estas enfríe demasiado la escoria e impida que cuele libremente por el agujero destinado a ella, debe estar localizado ligeramente arriba del nivel del hierro, es decir la altura aproximada que alcanza el metal fundido dentro del crisol.

Estos orificios están localizados generalmente  $180^\circ$  uno de otro, aunque la distancia entre ellos puede ser sobre la circunferencia de la coraza, a cualquier distancia conveniente y práctica. El diámetro de los agujeros varía del 1% al 2% del diámetro interior del cubilote.

#### **4.8. PUERTA DE CARGA**

En los cubilotes cargados a mano estas aberturas están relativamente bajas para dar mayor facilidad al operario, pero en los cubilotes grandes esta altura es de

unos 4 m aproximadamente desde la placa del fondo hasta el umbral de la puerta de carga. Cuando se realiza la carga mecánicamente, esta puerta esta ubicada a un nivel más alto, para permitir una absorción más eficiente de calor de los gases de escape que ascienden. (6)

#### **4.9. CHIMENEA**

Cuando la chimenea pasa a través del techo del edificio, deberá dejarse un espacio entre la chimenea y la estructura del techo, por razones de protección contra incendios. Esta debe ser cubierta por un capuchón, para protección contra las inclemencias del tiempo.<sup>10</sup> Algunos hornos están provistos con un supresor de chispas, pero este no evita que las cenizas se acumulen en los techos adyacentes, ni elimina ninguna condición indeseable de los gases de escape.

#### **4.10. VENTILADOR Y POTENCIA ÚTIL DEL VENTILADOR**

El ventilador centrífugo es un soplador que gira a velocidad constante y trabaja a bajas presiones. Su objetivo es impulsar un cierto flujo de aire dentro del cubilote, venciendo las pérdidas de presión que se originan en el circuito. El ventilador aspira el aire generalmente a la presión atmosférica, por lo tanto la presión de entrada es esta presión. La presión de salida es aquella superior a la presión atmosférica medida a la salida del ventilador. Las variables que caracterizan al ventilador son, por lo tanto, el flujo de aire  $Q$  que él suministra, y la presión total de aire  $H_t$ , medida entre la entrada y la salida del ventilador.

La potencia ejercida por el ventilador para vencer las pérdidas de presión que se originan en el cubilote y en el circuito de aire se llama potencia útil, **Pu**. Se expresa

---

<sup>10</sup> SOCIETY, A. F. El horno de cubilote y su operación. Editorial Continental S.A. Julio de 1961. Pág. 314

por la relación:

$$P_u = \frac{Q_{m\acute{a}x} * H_{m\acute{a}x}}{75} \quad [19]$$

En donde:

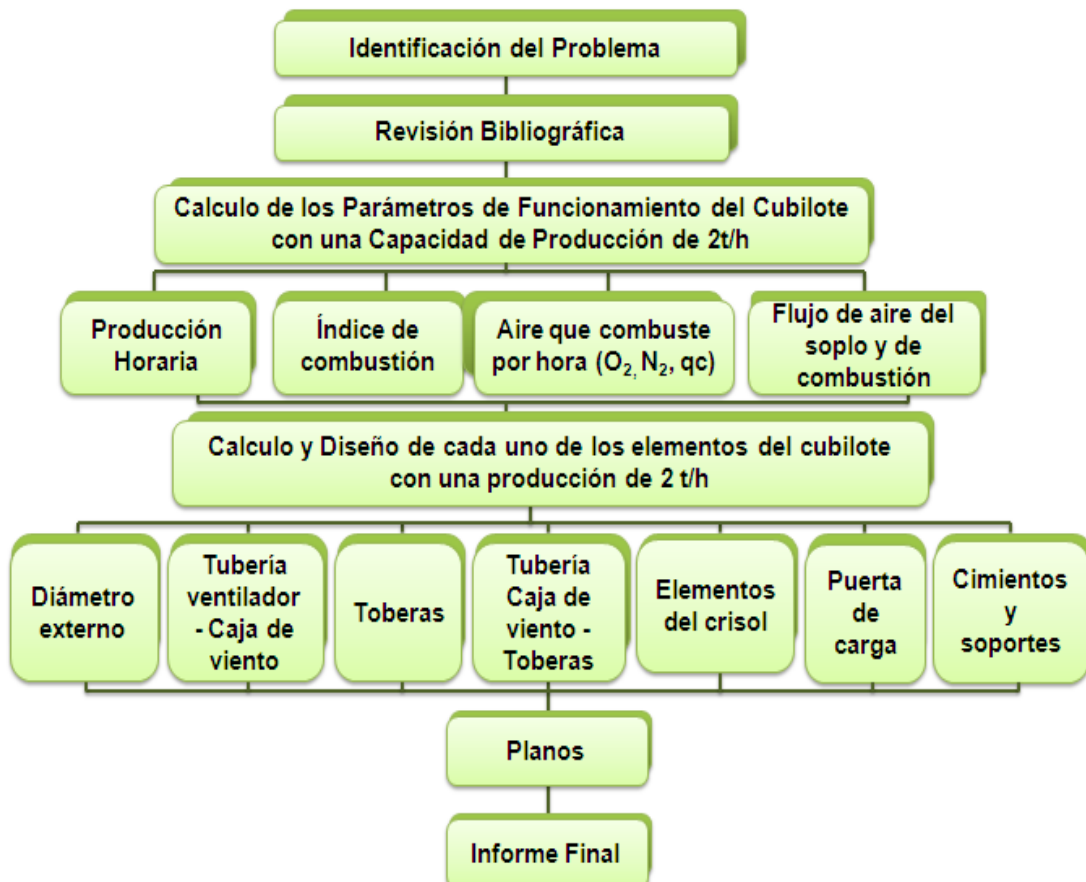
Pu: Potencia útil, en C.V.

Q máx: Flujo de aire máximo, en m<sup>3</sup>/s

Ht máx: Presión total máxima, en mm. de agua

## 5. METODOLOGIA

La metodología desarrollada en este trabajo de grado consistió en 6 actividades ilustradas en el siguiente diagrama:



## **5.1 IDENTIFICACION DEL PROBLEMA**

Actualmente el horno de la empresa IDEA arroja una producción aproximada de 850Kg/h de hierro gris, en una jornada de fundición de alrededor de 8 horas continuas. En estas condiciones los costos se elevan por el pago de horas extras necesarias para alcanzar la producción programada.

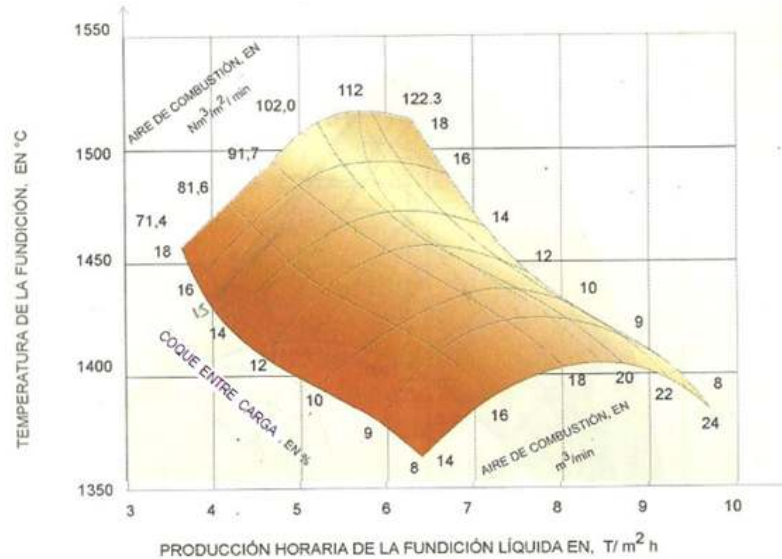
## **5.2 REVISION BIBLIOGRAFICA**

Esta actividad se llevó a cabo durante el desarrollo del proyecto y consistió en la documentación bibliográfica desde libros especializados, información digital y páginas de internet, lo cual permitió obtener la información y los conocimientos necesarios en temas específicos tales como el diseño del cubilote, software para el diseño de los distintos elementos que constituyen el horno.

## **5.3 CALCULO DE LOS PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL CUBILOTE CON UNA PRODUCCION ÓPTIMA DE 2 t/h**

Los parámetros que regulan la fusión en el cubilote son el porcentaje de coque entre carga y el flujo de aire. Los parámetros dependientes son la temperatura de la fundición líquida, la producción horaria y la composición química. Todo se encuentra representado en la figura 8 que me muestra el diagrama reticular del cubilote.

**Figura 8.** Diagrama reticular estándar de un cubilote de viento frío, enfriado con agua, según Jungbluth (7,8,9)



**Fuente:** GUYOT, J. Manuel du cubilot. Paris. Ed. 1a. Editions Techniques des Industries de la Fonderie, 1980. p. 18,19.

Para el diseño estructural y dimensionamiento de los diferentes elementos del cubilote de la empresa idea (Girón- Santander), se han establecido inicialmente: Diámetro interno (Di) de 600 mm, doble hilera de refractario, doble hilera de toberas (Toberas autoescoriantes o autolimpiantes)

El parámetro que define las dimensiones de los diferentes elementos del horno de cubilote es el diámetro interno, es por ello que para realizar los cálculos y el respectivo diseño es de gran importancia tener este bien definido.

Asumiendo 15% de coque entre carga (porcentaje seleccionado porque permite obtener las mejores condiciones térmicas, metalúrgicas y económicas) y un porcentaje de carbono en el coque de 87%

### 5.3.1 Temperatura de la Fundición Líquida

La temperatura de la fundición líquida la podemos observar en el diagrama reticular del cubilote (figura 8), para una producción máxima, mínima y óptima ( $70D_i^2$ ,  $40D_i^2$  y  $60D_i^2$  respectivamente), en función de un porcentaje de coque entre carga entre el 10% y el 15%.

Sabiendo que el 15% de coque entre carga equivale al 18.39% de carbono entre carga, considerando un  $\Delta C$  del 1%, para una producción óptima de 2160 Kg/h se tiene una temperatura por encima de  $1450^\circ \text{C}$ ., y para un 10% de coque entre carga que equivale al 12.06% de carbono entre carga, considerando un  $\Delta C$  del 0.5%, se tiene una temperatura de alrededor de  $1400^\circ \text{C}$ .

### 5.3.2 Producción Horaria

La producción horaria del cubilote para un horno determinado es función del caudal de aire, del porcentaje de coque entre carga y del índice de combustión tabla 1 y tabla 2 respectivamente. Se considera que la producción horaria varía entre una producción mínima de  $40D_i^2$  y una producción máxima de  $70D_i^2$  Kg/h.

**Tabla 1.** Producción horaria en Kg/h para un cubilote con  $D_i=600\text{mm}$

Rangos De Producción Horaria	[Kg/h]
$P_{\text{mín}} = 40D_i^2$	1440
$P_{54} = 54D_i^2$	1944
$P_o = 60D_i^2$	2160(optima)
$P_{\text{máx}} = 70D_i^2$	2520

**Fuente:** Los autores

### 5.3.3 Índice de Combustión

Porcentaje de coque entre carga (p):

- $p_{\text{mín.}} = 10\%$  y  $p_{\text{máx.}} = 15\%$

$$n = \frac{0.03865}{pC - \Delta C} + 0.15 \quad [20]$$

**Tabla 2.** Índice de Combustión

<b>P [%]</b>	<b>n</b>
10	0.65
11	0.60
12	0.56
13	0.52
14	0.49
15	0.47

**Fuente:** Los Autores

### 5.3.4 Aire que combuste por hora (O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, qc)

- **Carbono que combuste por hora (Ch)**

$$Ch = P(pC - \Delta C) \quad [21]$$

- **Aire de combustión por hora**

$$O_2 \text{ que combuste por hora} = 0.933(1 + n)Ch \quad [m^3/h] \quad [22]$$

$$N_2 \text{ que combuste por hora} = 3.547(1 + n)Ch \quad [m^3/h] \quad [23]$$

$$\text{Aire consumido (qc)} = 4.48(1 + n)Ch \quad [m^3/h] \quad [24]$$

Los resultados de las anteriores relaciones están representados en la tabla 3.

**Tabla 3.** Aire de combustión por hora para P<sub>min.</sub> y P<sub>o.</sub>

<b>P[Kg/h]</b>		<b>1440</b>				<b>2160</b>			
<b>φ [%]</b>	<b>n</b>	<b>Ch</b>	<b>O<sub>2</sub></b>	<b>N<sub>2</sub></b>	<b>qc</b>	<b>Ch</b>	<b>O<sub>2</sub></b>	<b>N<sub>2</sub></b>	<b>qc</b>
10	0,65	110,88	170,69	648,93	819,62	166,32	256,04	973,40	1229,44
11	0,6	123,41	184,23	700,38	884,60	185,11	276,33	1050,54	1326,87
12	0,56	135,94	197,86	752,20	950,06	203,90	296,77	1128,24	1425,02
13	0,52	148,46	210,54	800,41	1010,95	222,70	315,82	1200,67	1516,50
14	0,49	161	223,82	850,89	1074,71	241,49	335,71	1276,28	1611,99
15	0,47	173,52	237,98	904,75	1142,73	260,28	356,98	1357,12	1714,10

**Fuente:** Los Autores

### 5.3.5 Flujo de aire (Q)

El flujo de aire soplado puede medirse por un dispositivo automático, del que existen varios tipos en el mercado, para nuestro caso se medirá el flujo de aire con el venturi (figura 6), según la literatura se puede determinar el flujo de aire soplado promedio del cubilote mediante la expresión[25], los resultados se muestran en la tabla 4:

$$Q_s = 5.7Di^2p \quad [25]$$

Para hallar el flujo de combustión (Q<sub>c</sub>) se tuvieron en cuenta las siguientes condiciones:

$$Q_c = 4,48(1 + n)P(pC - \Delta C) \quad [m^3/h] \quad [26]$$

- Producción máxima: P<sub>máx</sub> = 2520 Kg/h
- Porcentaje de coque entre carga: p = 17%

- Porcentaje de carbono en el coque:  $C = 87\%$
- Porcentaje de carburación: de la fundición:  $\Delta C = 1\%$

**Tabla 4.** Flujo de aire soplado y de combustión en  $m^3/s$

p [%]	n	Qc[m <sup>3</sup> /s]	Qs[m <sup>3</sup> /s]
10	0,65	0,40	0,57
11	0,6	0,43	0,63
12	0,56	0,46	0,68
13	0,52	0,49	0,74
14	0,49	0,52	0,80
15	0,47	0,56	0,86
17	0,43	0,62	0,97

**Fuente:** Los Autores

Para una producción horaria máxima de  $70Di^2$  y un 17% de coque entre carga, se obtiene un flujo de combustión  $Q_c = 0,56 m^3/s$  y un flujo de aire soplado  $Q_s = 0,97 m^3/s$ , flujo teórico máximo que se tuvo en cuenta para hallar la potencia útil del ventilador

### 5.3.6 Potencia Útil del Ventilador

La Potencia útil se expresa por la relación [19], donde  $Q_{m\acute{a}x}$  es de  $0.97 m^3/s$  siendo éste el valor del flujo máximo obtenido para una producción  $70Di^2$  de  $2520 m^3/s$  y un porcentaje de coque entre carga del 17% (máximo porcentaje estimado) y  $H_{m\acute{a}x}$  es de 800 mm siendo ésta la presión total medida en la caja de viento en mm, de agua, considerando las pérdidas de presión originadas por la tubería ventilador-caja de viento y el dispositivo de medida de presión (venturi).

Conociendo los valores se calcula la potencia útil.

$$P_u = \frac{(0,97 * 800)}{75}$$

$$P_u = 10,35 \text{ CV} = 10,21 \text{ HP} = 7,61 \text{ Kw}$$

Potencia del Motor

La potencia suministrada por el motor es igual a la Potencia útil sobre el rendimiento, el rendimiento del ventilador será del 60% y de esta manera la potencia del motor es:

$$P_{\text{motor}} = \frac{P_u}{\rho} \quad [27]$$

$$P_{\text{motor}} = \frac{P_u}{0,6} \quad P_{\text{motor}} = \frac{10,35}{0,6} = 17,25 \text{ CV}$$

$$P_{\text{motor}} = 17,25 \text{ CV} = 17,01 \text{ HP} = 12,69 \text{ Kw}$$

#### **5.4. CALCULO Y DISEÑO EN SolidWorks 2007 DE CADA UNO DE LOS ELEMENTOS DEL CUBILOTE CON UNA PRODUCCIÓN DE 2 t/h**

Esta actividad se llevo a cabo en 2 etapas distribuidas en el cálculo de las dimensiones y diseño de los distintos elementos del horno de cubilote de 600 mm de diámetro interno empleando la herramienta CAD SolidWorks 2007.

- **Diseño en SolidWorks 2007**



El diseño forma parte del desarrollo humano. Con la aplicación de nociones del diseño, el hombre ha podido evolucionar y satisfacer sus necesidades. El surgimiento de la industria implicó la aparición de una nueva área de aplicación para el diseño.

A través del diseño se busca la modificación de ideas, crear objetos nuevos, con la finalidad de convertirlos en objetos útiles o atractivos, para que cubran las necesidades humanas, adaptando los objetos en forma y funciones.

Por lo general, las herramientas que se aplican al diseño son de tipo visual, ya que los conceptos y las ideas se representan con imágenes. Para el desarrollo de este proyecto se utilizó la herramienta CAD (Diseño asistido por Computador) SolidWorks, CAD es todo sistema informático destinado para asistir al diseñador en su labor que permite agilizar y mejorar la representación de sus diseños. SolidWorks es un software CAD mecánico en 3D que ofrece a los ingenieros, diseñadores y otros profesionales creativos las herramientas que precisan para diseñar de manera más rápida e inteligente, con el propósito de obtener mejores productos. (10) Todas las herramientas de este programa ayudan al usuario a crear mejores diseños ya que el programa es de alto rendimiento.

Muchos de los parámetros de diseño del cubilote son resultado de la experiencia que se ha obtenido durante años de operación de este horno, sin embargo en las últimas décadas se han llevado a cabo una serie de investigaciones que permiten un acercamiento a la realidad de funcionamiento adecuado del horno.

#### 5.4.1. Carcasa

Se estableció un diámetro de 1040 mm, el cual se determinó considerando:

- Espesor del refractario ( $e_r$ ):

$$e_r = 200\text{mm}$$

Se dejó una luz de 20 mm entre lámina y refractario considerando la dilatación térmica por los cambios de temperatura, entonces el Diámetro externo ( $D_e$ ) resultó:

$$D_e = D_i + \underbrace{2(220)}$$

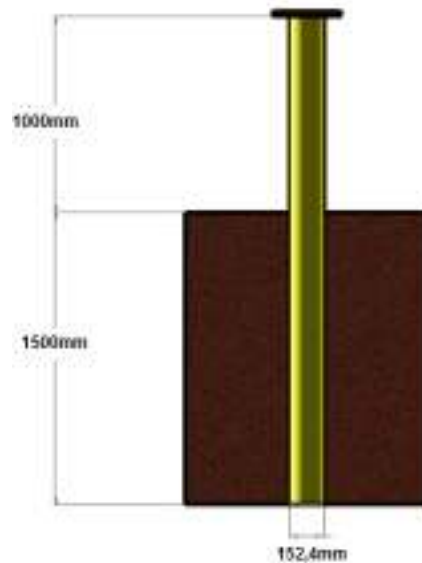
Doble hilera de refractario

$$D_e = 600 + 440 = 1040\text{mm}$$

#### 5.4.2. Soportes

Los cuatro soportes del cubilote (figura 9) hechos a modo de columnas de acero, deben ser rellenados con concreto reforzado y se colocan a una profundidad de 1500 mm bajo el nivel del suelo, quedando por encima de una longitud de 1000 mm. (Figura 9)

**Figura 9.** Especificaciones de los soportes.

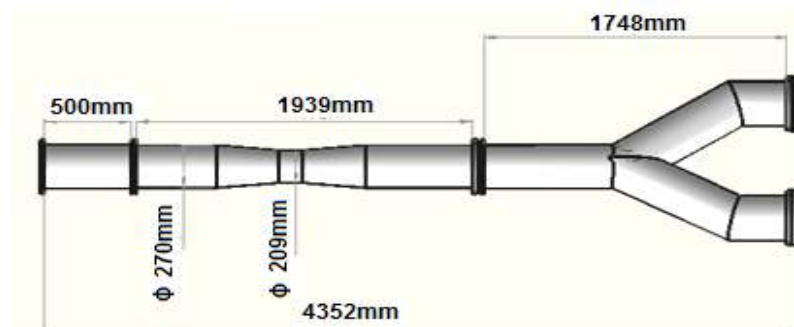


**Fuente:** Los autores

#### 5.4.3. Tubería Ventilador – Caja de Viento

Siguiendo la ecuación [15] para el cubilote con  $D_i = 600$  mm con una producción óptima de 2 t/h el Diámetro interno de la tubería ventilador- caja de viento calculado representado en la figura 10 fue de 270 mm. (0.27 m)

**Figura 10.** Especificaciones de la tubería ventilador – caja de viento



**Fuente:** Los autores

- Sección de la Tubería Ventilador – Caja de Viento

Utilizando la ecuación [14] para el cubilote con  $D_i = 600$  mm y 15% de coque entre carga la sección de la tubería ventilador- caja de viento mostrada en la tabla 5 es de  $572.4 \text{ cm}^2$

**Tabla 5.** Sección tubería ventilador- caja de viento, para un  $p$  entre 10% y 15%

$p$ [%]	St [ $\text{cm}^2$ ]
10	381.6
11	419.76
12	457.92
13	496.08
14	534.24
15	572.4

**Fuente:** Los autores

#### 5.4.4. Caja de Viento

- Dimensiones de la Caja de Viento.

La altura de la caja de viento es dos veces el diámetro interno de la tubería ventilador- caja de viento y su ancho es igual diámetro al interno de la tubería ventilador- caja de viento, estas dimensiones se observan en la figura 11.

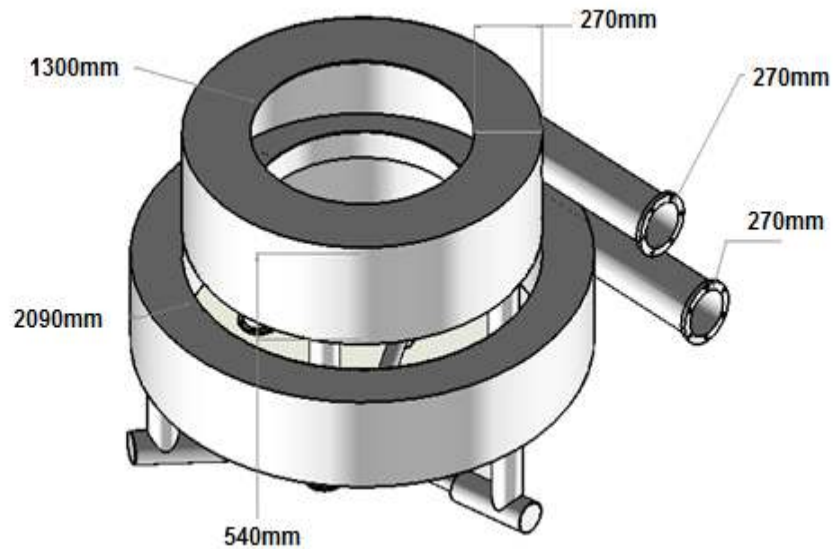
$$\text{Altura} = 2dt$$

$$\text{Altura} = 540 \text{ mm}$$

$$\text{Ancho} = dt$$

$$\text{Ancho} = 270 \text{ mm}$$

**Figura 11.** Especificaciones De La Caja De Viento



**Fuente:** Los Autores

#### **5.4.5. Toberas**

Número de toberas (no) = 3

Inclinación 8° con la horizontal

Velocidad del soplo en las toberas = 25m/s (11)

- **Diámetro de las toberas**

Para hallar este cálculo se tiene en cuenta la relación que hay entre la sección del cubilote y la sección de las toberas (figura 12), esta relación en los años de la década de los 70 se estimaba entre 1/4 y 1/12. Posteriormente la AFS<sup>11</sup>

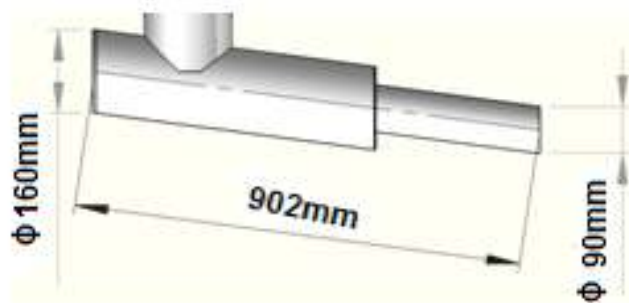
---

<sup>11</sup> AFS: American Foundry Society

recomendaba una relación de 1/20. Estas relaciones se establecían por dos consideraciones:

- Aumentar la velocidad del aire en las toberas.
- Mejorar la distribución del flujo

**Figura 12.** Especificaciones de las toberas



**Fuente:** Los Autores

Estas relaciones se consideraban en cubilotes con diámetro igual o superior a 600mm. Para cubilotes pequeños, con un diámetro menor a 500mm, no se tiene información. Para el caso del cubilote de la empresa IDEA con un diámetro interno de 600 mm tomamos una relación 1/15. Donde el diámetro de las toberas se muestra en la tabla 6 y para el caso de la empresa IDEA tomamos un diámetro de 89,54 mm ~ 90,00mm

$$\frac{1}{15} = \frac{\sum Sto}{\sum Scu} = \frac{3\left(\frac{\pi}{4} d t o^2\right)}{\frac{\pi}{4} D i^2} = \frac{3 d t o^2}{D i^2} \quad [28]$$

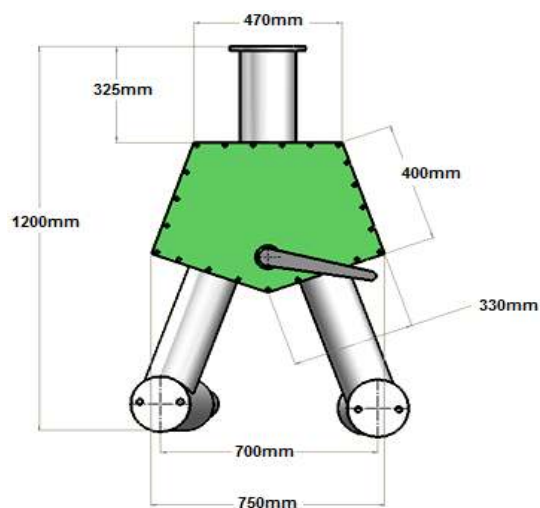
Las dimensiones del dispositivo de inversión del aire de las toberas autolimpiantes se están plasmadas en la figura 13.

**Tabla 6.** Diámetro de las toberas para diferentes relaciones entre la sección del cubilote y la sección de las toberas

Relación	Dto [cm]
1/12	100,0
1/14	92,58
1/15	89,54
1/16	86,60
1/18	81,65
1/20	77,46

**Fuente:** Los Autores

**Figura 13.** Dispositivo de Inversión del aire de las toberas autolimpiantes.



**Fuente:** Los Autores

#### 5.4.6. Tubería Caja de Viento – Toberas

- Sección Tubería Caja de Viento – Toberas por la expresión [16]:

$$Sto = \frac{106Di^2p}{n_0}$$

Teniendo en cuenta la anterior expresión encontramos las dimensiones de la tubería mostrada en la figura 14.

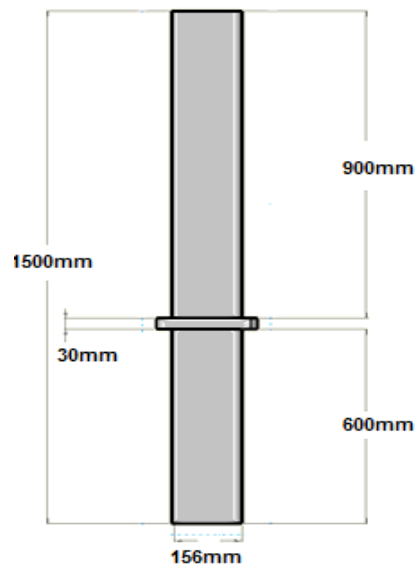
En donde:

Sto: Sección tubería caja de viento – toberas, en  $\text{cm}^2$

no: Número de toberas = 3

Este número de toberas se estableció en función del diámetro interno del cubilote, tabla 7.<sup>12</sup>

**Figura 14.** Especificaciones de la Tubería Caja de Viento – Toberas



**Fuente:** Los Autores

<sup>12</sup> ALONSO, BAQUERO ARNALDO. Diseño, operación y control del cubilote. Bucaramanga: División Editorial y de publicaciones UIS. 2000. Tabla 3.2. pág. 59

**Tabla 7.** Número de toberas en función del diámetro interno del cubilote

<b>Di [mm]</b>	<b>No. de Toberas</b>
500	2
600	3
700	3
800	3
900	3
1000	4
1100	4
1200	4
1300	4
1400	5
1500	5
1600	5

**Fuente:** ALONSO, BAQUERO ARNALDO. Diseño, operación y control del cubilote. Bucaramanga: División Editorial y de publicaciones UIS. 2000. Tabla 3.2. pág. 59

**Tabla 8.** Sección y diámetro de la tubería caja de viento - toberas

<b><i>p</i> [%]</b>	<b>Sto [cm<sup>2</sup>]</b>	<b>do[mm]</b>
10	127.2	127.3
11	139.92	133.5
12	152.64	139.4
13	165.36	145.1
14	178.08	150.6
15	190.8	156

do: Diámetro de la tubería caja de viento - toberas

**Fuente:** Los autores

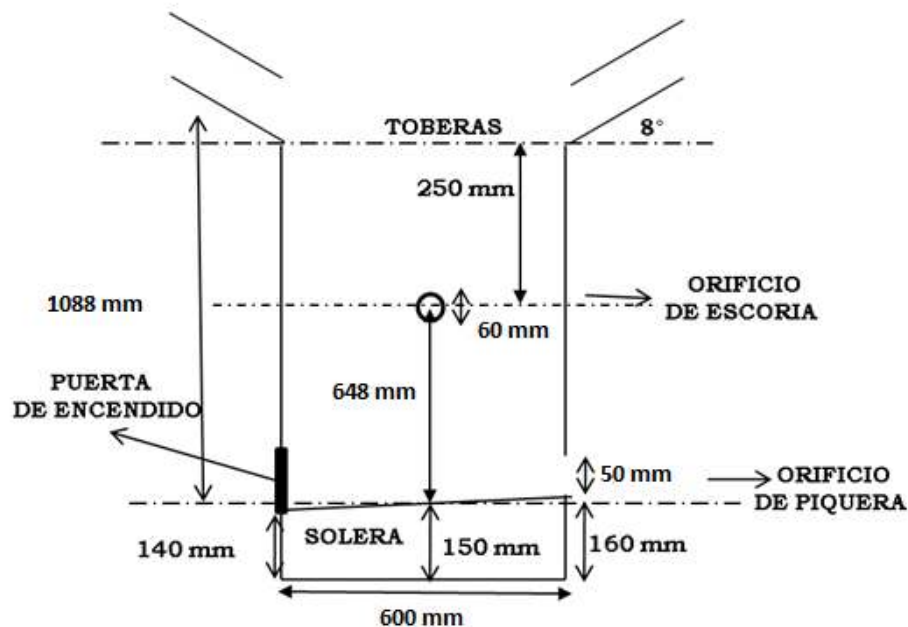
#### 5.4.7. Elementos del Crisol

La zona del crisol (figura 15) está comprendida desde la solera, el orificio de escoria y el plano inferior de las toberas. Hay tres alturas definidas: la de la solera, la altura desde la solera hasta la parte inferior del orificio de escoria y, desde la parte superior del orificio de escoria hasta el plano inferior de las toberas.

Las alturas se distribuirán de la siguiente manera:

- ✓ El espesor mayor de la solera es de 160mm y el inferior es de 140mm, para un espesor medio de 150mm.
- ✓ Distancia Solera – Orificio de Escoria: Normalmente se considera una distancia mínima de 450mm, lo cual equivale a una capacidad aproximada del 30 % de la producción horaria, para una producción óptima de 2160 Kg/h la distancia solera- orificio de escoria es de 648 mm

**Figura 15.** Especificaciones del crisol

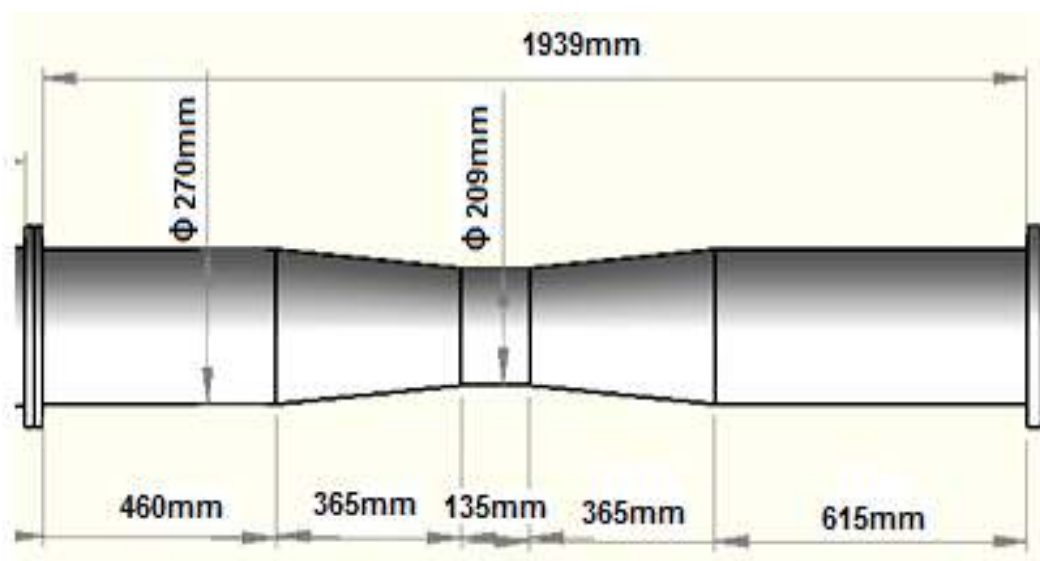


**Fuente:** Los autores

- ✓ El diámetro del orificio de escoria está comprendido entre 50 y 60 mm, con un ángulo de pendiente de 30% sobre el horizontal, para este caso el orificio tendrá un diámetro de 60 mm.
- ✓ Según la literatura una distancia entre 200mm y 300mm permite escoriar cada hora por lo tanto para nuestro diseño tomaremos una distancia Orificio de Escoria - Toberas promedio de 250mm
- ✓ Diámetro orificio piquera de fundición = 50mm

#### 5.4.8. Tubo Venturi

Figura 16. Especificaciones del venturi



Fuente: Los autores

#### 5.4.9 Estimación de la Altura Efectiva, He.

La altura efectiva se mide desde el plano de las toberas (primera hilera), hasta el plano inferior de la puerta de carga; de la altura efectiva depende la capacidad de precalentamiento del horno, por lo tanto este es un parámetro dimensional de gran importancia en el horno de cubilote:

$$Ip = \frac{V}{P} \quad [29]$$

En donde:

Ip: Índice de precalentamiento en m<sup>3</sup>/t/h

V: volumen entre el plano de las toberas y el plano inferior de la puerta de carga expresado en m<sup>3</sup>

P: Producción horaria expresada en t/h

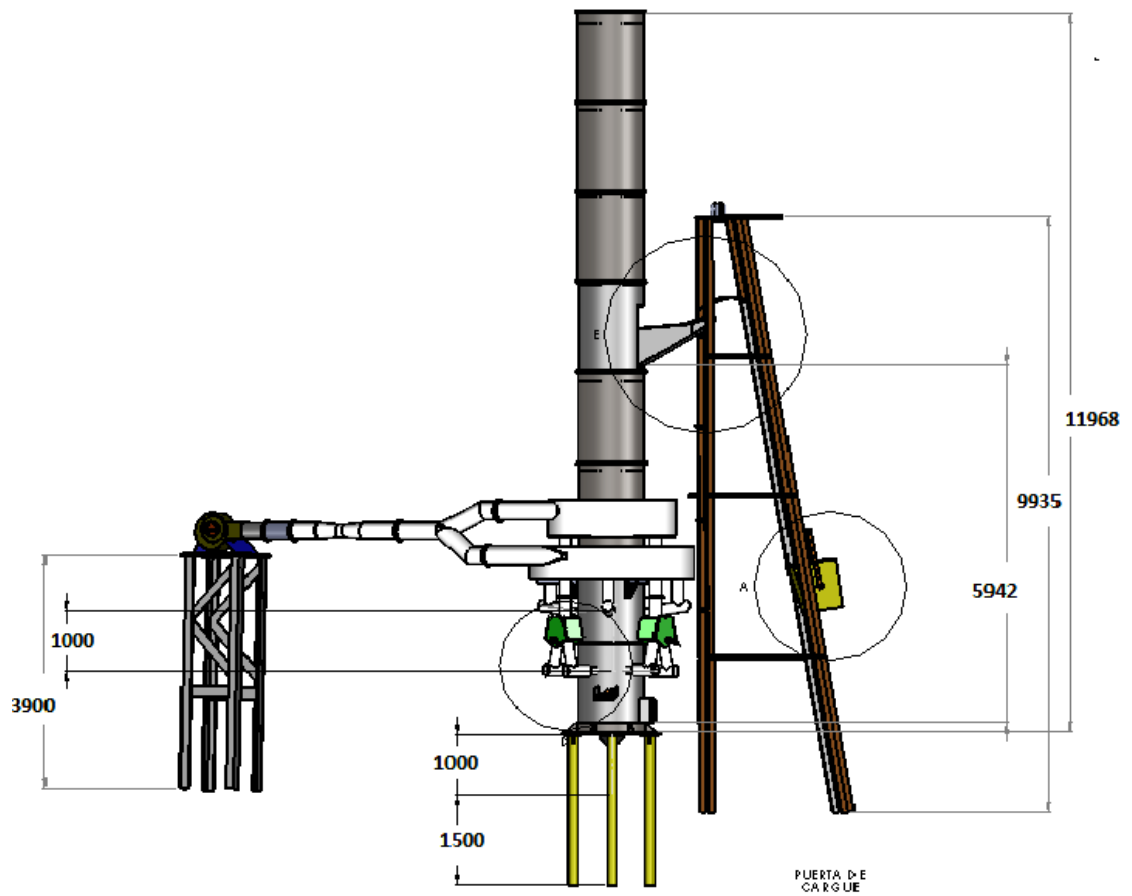
Para hornos como el que se diseña la altura efectiva varía entre 4 y 5 m.<sup>13</sup>, y en este caso el valor seleccionado fue de 4.80m. Dentro de esta altura se encuentra la altura de la cama de coque que tendrá un valor de 2m. (Cubilotes con dos hileras de toberas).

Basados en la altura efectiva de nuestro diseño se determinó el Ip promedio conveniente, el cual fue de 0.7 m<sup>3</sup>/t/h, teniendo en cuenta los cambios de temperatura en el horno influenciados por la doble hilera de refractario y teniendo en cuenta todos los parámetros observamos el diseño final para la empresa IDEA en la figura 17.

---

<sup>13</sup> Tesis: SOSA; José. Diseño de un cubilote de 700 mm. Ingeniería Mecánica. Escuela Politécnica Nacional. Ecuador .1981.

**Figura 17.** Horno cubilote diseñado para la empresa IDEA



**Fuente:** Los autores

## 5.5 SELECCIÓN DEL TRANSPORTE MECÁNICO PARA EL PROCESO DE CARGUE DEL HORNO DE CUBILOTE

Entre las partes que merecen mayor consideración se encuentran:

- ✓ Selección del cable
- ✓ Selección de la polea
- ✓ Selección del tambor de enrollamiento
- ✓ Diseño de la estructura

Las demás partes están dimensionadas sobre los planos.

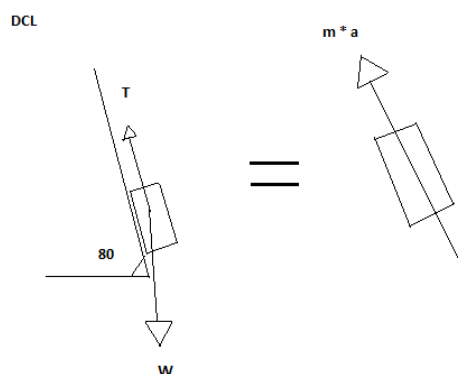
### 5.5.1. Selección del Cable

Para encontrar la Tensión máxima se tiene en cuenta que en el momento de arrancar el carro es cuando el cable va tener su mayor carga.

$$\sum F = m * a$$

$$T * \text{Sen } 80 - w = m * a$$

**Figura 18.** Diagrama de cuerpo libre del carro de carga



**Fuente:** Los autores

$$m = \frac{w}{g}$$

$$T = \frac{w}{g \cdot \sin 80} * (a + g) \quad (1)$$

$$V_f^2 = V_o^2 + 2ae$$

$$a = \frac{V_f^2}{2e} \quad (2)$$

Remplazando la ecuación (2) en la ecuación (1)

$$T = \frac{w}{g \cdot \sin 80} * \left( \frac{V_f^2}{2e} + g \right) \quad (3)$$

### Datos Conocidos

- ✓ Peso del carro cargado (W=400 Kg)
- ✓ Velocidad de régimen (Vf = 1 m/s)
- ✓ Espacio recorrido cuando el cable sufre la tensión máxima (e = 1 m)
- ✓ Gravedad (g = 9,8 m/s<sup>2</sup>)

Remplazando en (3).

$$T = \frac{400}{9,8 * \sin 80} * \left( \frac{1^2}{2 * 1} + 9,8 \right)$$

$$T = 427 \text{ kgf}$$

- Tensión Real para Seleccionar el cable adecuado

Tomando como factor de seguridad  $N = 6$  (12) tenemos:

$$T_{\text{real}} = T * N$$

$$T_{\text{real}} = 427 * 6$$

$$T_{\text{real}} = 2562 \text{ kgf} \quad (\text{Tensión de rotura del cable})$$

Después de obtener esta tensión se realizó la selección del cable más adecuado en la tabla 13, para nuestro caso. (13), el cual se refiere al cable 6X19 AF

**Tabla 9.** Selección del cable (13)

Diámetro (pulg)	Alma de Fibra			Peso aproximado Kg/m
	Peso aproximado Kg/m	Carga de rotura en Kgf		
		IPS	EIPS	
1/4	0,149	2.485	2.730	0,172
5/16	0,238	3.865	4.254	0,267
3/8	0,357	5.535	6.086	0,386
7/16	0,476	7.504	8.254	0,520
1/2	0,625	9.709	10.703	0,684
9/16	0,789	12.250	13.515	0,877
5/8	0,982	15.154	16.689	1,070
3/4	1,399	21.043	23.764	1,546

**Fuente:** “EMCOCABLES” Empresa Colombiana de Cables. Catalogo cables, en: <http://www.emcocables.com>. Visitado en marzo de 2011

De acuerdo a la tabla (9) la carga de rotura más próxima a la obtenida en los cálculos anteriores y la que se observa es 3865 kgf. Carga que corresponde al cable 5/16 “ 6X19 AF con las siguientes especificaciones:

Diámetro del cable      $D_c = 5/16 \text{ pul} = 8 \text{ mm}$   
 Peso aproximado        0,238 kg/m  
 Carga de rotura         3865 kgf  
 AF   alma de fibra

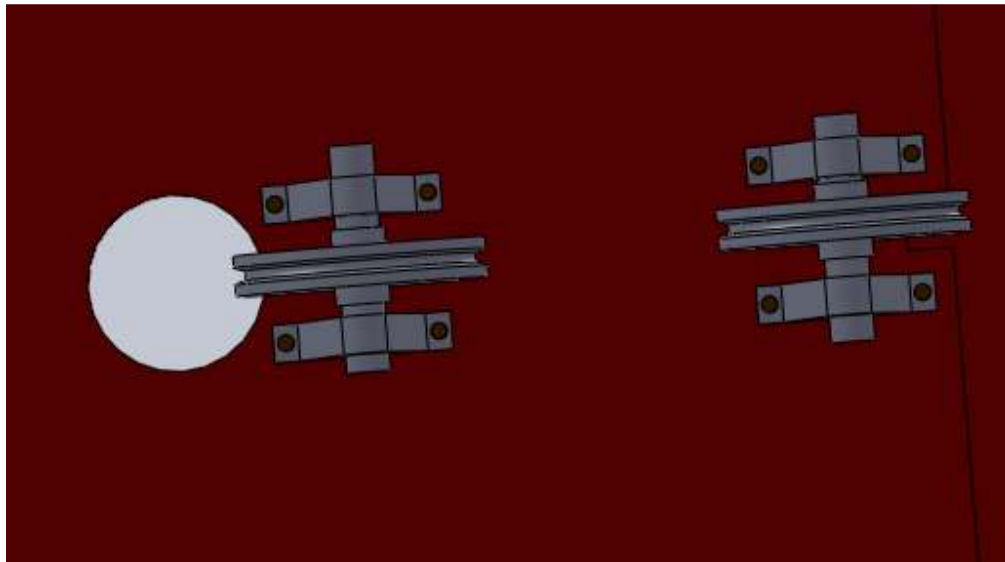
Numero de torones 6

Numero de alambres en cada torón 19

### 5.5.2 Selección de la polea

Hay que tener en cuenta que este proceso de selección está hecho para 2 poleas fijas figura 19 ya que el sistema de cargue para el horno cubilote está diseñado de esta manera.

**Figura 19.** Poleas fijas



**Fuente:** Los autores

Para el proceso de selección de la polea se tiene en cuenta el diámetro del cable que se ha seleccionado anteriormente según la norma DIN 4130.

Las dimensiones de la polea seleccionada están relacionadas en la tabla 10.

### Garganta

A = 32 mm, R = 5,4 mm, H = 20 mm

### Cuerpo

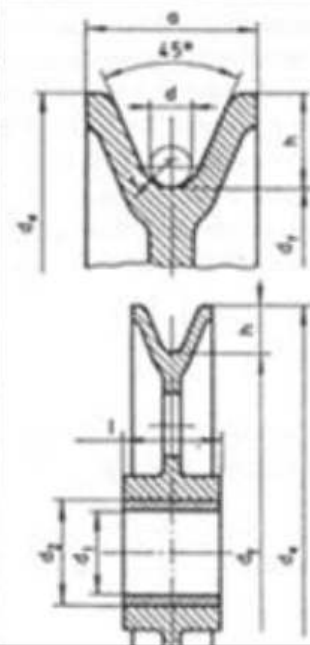
D1= 200mm, D2= 240 mm, Deje= 40mm

### Cojinete

D1= 40 mm, D2= 50 mm

**Tabla 10.** Poleas para cables de acero

GARGANTA					CUERPO			Cojinete		
Cable d	r	a		h	Diámetros		Eje d <sub>1</sub>	Diámetros		Long l
		Fund	Acero		d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>		d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	
3,5 - 5	2,7	25	25	15	100	130	20 - 25	25	35	60
5 - 6,5	3,5	30	30	17,5	125	160	25 - 30	30	40	
6,5 - 8	4,5	32	30	20	160	200	25 - 40	35	45	
8 - 10	5,4	36	32	20	200	240	20 - 50	40	50	70
10 - 13	7	40	36	25	250	300	25 - 60	45	57	80
13 - 16	8,5	50	45	30	315	375	30 - 80	50	62	90
16 - 22	12	60	55	30	400	460	40 - 100	55	68	
22 - 27	14,5	70	65	40	500	580	50 - 125	60	72	100
27 - 33	18	80	75	45	630	720	60 - 140	70	85	
27 - 33	18	85	80	45	710	800	70 - 160	80	95	120
33 - 43	23	95	90	50	800	900	80 - 180	90	105	
40 - 45	24	105	95	55	900	1010	90 - 200	100	115	140
40 - 54	24/29	115	105	60	1000	1120	90 - 200	110	125	
43 - 58	26/32	125	110	65	1120	1250	100 - 220	125	145	160
45 - 58	26/32	135	120	75	1250	1400	100 - 220	140	160	
51 - 58	32	135	130	75	1400	1550	100 - 220	160	180	180



**Fuente:** Norma DIN 4130, Maquinas y Herramientas. Larbuo. Nicolás. Tabla 4.9 pág. 306

### 5.5.3 Calculo del tambor de enrollamiento

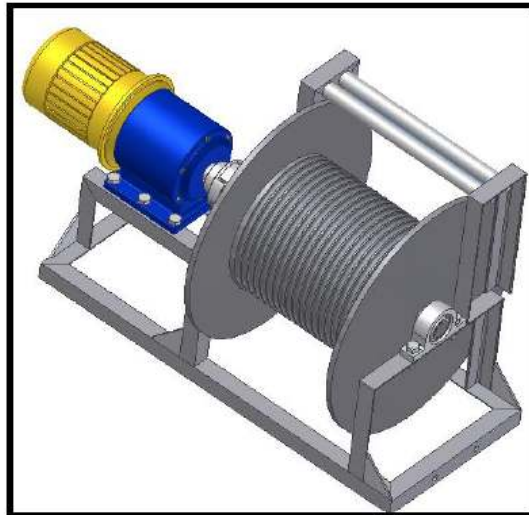
#### ✓ Longitud del tambor de enrollamiento

Para el cálculo del tambor de enrollamiento se debe tener en cuenta principalmente las desviaciones máximas permisibles de la línea de accionamiento

del cable entre tambor y polea, por cada metro de tambor la polea debe estar separada 20 m de este como mínimo. (13)

Teniendo en cuenta la recomendación hecha anteriormente podemos adaptar las necesidades de este proyecto figura 20 y así hallar la longitud del tambor de enrollamiento, tenemos que para 4.5m de longitud entre tambor y polea medida en los planos del carro la longitud del tambor de enrollamiento es: 0.225 m = 225 mm

**Figura 20.** Tambor de enrollamiento



**Fuente:** Los autores

- **Diámetro el Tambor De Enrollamiento**

Para hallar el diámetro del tambor (W) según la referencia (13) tenemos:

$$W = \frac{L_c}{\pi n_s}$$

L<sub>c</sub>= longitud del cable

n<sub>s</sub>: relación entre longitud de tambor (L) y el paso de enrollado (P).

$$P = D_c + 1 \text{ a } 3 \text{ [mm]}$$

$$P = 8 + 2 = 10\text{mm}$$

$$n_s = \frac{L}{P} = \frac{225}{10}$$

$$n_s = 22.5$$

$$W = \frac{L_c}{\pi n_s} = \frac{13477}{\pi * 22.5}$$

Entonces el diámetro del tambor resulta igual a 190 mm

- **Espesor del tambor de enrollamiento**

Para determinar el espesor del tambor se sigue la siguiente recomendación: (14)

$$e = 0.01W + 3\text{mm}$$

$$e = 0.01 * 190\text{mm} + 3\text{mm}$$

$$e = 5 \text{ mm}$$

- **Peso del tambor de enrollamiento**

$$V = V_{CILINDRO} + V_{TAPAS}$$

$$V = \pi(D^2) * L_{TAMBOR} + \pi D^2 * e$$

$$V = \pi(190^2) * 225 + 2 * \pi(332^2) * 5$$

$$V = 0.03 \text{ m}^3$$

$$M = \text{Densidad del acero} * V \quad (\text{Masa del tambor})$$

$$M = 7860 \frac{Kg}{m^3} * 0.03 = 227.8 Kg$$

$$W_{tambor} = M * g$$

$$W_{tambor} = 227.8 * 9.8 \frac{m}{s^2} = 2232 N = 2,232 K$$

- **Calculo del eje del tambor**

Para el diseño del eje se sigue el método descrito por la ASME (15) que presenta el diámetro del eje (**p**) como una función del tipo de carga, esfuerzos en los materiales y los momentos torsores y flectores sobre los mismos.

Las consideraciones de diseño son:

$$P^3 = \frac{16}{\pi S_s} \sqrt{(K_b * M_b)^2 + (K_t * M_t)^2}$$

$K_b, K_t = 1$  Factores para carga aplicada gradualmente en ejes estacionarios

$S_s = 564 Kg/cm^2$  Esfuerzo de diseño al corte

$$M_t = \frac{T * W}{2} \quad \text{Momento torsor}$$

$$M_t = \frac{427 * 19}{2} = 4056,5 Kg - cm$$

$$M_b = T * \left(\frac{L+2a}{2}\right) \quad \text{Momento flector}$$

$$M_b = 427 * \left( \frac{42.2 + 2 * 3.6}{2} \right) = 10547 \text{ Kg} - \text{cm}$$

Remplazando los valores en la ecuación ya mostrada:

$$P^3 = \frac{16}{\pi * 564} \sqrt{(1 * 10547)^2 + (1 * 4056)^2}$$

P=47 mm (diámetro del eje del tambor de enrollamiento)

- **Selección de los rodamientos del tambor**

Para seleccionar los rodamientos de tiene en cuenta la velocidad de rotación del eje, carga y vida del rodamiento.

$$V = \frac{2 * \pi * N}{60} * R$$

$$N = \frac{V * 60}{2 * \pi * R}$$

R=radio del tambor, Dtambor = 190 mm

V= 1 m/s velocidad del cable

$$N = \frac{1 \frac{m}{s} * 60}{2 * \pi * 0.095 m} = 51 \text{ rpm (revoluciones del eje)}$$

Si se opta por una vida útil de 10000 horas a 51 rpm, se obtiene un coeficiente de seguridad dinámico de 3,91 (16) dado por:

$$\frac{C_t}{p} = 3,91$$

Ct= carga dinámica sobre el rodamiento

$$P = XT + yFa \quad \text{Carga equivalente}$$

$$P=T= 427 \text{ Kgf}$$

$$Ct = P \cdot 3,91 = 1669 \text{ KgF}$$

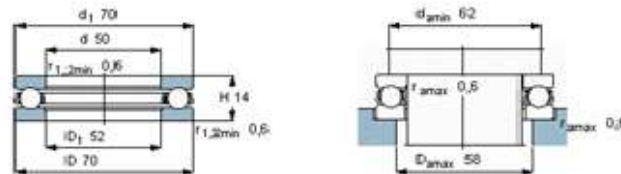
Con esta carga me dirijo a la tabla 11 y selecciono el rodamiento adecuado.

**Tabla11.** Selección de rodamientos teniendo en cuenta el diámetro del eje y la carga dinámica. (16)

Dimensiones principales			Capacidades de carga dinámica - estática		Carga límite de fatiga	Factor de carga mínima	Velocidades	Masa	Designación
d	D	H	C	C <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	A	Velocidad de referencia	Velocidad límite	
mm			kN		kN	-	rpm	kg	-
35	52	12	19,9	51	1,86	0,013	5600	0,080	51107
35	62	18	35,1	73,5	2,7	0,028	4000	0,22	51207
35	68	24	49,4	96,5	3,55	0,048	3200	0,39	51307
35	80	32	67,1	170	6,2	0,15	2600	0,74	51407
40	60	13	26	63	2,32	0,02	5000	0,12	51108
40	68	19	46,8	106	4	0,058	3800	0,27	51208
40	78	26	61,8	122	4,5	0,077	3000	0,53	51308
40	90	36	112	224	8,3	0,26	2400	1,10	51408
45	65	14	26,5	89,5	2,55	0,025	4500	0,15	51109
45	73	20	39	86,5	3,2	0,038	3600	0,32	51209
45	85	28	78,1	153	5,6	0,12	2800	0,66	51309
45	100	39	130	265	9,8	0,37	2200	1,42	51409
50	70	14	27	75	2,8	0,029	4300	0,16	51110
50	78	22	49,4	116	4,3	0,069	3400	0,37	51210
50	95	31	88,4	190	6,95	0,19	2800	0,94	51310
50	110	43	159	340	12,5	0,60	2000	2,00	51410
55	78	16	30,7	85	3,1	0,039	3800	0,24	51111
55	90	25	61,8	146	5,4	0,11	2800	0,59	51211
55	105	35	104	224	8,3	0,26	2200	1,30	51311
55	120	48	195	400	14,3	0,79	1800	2,55	51411

Dimensiones principales			Capacidades de carga dinámica - estática		Carga límite de fatiga	Factor de carga mínima	Velocidades	Masa	Designación
d	D	H	C	C <sub>0</sub>	P <sub>0</sub>	A	Velocidad de referencia	Velocidad límite	
mm			kN		kN	-	rpm	kg	-
50	70	14	27	75	2,8	0,029	4300	0,16	51110



**Fuente:** [http://www.skf.com/portal/skf/home/products?newlink=1\\_8\\_1&lang=es](http://www.skf.com/portal/skf/home/products?newlink=1_8_1&lang=es), visitado en: marzo de 2011

Velocidad de referencia según la tabla del catalogo de la skf.

N= 4300 rpm

C= 2755 kgf

Como  $C \geq C_t$  (2775  $\geq$  1660)

El rodamiento seleccionado es adecuado para el caso propuesto.

- **Potencia necesaria**

$$P_w = \frac{T * V}{75 * n}$$

n = 0.95 (rendimiento conjunto motor)

$$P_w = \frac{427 * 1}{75 * 0.95}$$

$$P_w = 6CV = 5,91HP = 4,41 Kw$$

Con la potencia y la velocidad el tambor de enrollamiento selecciono el motoreductor en la siguiente tabla 12, la cual se seleccionó un valor por encima de los valores que calculados de la potencia necesaria y la velocidad de enrollamiento.

**Tabla 12.** Características técnicas del motoreductor(17)

Am 80/2		1400			
		N2	T2M	P	RD
ir	IEC	min-1	Nm	kW	%
2.6	160 (B5) - 132 (B5) - 112 (B5) - 100 (B5)	541	529	32	95
3.7	160 (B5) - 132 (B5) - 112 (B5) - 100 (B5)	379	553	23	95
4.2	160 (B5) - 132 (B5) - 112 (B5) - 100 (B5)	333	595	22	95
4.5	160 (B5) - 132 (B5) - 112 (B5) - 100 (B5)	310	629	22	95
6.7	160 (B5) - 132 (B5) - 112 (B5) - 100 (B5)	208	658	15.1	95
7.4	160 (B5) - 132 (B5) - 112 (B5) - 100 (B5)	189	684	14.3	95
7.8	160 (B5) - 132 (B5) - 112 (B5) - 100 (B5)	179	707	14	95
8.7	160 (B5) - 132 (B5) - 112 (B5) - 100 (B5)	161	728	12.9	95
10	160 (B5) - 132 (B5) - 112 (B5) - 100 (B5)	141	748	11.6	95
12.4	160 (B5) - 132 (B5) - 112 (B5) - 100 (B5)	113	782	9.7	95
14.2	160 (B5) - 132 (B5) - 112 (B5) - 100 (B5)	99	813	8.9	95
15.2	160 (B5) - 132 (B5) - 112 (B5) - 100 (B5)	92	841	8.5	95
18.1	160 (B5) - 132 (B5) - 112 (B5) - 100 (B5)	78	866	7.4	95
19.4	160 (B5) - 132 (B5) - 112 (B5) - 100 (B5)	72	889	7.1	95
22.7	160 (B5) - 132 (B5) - 112 (B5) - 100 (B5)	62	910	6.2	95
24.9	160 (B5) - 132 (B5) - 112 (B5) - 100 (B5)	56	940	5.8	95
28.9	160 (B5) - 132 (B5) - 112 (B5) - 100 (B5)	48	940	5	95
31.8	160 (B5) - 132 (B5) - 112 (B5) - 100 (B5)	44	940	4.6	95

**Fuente:** Angel Larreina S.A.C.I.F.I.A. Catalogo “ Reductores y motoreductores” disponible en: <http://www.angellarreina.com/>, visitado en abril de 2011

De acuerdo con la tabla 12, N= 56 RPM, P= 5.8 Kw

#### 5.5.4 Cálculo de la estructura del carro de cargue

La sociedad colombiana de ingenieros civiles está de acuerdo con que el esfuerzo máximo permisible sobre columnas es:

$$s = \frac{1265}{1 + \frac{L^2}{18000 r^2}}$$

s= esfuerzo máximo

L=longitud máxima sin apoyo alguno

r = radio de giro

Para el caso de este proyecto se determinaron los esfuerzos de trabajo en la estructura vertical y a su vez estos se compararon con los máximos permisibles, de esta manera se puede determinar si los elegidos son correctos.

Antes de realizar el cálculo de la estructura es necesario hacer las siguientes especificaciones que se ven reflejadas en la figura 21:

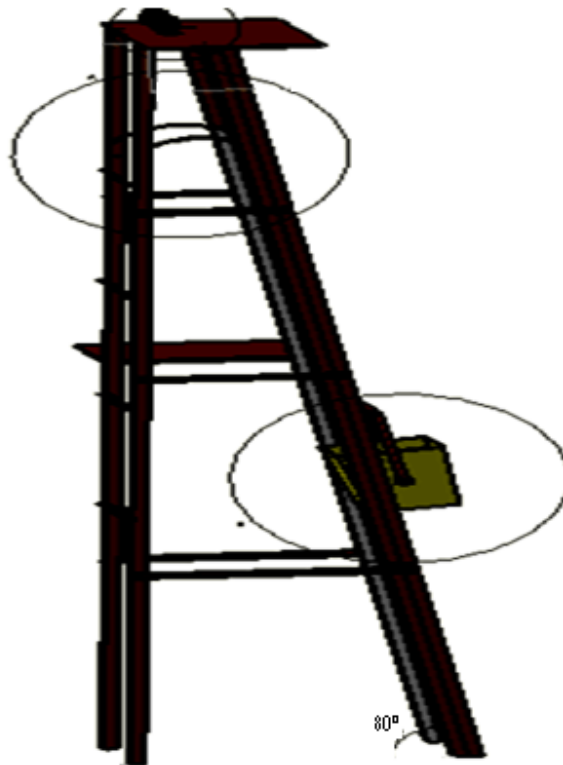
- ✓ Debido a la inclinación de la guía del carro ( $80^\circ$ ) con la horizontal el peso del carro y la carga de la guía es soportado totalmente por la estructura vertical.
  
- ✓ La carga lateral sobre la estructura vertical es de poca importancia debido a la razón antes expuesta.

Con las especificaciones expuestas el peso total sobre las estructuras verticales está compuesto por:

$W = 200 \text{ kg}$     Peso de las dos columnas verticales (perfil U de 8")

$W' = 400 \text{ Kg}$     peso aproximado del carro con carga

**Figura 21.** Estructura del carro de carga



**Fuente:** Los autores

$$P = W + W' = 200 + 400$$

$$P = 600 \text{ Kg}$$

Si.  $L = 250 \text{ cm}$  (dato obtenido del plano de la estructura del carro) y  $r = 1,57$  (perfil en U de 8")

El esfuerzo máximo admisible es:

$$s = \frac{1265}{1 + \frac{250^2}{18000 * 1,57^2}}$$

$$S = 525,2 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Ahora hallamos el esfuerzo real de trabajo de la estructura según la teoría de la secante.

$$S' = \frac{P}{2A} \left[ 1 + \frac{Cc}{r^2} * \text{Sec} \left( \frac{L}{2r} \sqrt{\frac{P}{2AE}} \right) \right]$$

S' = esfuerzo de trabajo

P = carga total sobre los dos perfiles verticales (Kg)

A = área de un solo perfil (Cm<sup>2</sup>)

Cc = distancia centroidal (Cm)

E = modulo de elasticidad del acero 2,1 E 6 (Kg/cm<sup>2</sup>)

$$S' = \frac{600}{2 * 21,7} \left[ 1 + \frac{3 * 10,1}{1,57^2} * \text{Sec} \left( \frac{250}{2 * 1,57} \sqrt{\frac{600}{21,7 * 2,1E6}} \right) \right]$$

S' = 187.76 kg/Cm<sup>2</sup>

Como  $S' \leq S$ , indica que el perfil en U de 8" está bien seleccionado

- **Calculo de las vigas de rodadura del carro**

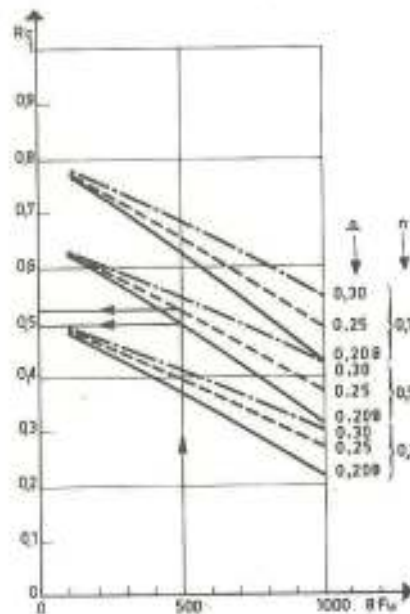
Teniendo en cuenta la pendiente que tienen las vigas de rodadura la cual es de 80 grados con la horizontal, los esfuerzos inducidos sobre este perfil para rodadura del carro no resultan importantes, el tamaño de dicho perfil está determinado por el tamaño de las ruedas de la vagoneta de carga (figura 21).

## 6. DISEÑO Y CALCULO DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DE OXÍGENO POR MEDIO DE LAS TOBERAS

Enriquecer el aire con adiciones de oxígeno, aumenta el rendimiento de la combustión del coque tanto en la técnica de fusión con viento caliente como en la del soplo frío.

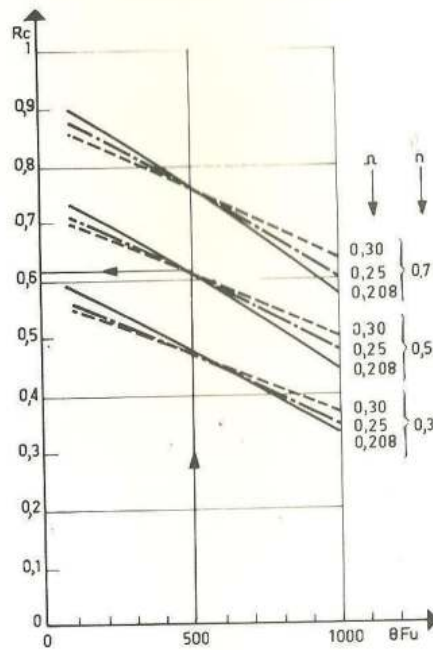
Las figuras 22 y 23, muestran las variaciones del rendimiento de combustión en función de la temperatura de los humos en la técnica de fusión con viento frío y viento caliente, con diferentes valores de  $X_o$ . Como se puede apreciar, para la misma temperatura de los humos, igual temperatura del aire e idéntico índice de combustión, pasar del aire atmosférico al aire enriquecido con oxígeno, aumenta el rendimiento térmico de la combustión.

**Figura 22.** Rendimiento de la combustión en función de la temperatura de los humos para viento frío.(18)



Fuente: Karinthi. P. et al., Recherche sur la suroxygénation de vent au cubilot a vent chaud de fonderie. En: Hommes et Fonderie. (abr. 1976). pp.18–19.

**Figura 23.** Rendimiento de la combustión en función de la temperatura de los humos para viento frío.(18)



Fuente: Karinthi. P. et al., Recherche sur la suroxygénation de vent au cubilot a vent chaud de fonderie. En: Hommes et Fonderie. (abr. 1976). pp.18–19.

Así, en la técnica con viento frío y para una temperatura de humos de 500°C, se aumenta el rendimiento térmico aproximadamente en tres unidades, al pasar de aire atmosférico al viento con 25% de oxígeno ( $X_o = 0,25$ ), cualquiera que sea el índice de combustión. Figura 8<sup>14</sup>. Enriquecer el aire con oxígeno reduce el contenido de nitrógeno que no sustituye al sistema todo el calor que absorbe. Como resultado, se constata que la temperatura de los gases de combustión (si todo el calor generado en la combustión se emplea en calentarlos), es más elevada a medida que el contenido de oxígeno en el aire es más alto. Figura 24.

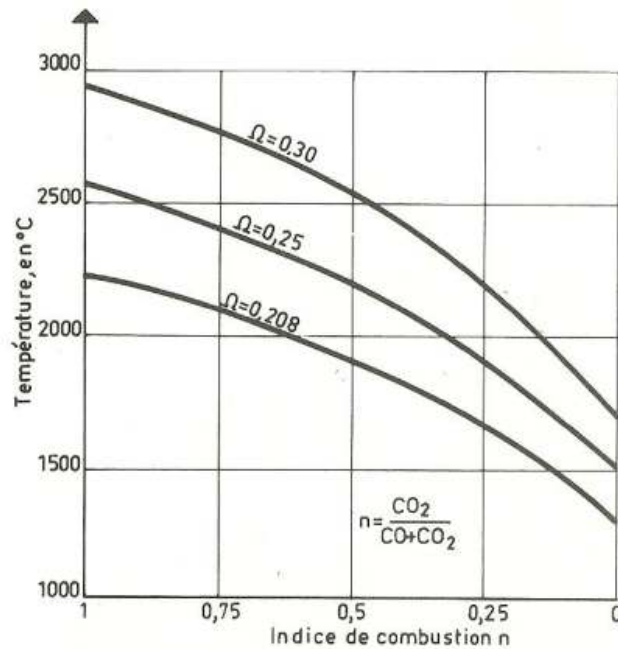
<sup>14</sup> Chaze. L. Sanz. R., Le bilan thermique du cubilot. Comment l'améliorer.

1ª parte. En: Fonderie n.º 398 (abr.1980) pp. 146 - 155

2ª parte. En: Fonderie n.º 399 (may.1980) pp. 192 - 195

3ª parte. En: Fonderie n.º 400 (jun.1980) pp. 232 - 235; 243 - 246

**Figura 24.** Temperatura de los gases de combustión si el calor total liberado por la combustión se utiliza para el calor, según el índice de combustión. (18)



Fuente: Karinthe. P. et al., Recherche sur la suroxygénation de vent au cubilot a vent chaud de fonderie. En: Hommes et Fonderie. (abr. 1976). pp.18–19.

La tabla 13 muestra los efectos que sobre los diferentes parámetros de funcionamiento de la operación del cubilote, ejercen una disminución del porcentaje de coque en la carga y un aumento en la adición de oxígeno al soplo. Como se puede observar, los efectos no siempre tienen el mismo sentido.

**Tabla 13.** Comparación de los efectos del coque y del oxígeno en la fusión del cubilote.

	Disminución del % coque	Aumento del porcentaje de oxígeno en el aire.
Producción	↑	↑
Rendimiento	↑	↑
Temperatura de la fusión	↓	↑
Costo del metal líquido	↓	↑
Acción	Diferida	Inmediata

Fuente: Tihon. G., Etude experimentale des effets de injection d'oxygène au cubilot. En: Fonderie – Fondeur d'aujourd'hui. no 216 (jun – jul 2002). pp. 11 – 13.

La disminución del porcentaje de coque entre carga y el enriquecimiento en oxígeno del aire soplado producen un aumento de la producción y del rendimiento. En cambio, los efectos sobre la temperatura y el costo de la fundición líquida son inversos. Se indica, además, que el efecto de la variación del porcentaje de coque es diferido, en tanto, que el del oxígeno es inmediato como se muestra en la figura 25.

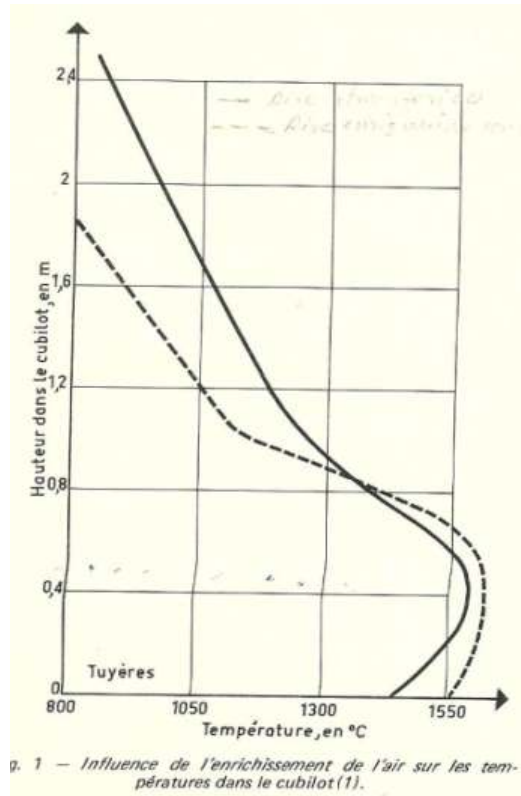
Uno de los primeros investigadores en medir los efectos de la adición de oxígeno en el cubilote fue el francés F. Danis<sup>15</sup>. El reportó los siguientes resultados:

- ✓ La temperatura de los gases en la zona de combustión aumenta.<sup>16</sup>
- ✓ La temperatura de los humos disminuye.
- ✓ La temperatura de la fundición líquida en piquera aumenta.
- ✓ La producción se incrementa.
- ✓ La carburación aumenta.

<sup>15</sup> Danis. F., L'oxygene au cubilot. Fonderie no. 145, (feb. 1958). p. 78

<sup>16</sup> Sciama. G., Utilisation de l'oxygène et économies d'énergie en fonderie. En: Fonderie.

**Figura 25.** Influencia del enriquecimiento del aire en las temperaturas en el cubilote



Fuente: Sciama. G., Utilisation de l'oxygène et économies d'énergie en fonderie. En: Fonderie.

Los valores de los tres últimos factores indicados llegan a su máximo cuando se cumple la relación:

$$\frac{q_{O_2}}{Q_s} = 3,3\%$$

En donde:

- $q_{O_2}$  = Flujo de oxígeno agregado en  $Nm^3/h$
- $Q_s$  = Flujo de aire en  $Nm^3/h$

Con relación a la producción, se constata, según diferentes autores ingleses, alemanes y franceses<sup>17</sup>, que ella aumenta proporcionalmente con el valor de oxígeno en el aire, para un porcentaje de coque constante. Esto es evidente, porque la velocidad de combustión gobierna la cinética de la fusión ya que la, producción es una función lineal del oxígeno aportado.<sup>18</sup>

De manera general, las ventajas que se obtienen por la utilización del oxígeno en la operación del cubilote son:

- ✓ Aumento de la producción
- ✓ Aumento de la temperatura de la fundición líquida
- ✓ Disminución de las pérdidas a fuego
- ✓ Incremento de la carburación
- ✓ Disminución del porcentaje de coque entre carga
- ✓ Aumento del porcentaje de chatarra de acero en la carga
- ✓ Reducción de la temperatura del aire (menor consumo de combustible)
- ✓ Disminución del soplo
- ✓ Reducción de las pérdidas de calor
- ✓ Arranque más rápido de la fusión
- ✓ Mayor flexibilidad en el manejo del horno. Respuesta más rápida al cambio de la composición y de la temperatura.

Todas las ventajas de la adición de oxígeno al aire no se pueden obtener al mismo tiempo.

---

<sup>17</sup> Karinthi. P. et al., Recherche sur la suroxygénation de vent au cubilot a vent chaud de fonderie. En: Hommes et Fonderie. (abr. 1976). pp. 18 – 19.

<sup>18</sup> Chaze. L. Sanz. R., Le bilan thermique du cubilot. Comment l'améliorer.

1<sup>a</sup> parte. En: Fonderie n<sup>o</sup> 398 (abr.1980) pp. 146 - 155

2<sup>a</sup> parte. En: Fonderie n<sup>o</sup> 399 (may.1980) pp. 192 – 195

3<sup>a</sup> parte. En: Fonderie n<sup>o</sup> 400 (jun.1980) pp. 232 – 235; 243 – 246

De acuerdo con las necesidades operativas, se puede realizar cuatro procedimientos al adicionar oxígeno en la fusión del cubilote. Ellos son:

- Agregar oxígeno
- Adicionar oxígeno y reducir el porcentaje de coque
- Agregar oxígeno y disminuir el soplo
- Adicionar oxígeno y reducir al mismo tiempo el soplo y el coque.

A continuación se indican las ventajas que se obtienen por la sobreoxigenación según la operación que se realiza.

- ✓ Adición de O<sub>2</sub>: hay un aumento del porcentaje de chatarra de acero en la carga, aumento de la producción y de la temperatura de la fundición líquida, incremento de la carburación y disminución de las pérdidas a fuego.
- ✓ Adición de O<sub>2</sub> y reducción del coque: se produce un aumento de la producción y a su vez una disminución del porcentaje de coque entre carga.
- ✓ Adición de O<sub>2</sub> y reducción del aire: Aumento de la temperatura de la fundición líquida, disminución de las pérdidas a fuego, incremento de la carburación, aumento del porcentaje de chatarra de acero en la carga, reducción de la temperatura del aire que se traduce en un menor consumo de combustible, disminución del soplo, reducción de las pérdidas de calor y un arranque más rápido de la fusión
- ✓ Adición de O<sub>2</sub>, reducción del aire y del coque: Disminución del porcentaje de coque entre carga, Reducción de las pérdidas de calor, reducción de la temperatura del aire (menor consumo de combustible) y disminución del soplo

## **6.1. Principales Características de la Fusión Según el Procedimiento Seguido.**

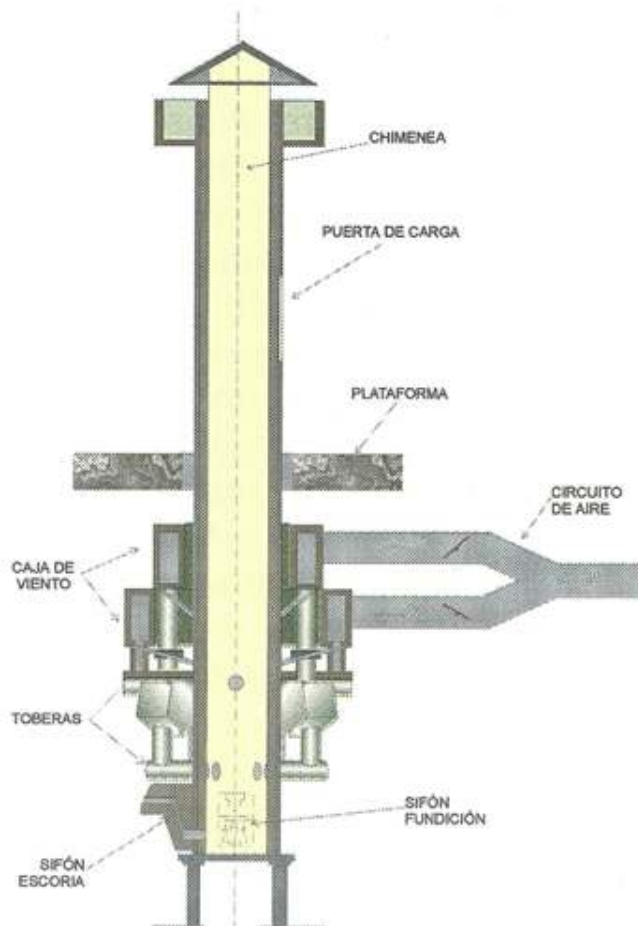
- La adición de  $O_2$  permite obtener una temperatura de la fundición más alta y mayores ganancias de carbono y de silicio. Permite, además, fundir a mayores velocidades que las que se obtienen con solo aire.
- El segundo procedimiento permite obtener la máxima capacidad de fusión con relaciones de oxígeno/coque elevadas. En este procedimiento se logra un aumento de la temperatura de la fundición, pero las ganancias obtenidas en los elementos de C, Si y Mn disminuyen a medida que se reduce el coque. Esto hace que la atmósfera del horno se vuelva más oxidante, lo cual aumenta las pérdidas de los elementos indicados. El costo que representa estas pérdidas afecta el beneficio que se alcanza con el aumento de producción.
- La adición de  $O_2$  y reducción del soplo. Este procedimiento es interesante cuando se desea mantener una producción constante. Una de las principales consecuencias de este tipo de operación es que al disminuir el soplo se bajan las emisiones de la fusión. La referencia (21), informa, que para un porcentaje de coque dado, es la cantidad de oxígeno total la que define la velocidad de fusión. Si se disminuye demasiado la cantidad de aire se corre el riesgo de que penetre poco dentro de la masa de coque, reduciendo la producción de energía con una alta producción de CO.
- Adición de  $O_2$  y reducción del soplo y del porcentaje de coque.  
El porcentaje de coque se puede reducir al adicionar oxígeno con el fin de mantener la temperatura de la fundición constante. Al bajar el contenido del coque y del soplo, la producción puede aumentar o disminuir.

La sobre oxigenación del aire en la operación del cubilote se hizo común en los años de la década de los setenta. Sin embargo, en esa época los cubilotes tenían toberas con diámetros de grandes dimensiones que disminuían la velocidad del viento. Por esta razón, la combustión del coque se producía cerca de la pared del refractario, aumentando las pérdidas de calor y disminuyendo la eficiencia de la fusión. En estas condiciones, la inyección de oxígeno a altas velocidades mejoraba notoriamente las ventajas indicadas anteriormente. La inyección supersónica de oxígeno al cubilote, establecida en 1981, persigue el mismo propósito.

Hoy en día, las toberas de grandes diámetros han sido reemplazadas por toberas con pequeños diámetros, con el fin de aumentar la velocidad del aire para disminuir las pérdidas de calor por las paredes. Con las toberas penetrantes refrigeradas con agua, se persigue el mismo fin: llevar el aire al centro del horno para centralizar la combustión, y así, mejorar el rendimiento térmico de la fusión. En este caso, la ventaja de la inyección separada de oxígeno y de aire no es tan evidente.

En el cubilote con doble hilera de toberas figura 26 , existe la posibilidad de que la introducción de oxígeno por las toberas superiores forma una segunda zona de combustión; por lo tanto, la manera más efectiva de introducir oxígeno en este cubilote es hacerlo únicamente por las toberas inferiores. Varios autores 7,8 indican que la inyección de oxígeno por las toberas inferiores puede producir mayores beneficios operacionales; sin embargo, algunos resultados publicados son contradictorios, lo que hace pensar que el comportamiento de la inyección de oxígeno en este cubilote depende del diseño del horno (altura, número y diámetro de las toberas superiores), y de las condiciones de operación del horno (caudal de aire, velocidad y de la relación del aire que se sopla por las toberas inferiores y por las superiores).

**Figura 26.** Cubilote con doble hilera de toberas



Fuente: Rediseño del cubilote para mejorar su rendimiento térmico. Informe final Universidad Industrial de Santander. May, 1988. p. 3-48.

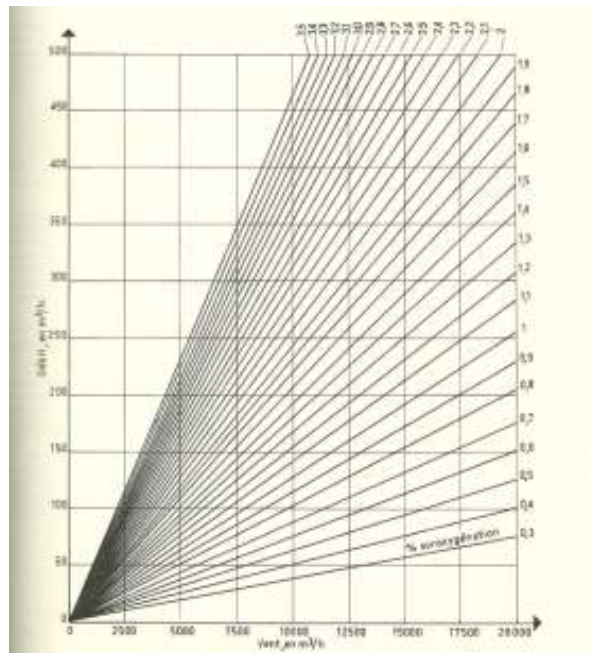
## 6.2. Porcentaje de oxígeno añadido

Los valores de adición de oxígeno al cubilote con viento frío, son generalmente de bajas proporciones ( $\Delta X_0$  entre 1 y 2%). Soluciones máximas de  $\Delta X_0$  se encuentran entre 2,8 y 3%. En la técnica con viento caliente se usan adiciones superiores al 4%. Se tiene conocimiento, en este caso, de cubilote que trabajan entre 26,4 y 32,2% de oxígeno (19). La referencia (23) indica valores de adición comprendidos entre 21,5 % y 25%, es decir, sobreoxigenaciones del aire entre 0,7 y 4% en

cubilote con viento frío. Otros autores indican valores de sobreoxigenación del aire entre el 0,7 y el 1,2%. Con estos valores el funcionamiento del horno se mejora en condiciones económicas aceptables<sup>19</sup>. En efecto, con un porcentaje de 0,7%, que corresponde a adicionar 10 m<sup>3</sup> de oxígeno por tonelada de fundición producida, se aumenta la producción horaria en 20%, lo cual es atractivo en la práctica.

La figura 27 indica en función del aire soplado y del porcentaje de sobreoxigenación, el flujo de oxígeno que se agrega en m<sup>3</sup>/h.

**Figura 27.** Flujo de oxígeno que se agrega en m<sup>3</sup>/h. en función del aire soplado y del porcentaje de sobreoxigenación (24)



**Fuente:** Lutgen. N. Cadiphon. P., Utilisation del'oxygene dans les cubilots á vent froid. Documento de Air Liquide. Francia.

Si,

$Q_s$  : Es el aire soplado, en m<sup>3</sup>/h.

<sup>19</sup> Lutgen. N. Cadiphon. P., Utilisation del'oxygene dans les cubilots á vent froid. Documento de Air Liquide. Francia.

$q_0$  : Es el flujo de oxígeno, en  $m^3/h$ .

$X_0$  : Es el porcentaje de oxígeno requerido.

Se tiene que:

$$q_0 = \frac{X_0 - 20,8}{100 - X_0} \cdot Q_s$$

Otra forma es expresar la relación de sobreoxigenación del aire es:

$$X_0 = \frac{q_0 + 0,208Q_s}{Q_s + q_0}$$

No hay sinergia entre los porcentajes adicionados. Si se agrega un porcentaje suplementario.

$$\frac{q_0}{Q_s} = 2\% ; \quad X_0 \text{ aumenta solo un } 1,5\%$$

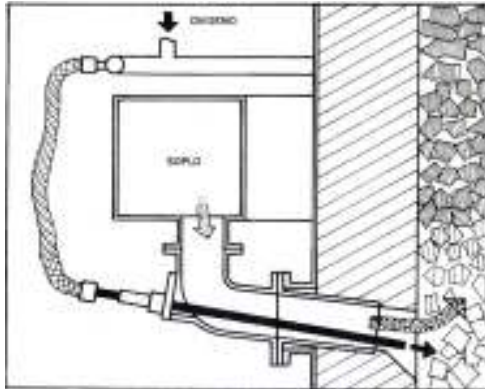
### 6.3. Técnicas de introducción de oxígeno en el cubilote

Las figuras 28,29 y 30 muestran esquemáticamente las diferentes técnicas existentes para introducir oxígeno en el cubilote. Ellas son:

- ✓ Adición de oxígeno por dilución. Se realiza en la tubería antes de la caja de viento.
- ✓ Inyección de oxígeno en el cubilote directamente por las toberas.
- ✓ Inyección de oxígeno por debajo de las toberas.

Cada una de estas técnicas tiene ventajas y desventajas.

**Figura 28.** Inyección de oxígeno por las toberas (25)

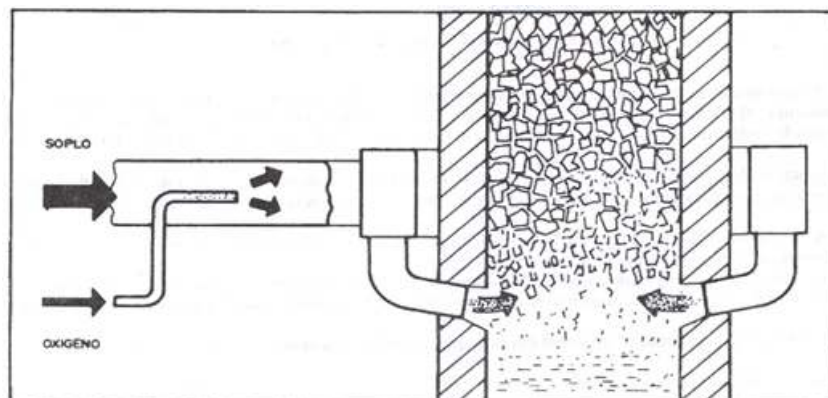


**Fuente:** AGA AB., Oxygen addition at a low investment. Gas Division. Documento GM 142. Suecia. pp . 3 – 6.

### 6.3.1. Enriquecimiento del aire por dilución de oxígeno en la tubería.

Se inyecta a través de un difusor calibrado, oxígeno puro en la tubería del aire entre el ventilador y la caja de viento.

**Figura 29.** Adición de oxígeno por dilución.



**Fuente:** AGA AB., Oxygen addition at a low investment. Gas Division. Documento GM 142. Suecia. pp . 3 – 6.

El difusor debe colocarse, de tal manera, que el flujo de oxígeno tenga la misma dirección que el aire. La medida del flujo se puede hacer con un manómetro, con la condición de que la presión absoluta antes de la boquilla sea superior a 2 bar. El flujo de aire soplado obedece, en este caso, a la relación empírica:

$$Q_s(\text{m}^3/\text{h}) = 0,5 d^2 (P+1)$$

En donde:

P : Es la presión antes de la boquilla, en bar.

d : Diámetro de la boquilla, en mm.

Este método es el más sencillo en su aplicación y el menos costoso en su inversión, ya que no requiere de ninguna modificación del cubilote. Su principal desventaja radica en que toda fuga existente después del difusor es una fuga del oxígeno.

### **6.3.2. Inyección de oxígeno por las toberas.**

En esta técnica se aporta oxígeno gaseoso en la cama de coque, el cual es envuelto por el aire soplado (frío o caliente), y puesto en contacto con la llama de los gases. Los métodos de inyección varían de una fundición a otra. La inyección se puede hacer por todas las toberas o por toberas independientes, seleccionadas previamente.

La velocidad de salida en la boquilla del inyector determina si la inyección es subsónica o supersónica. La velocidad sónica del oxígeno a 15°C y a la presión atmosférica es de 324m/s. Mayores velocidades permiten mayor penetración del oxígeno en la cama de coque. Conceptualmente, aumentar la velocidad del oxígeno, equivale a reducir el diámetro de las toberas, lo cual aumenta la velocidad del soplo.

Los inyectores se fabrican en acero inoxidable o en Monel.<sup>20</sup> Durante su uso están expuestos al calor radiado por las altas temperaturas que pueden doblarlos o torcerlos. La mayoría de los inyectores se construyen para operar a presiones comprendidas entre 1 y 2 bar (15 a 30 psig). La velocidad del oxígeno en estos inyectores varía entre 200 y 500 m/s (650 y 700 pies/s). Esto indica que el diámetro interno de los inyectores debe de variar entre 3 y 30 mm (1/8 y 3/4 pulg), dependiendo del promedio del flujo de aire soplado y del oxígeno inyectado. Esta combinación, como se indicó, determina el flujo de oxígeno. Ver relación [2.88].

La distancia desde el borde interior del refractario del horno al inyector varía entre 7,5 a 15 cm (3 y 6 pulg). Las presiones recomendadas en las boquillas de los inyectores en el caso de la inyección supersónica varían entre 6,9 y 13,8 bar (100 y 150 psi). Para cubilotes pequeños la inyección supersónica no se utiliza por consideraciones prácticas.

La selección de la inyección de oxígeno subsónica o supersónica depende en primer término de las características operacionales del cubilote. Generalmente, la inyección supersónica es más efectiva cuando el horno trabaja con un soplo a baja velocidad o en hornos con diámetros muy grandes.

Algunos autores<sup>21</sup> han comparado la adición de oxígeno por dilución y por inyección, y todos han reportado la obtención de temperaturas más elevadas en la fundición líquida con el método de inyección de oxígeno por las toberas. Todo conduce a pensar que en este método, la velocidad del oxígeno y su penetración en el horno aumentan. Esto formaría un agujero donde las trozos de coque caerían y arderían, permitiendo que el oxígeno llegue al corazón del horno, facilitando así la combustión. Al alejarse la combustión de la periferia del cubilote,

---

<sup>20</sup> Saha. D. Cupola Handbook. Blast conditioning. Part one. Chapter 14. Ed. 6ª. Illinois, American Foundry Society, 2006. pp. 14.2 – 14.5

<sup>21</sup> Stewart. L. D et al., Oxygen in the cupola: A comparison of enrichment versus direct injection. En : AFS Transactions 80 – 81. pp. 581 – 584.

disminuyen las pérdidas térmicas por las paredes como se ha indicado. La Tabla 14. Indica los beneficios de los métodos de dilución e inyección de oxígeno.

**Tabla 14.** Comparación entre el método de dilución e inyección de oxígeno. (26)

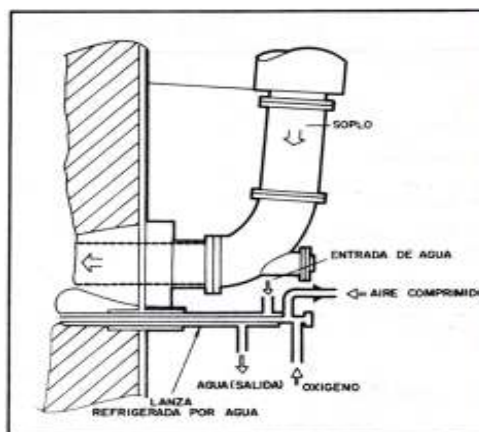
Beneficio	Dilución	Inyección
Ahorro de coque	4 – 15 %	8 -20 %
Ahorro de Fe – Si	5 – 20 %	10 – 25 %
Aumento del régimen de fusión	10 – 25 %	30 %
Aumento de la temperatura en piquera	4 – 24 °C (25 – 75 °F)	10 – 34 °C (50 – 100 °F)
Ahorro del combustible en el viento caliente	10 – 20 %	11 – 20 %

**Fuente:** Stewart. L. D et al., Oxygen in the cupola: A comparison of enrichment versus direct injection. En : AFS Transactions 80 – 81. pp. 581 – 584.

### 6.3.3. Inyección de oxígeno en el crisol.

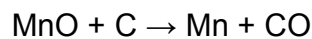
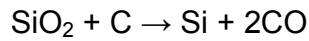
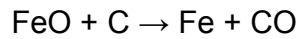
La introducción de oxígeno en el crisol permite pensar que el contacto del O<sub>2</sub> con la llama en la zona de combustión, que se encuentra a su máxima temperatura.

**Figura 30.** Inyección de oxígeno por debajo de las toberas (25)



**Fuente:** AGA AB., Oxygen addition at a low investment. Gas Division. Documento GM 142. Suecia. pp . 3 – 6.

Produce una transferencia de calor muy elevada, desplazando los equilibrios termodinámicos hacia las altas temperaturas. La reducción de los óxidos por el carbono se hacen de manera directa: (19).



Las gotas de fundición que se encuentran en contacto íntimo con el coque incandescente, absorben mejor el carbono, mejorando la combustión. (7) Sin embargo, esta técnica no ha sido muy aceptada por la industria de la fundición debido a que se requiere utilizar inyectores enfriados por agua, situados por debajo de las toberas. Esto hace al sistema vulnerable a las gotas de fundición y de escoria, por lo cual, se requiere de controles y frecuentes mantenimientos.<sup>22</sup>

---

<sup>22</sup> Saha. D. Cupola Handbook. Blast conditioning. Part one. Chapter 14. Ed. 6<sup>a</sup>. Illinois, American Foundry Society, 2006. pp. 14.2 – 14.5

## 7. CONCLUSIONES

- Siendo el cubilote un horno generalmente utilizado para la producción de fundiciones, se comprende fácilmente que es necesario un conocimiento completo de las circunstancias que intervienen en la fusión en este horno para poder realizar las variaciones y correcciones necesarias para obtener no solo los diferentes composiciones químicas indispensables, sino también las mejores propiedades que pueden conseguirse con una composición determinada.
- Con la realización de este trabajo se pueden analizar los parámetros de funcionamiento de los hornos de cubilote y el paso a paso del dimensionamiento de las diferentes partes que comprenden el horno.
- El uso de la herramienta CAD” SolidWorks”, fue una pieza fundamental para el diseño y la constante revisión del proceso que paso a paso se llevo a cabo en el desarrollo del proyecto, la reducción de tiempo que se ve reflejada con la ayuda de esta herramienta en la construcción de los planos, son claves en la consecuencia de un proyecto de diseño sobre todo cuando se trabaja en un sector donde se está compitiendo por mantener la excelencia.
- Con este trabajo de grado hemos logrado acercarnos al aprendizaje práctico. Para afianzar nuestro conocimiento ha sido indispensable el apoyo brindado por el personal de la empresa que cuentan con la experiencia para llevar a cabo los procesos más factibles para un buen desarrollo en el proceso de fundición y todo esto nos sirvió para desarrollar a cabalidad nuestro proyecto de grado.

## 8. RECOMENDACIONES

- Los materiales utilizados en la construcción del horno deben ser los adecuados para evitar inconvenientes en el momento de su construcción.
- En la construcción y funcionamiento del horno se deben emplear los conocimientos de personas especialistas en el tema, ya que la experimentación es una base fundamental en este proceso.
- Los distintos elementos que conforman el horno cubilote, deben tener una ubicación exacta, tanto para el óptimo desarrollo de la operación como para la adecuada distribución del espacio disponible en la empresa IDEA.
- Para un buen funcionamiento del horno es necesario que la selección de las cargas se realicen de una forma muy detallada, para obtener una fundición de calidad.
- Los operadores del horno siempre deben llevar los EPP (Elementos de Protección Personal) adecuados para evitar cualquier accidente.

## 9. RESULTADOS ESPERADOS

Con la propuesta de los parámetros de diseño, operación y continuidad en el proceso, se espera que una vez se dé por terminada la construcción del horno de cubilote de la empresa IDEA, y se ponga en marcha siguiendo las recomendaciones del caso, la empresa cuente con un horno eficaz, que funcione de forma adecuada y que desarrolle un proceso productivo que permita competir tanto en el ámbito regional y nacional como incursionar en el mercado internacional, siguiendo los parámetros y normas ambientales que permiten tener una mejor calidad de vida.

Teniendo en cuenta el diámetro interno del horno, se espera una producción horaria estimada de la siguiente manera:

- ✓ Una producción máxima de 2520 Kg/h equivalentes a 2.52 t/H
- ✓ Una producción óptima de 2160 Kg/h equivalentes a 2.16 t/H
- ✓ Una producción mínima de 1440 Kg/h equivalentes a 1.44 t/H

## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1]. AGA AB., Oxygen addition at a low investment. Gas Division. Documento GM 142. Suecia. pp . 3 – 6.

[2] ALONSO, BAQUERO ARNALDO. Diseño, operación y control del cubilote. Bucaramanga: División Editorial y de publicaciones UIS. 2000. p.6-11

[3] ALONSO, BAQUERO ARNALDO. Diseño, operación y control del cubilote. Bucaramanga: División Editorial y de publicaciones UIS. 2000. Pág. 53-55

[4] ALONSO, BAQUERO ARNALDO. Diseño, operación y control del cubilote. Bucaramanga: División Editorial y de publicaciones UIS. 2000. Pág. 68

[5] ALONSO, BAQUERO ARNALDO. Diseño, operación y control del cubilote. Bucaramanga: División Editorial y de publicaciones UIS. 2000. Pág. 44

[6] A.S.Hall; A.R. Hollowenco y H.G.Laughlin, "Diseño de Máquinas", serie Schaum, editorial Schaum-McGraw Hill, 1975, pág 103

[7] Angel Larreina S.A.C.I.F.I.A. Catalogo "Reductores y motoreductores"

[8] CHAZE, L. et SANZ, R. Le bilan thermique du cubilot. Comment l'améliorer. En: Fonderie 39 (mayo. 1980): p.189,190.

[9] Danis, F. et Decrop, M. Influence du débit de vent, du calibre du coke et du taux de coke entre charges sur le fonctionnement du cubilot. En: Fonderie No. 148. (may, 1958); p. 215

[10] "EMCOCABLES" Empresa Colombiana de Cables. Catalogo cables, en: <http://www.emcocables.com>. Visitado en marzo de 2011

[11] Erns. Hellmut, Aparatos de Elevación y Transporte, tomo 1, Blume 1969

[12] GODINOT. P Les lois de la fusion au cubilot. Cyclatef Actifor 95F008. Association Technique de Fondrie. Sèvres. Francia: 1995. p.5,6

[13]. Godinot. P et al., Surchauffe devent de cubilot par tube a passage de courant: Une solution performante. En: Fonderie – Fondeur d'aujourd'hui. n<sup>o</sup>.159 (nov 1996). pp. 19 – 24.

[14] GUYOT, J. Manuel du cubilot. Paris. Ed. 1a. Editions Techniques des Industries de la Fonderie, 1980. p. 18,19.

[15] [http://www.skf.com/portal/skf/home/products?newlink=1\\_8\\_1&lang=es](http://www.skf.com/portal/skf/home/products?newlink=1_8_1&lang=es),  
visitado en: marzo de 2011

[16] HORNOS DE CUBILOTE. Disponible en: <http://www.Editum.org/Hornos-de-cubilote-p-1285.html>. Visitado en octubre de 2010

[17] Karinthe. P. et al., Recherche sur la suroxygénation de vent au cubilot a vent chaud de fonderie. En: Hommes et Fonderie. (abr. 1976). pp.18–19.

[18] Katz. S., Can oxygen enrichment boost cupola furnace production. En: Modern Casting. (ago. 2001). Pp. 51 – 53.

[19]. Lutgen. N. Cadiphon. P., Utilisation de l'oxygene dans les cubilots á vent froid. Documento de Air Liquide. Francia.

[20] Norma DIN 4130, Elevadores motorizados

[21] Rediseño del cubilote para mejorar su rendimiento térmico. Informe final Universidad Industrial de Santander. May, 1988. p. 3-48.

[22] Sciama. G., Utilisation de l'oxygène et economies d'énergie en fonderie. En: Fonderie

[23] SOFTWARE DE DISEÑO CAD SolidWorks. Disponible en: <http://www.solidworks.es/sw/3d-software-solid-modeling.htm>. visitado en marzo de 2011

[24] SOCIETY, AMERICAN FOUNDRYMEN'S. El horno de cubilote y su operación. Editorial Continental S.A. Julio de 1961. Pág. 301-303

[25]. Stewart. L. D et al., Oxygen in the cupola: A comparison of enrichment versus direct injection. En : AFS Transactions 80 – 81. pp. 581 – 584.

[26] Tihon. G., Etude experimentale des effects de inyection d'oxygène au cubilot. En: Fonderie – Fondateur d'aujourd'hui. no 216 (jun – jul 2002). pp. 11 – 13.

[27]. Tihon. G., Etude experimentale des effects de inyection d'oxygène au cubilot. En: Fonderie – Fondateur d'aujourd'hui. no 216 (jun – jul 2002). pp. 11 – 13.

# **ANEXOS**

## ANEXO A.

### ESPECIFICACIONES TECNICAS PARTICULARES PARA EL HORNO DE CUBILOTE DISEÑADO PARA LA EMPRESA INDUSTRIAL DE ACCESORIOS LTDA


- **Soporte del cubilote:** El cubilote se soportará sobre cuatro tubos de acero de diámetro 152.4 mm y de largo 2500 mm. Estos soportes estarán enterrados una profundidad de 1500 mm y empotrados con cemento reforzado, la longitud de 1000 mm saliente es la elevación sobre el suelo a la que estará el cubilote, la superficie del nivel del suelo debe ser sobre tierra.
- **Base de anclaje del cubilote:** Sobre los soportes se coloca la base de anclaje elaborada en lámina de fundición gris que debe soportar al cubilote de diámetro exterior de 1040 mm, esta base cumple la función de no permitir el desbalance o movimiento del horno.
- **Puerta de descarga:** Las puerta de descarga se ubican en la parte inferior de la base de anclaje. La compuerta de media luna se adhiere a la base por medio de pernos.
- **Carcasa:** La carcasa del cubilote tiene un diámetro de 1040 mm y una altura de 11968 mm. El material para elaborar la carcasa del cubilote es lamina HR A36 de 3/16" de espesor.
- **Piquera de fundición:** La piquera de fundición debe estar soldada al cubilote en el lado del orificio de salida del metal con una pendiente negativa de 10°. El material para elaborar la piquera de fundición es fundición gris de 1" de espesor.

- **Tapa de la puerta de encendido:** La guarda de la puerta de encendido tiene una altura de 350 mm y 270 mm de ancho, la guarda, tiene dos tapas con dimensiones de 350 x 270 mm. El material para elaborar la guarda y las tapas debe ser fundición gris de 5/8" de espesor.
- **Toberas:** El cubilote tiene doble hilera de toberas, con un diámetro de 90 mm, la elevación de estas es de 8° con respecto al plano horizontal, la longitud de las toberas es definida por construcción. Además se deben adicionar 6 toberas de 70 mm y 65 mm de diámetro, respectivamente. El material para la elaboración de las toberas es HR A36 de 3/16" de espesor.
- **Tubería de las toberas-caja de viento:** La tubería vertical que une a las toberas con la caja de viento tiene un diámetro de 156 mm. Las uniones entre las toberas y la tubería deben ser móviles para que permita conectarse con toberas de diámetro de 90 mm. La longitud de la tubería se define por construcción. El material utilizado es tubería comercial de 6".
- **Caja de viento:** La caja de viento para cada hilera de toberas tiene una altura de 540 mm y 270 mm de ancho. EL material para la caja de viento es lamina HR A36 de 3/16".
- **Tubería caja de viento-ventilador:** La tubería horizontal que une las cajas de viento al ventilador tiene un diámetro de 270 mm. En el tramo de la tubería se disponen 3 válvulas de mariposa fijas, una en la tubería principal para medir el flujo de aire que viene del ventilador y las otras dos en la tubería que va a cada una de las cajas de viento para regular la entrada de aire en cada una de ellas. El material en que se elabora es lamina HR A36 de 3/16". La longitud de la tubería se define por construcción.

- **Puerta de carga:** La puerta de carga se encuentra a 5942 mm de altura desde el la base del horno. La altura de la puerta de carga de 1000 mm y 750 mm de ancho. La puerta se adhiere a la carcasa del cubilote por medio de abrazaderas.
- **Ventilador:** El flujo de aire máximo del ventilador es de 0,97 m<sup>3</sup>/s. La potencia del motor del ventilador es de 20 HP una conexión 220 V y 3600 rpm.
- **Redes eléctricas:** Se refiere esta especificación a los requisitos para el suministro de redes eléctricas para la instalación de los motores de los ventiladores. Una caja de arranque estrella triangulo y cable No. 2 para los motores de 220 V con contactores en AC3 marca Merlin Gerin, ABB, Möller, General Electric o equivalente.

## ANEXO B

### SELECCIÓN DEL MOTOR PARA EL VENTILADOR PARA LA INYECCIÓN DE AIRE EN EL CUBILOTE

 Comparta esta página



#### / Motores / Motores Eléctricos

##### Características

- La más completa gama de motores eléctricos estandar a 60 Hz en variadas revoluciones con los mejores tiempos de entrega.
- Motores de última tecnología.
- Bajo nivel de ruido.
- Alto par de arranque.
- Bajo consumo de energía.
- Rotor jaula de ardilla.
- Rodamientos prelubricados de bolas.
- 24 meses de garantía por defectos de fabricación a partir de la fecha de manufactura.



#### Bridas

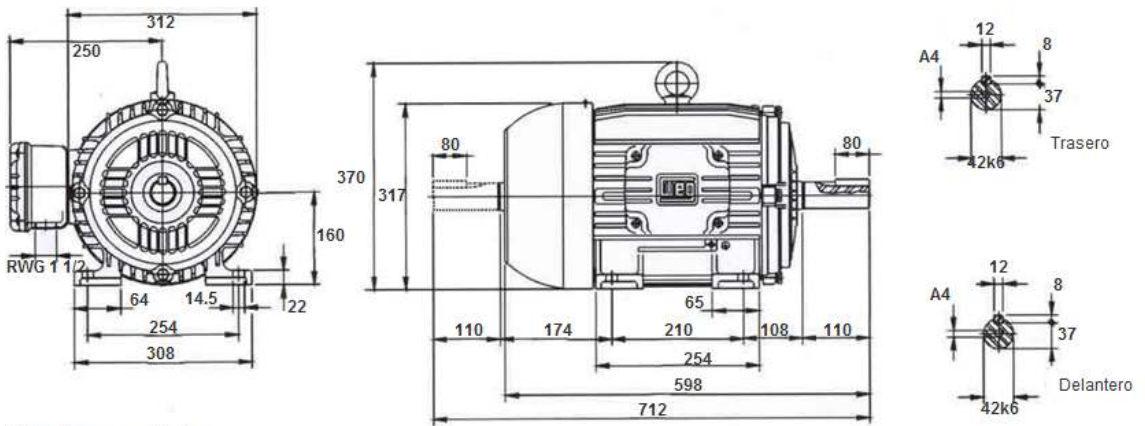


##### Especificaciones

- **Estandar Monofásicos** : Con capacitor de arranque, aislamiento clase B, centrifugos de gran capacidad y larga vida
- **Estandar Trifásicos** : Bajo nivel de ruido y vibración, protección IP55, aislamiento clase F, carcasa en fundición gris, anillos de protección tipo V ring en la tapa balinera, para servicio continuo, forma constructiva B3D
- **A prueba de explosión** : Protección IP55, aislamiento clase F, carcasa en fundición gris, anillos tipo V-ring en la tapa balinera, placa de identificación en acero, servicio continuo, forma constructiva B3D, clase de temperatura T4, **Norma IEC** (Zona 1, grupos IIA y IIB), **Norma NEMA** (Clase 1, división I, grupos C y D; Clase 2, división I, grupos F y G), **Certificados CEPEL**

### Motores Trifásicos (2 Polos) 3600 RPM

HP	Carcasa	Protección IP	F.S.	Corriente (A) 110 V	Corriente (A) 220V	Masa Kg	
0.5	63	55	1.15		1.71	7.4	Ver dimensiones
0.75	71	55	1.15		2.39	9.7	Ver dimensiones
1	71	55	1.15		3.01	10.9	Ver dimensiones
1.5	80	55	1.15		4.28	13.1	Ver dimensiones
2	80	55	1.15		5.43	14.6	Ver dimensiones
3	90S	55	1.15		8.43	18.8	Ver dimensiones
4	90L	55	1.15		11	21.6	Ver dimensiones
5	100L	55	1.15		12.9	30	Ver dimensiones
6	112M	55	1.15		15.8	38.3	Ver dimensiones
7.5	112M	55	1.15		19.1	42.1	Ver dimensiones
10	132S	55	1.15		25.5	63.4	Ver dimensiones
15	132M	55	1.15		36.9	72.5	Ver dimensiones
<b>20</b>	<b>160M</b>	<b>55</b>	<b>1.15</b>		<b>50.3</b>	<b>106</b>	<b>Ver dimensiones</b>
25	160M	55	1.15		61.6	116	Ver dimensiones
30	160L	55	1.15		72.1	130.5	Ver dimensiones
40	200M	55	1.15		99	212.8	Ver dimensiones
50	200L	55	1.15		120	246.6	Ver dimensiones
60	225M/S	55	1		143	356.8	Ver dimensiones
75	225M/S	55	1		174	408.3	Ver dimensiones
100	250S/M	55	1		233	445.1	Ver dimensiones
125	280S/M	55	1		289	689.7	Ver dimensiones
150	280S/M	55	1		344	693.9	Ver dimensiones
200	315S/M	55	1		464	861.1	Ver dimensiones
250	315S/M	55	1		572	990	Ver dimensiones



Dimensiones en milímetros

Trifásicos (2 Polos) 3600 RPM de 20HP

## ANEXO C

### CARTAS DE COMPROMISO Y CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS PLANTEADOS POR PARTE DE LA EMPRESA INDUSTRIAL DE ACCESORIOS "IDEA"

Bucaramanga, Enero de 2011



Doctor

**LUIS ORLANDO AGUIRRE RODRÍGUEZ**  
Director Escuela de Ingeniería Metalúrgica  
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
Bucaramanga

Apreciado Doctor,

La empresa **INDUSTRIAL DE ACCESORIOS LTDA IDEA**, está interesada en fomentar las relaciones Industria – Universidad y para ello, después de un estudio de sus principales procesos de producción, ha encargado a los estudiantes de último nivel, **SILVIA CRISTINA CASADIEGO PACHECO** estudiante de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales y **ARIEL DIOMEDES ALVARADO PEREZ** estudiante de Ingeniería Mecánica, para el Diseño estructural y dimensionamiento de los diferentes elementos del cubilote de la Empresa IDEA, trabajo que será desarrollado de acuerdo a las necesidades fundamentales de la empresa.

Teniendo en cuenta lo anterior, quedamos atentos a resultados óptimos que beneficien la formación ingenieril del estudiante, y que esto redunde a favor de la empresa y de nuestra relación interinstitucional.

Cordialmente,



**JAIRO PINZÓN RUÍZ**

**C.C. 91.152.267**

Gerente de Industrial de Accesorios Ltda. - IDEA

**NIT 804.009.385-8**

**INDUSTRIAL DE  
ACCESORIOS LTDA.**

NIT. 804.009.385-8



Bucaramanga, Abril 15 de 2011

Señores  
**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
Ciudad

Apreciados señores:

Me permito informar que la señorita Silvia Cristina Casadiego estudiante de Ingeniería Metalúrgica y el señor Ariel Alvarado Perez estudiante de Ingeniería Mecánica cumplieron con los objetivos y el cronograma propuesto en el proyecto de grado presentado a nosotros el cual tiene como titulo Diseño estructural y dimensionamiento de los diferentes elementos del cubilote.

Agradezco su cordial atención

Atentamente,

CLAUDIA P. LANDAZABAL R.  
Administradora

HENRRY HERRERA O.  
Dir. Apoyo Técnico

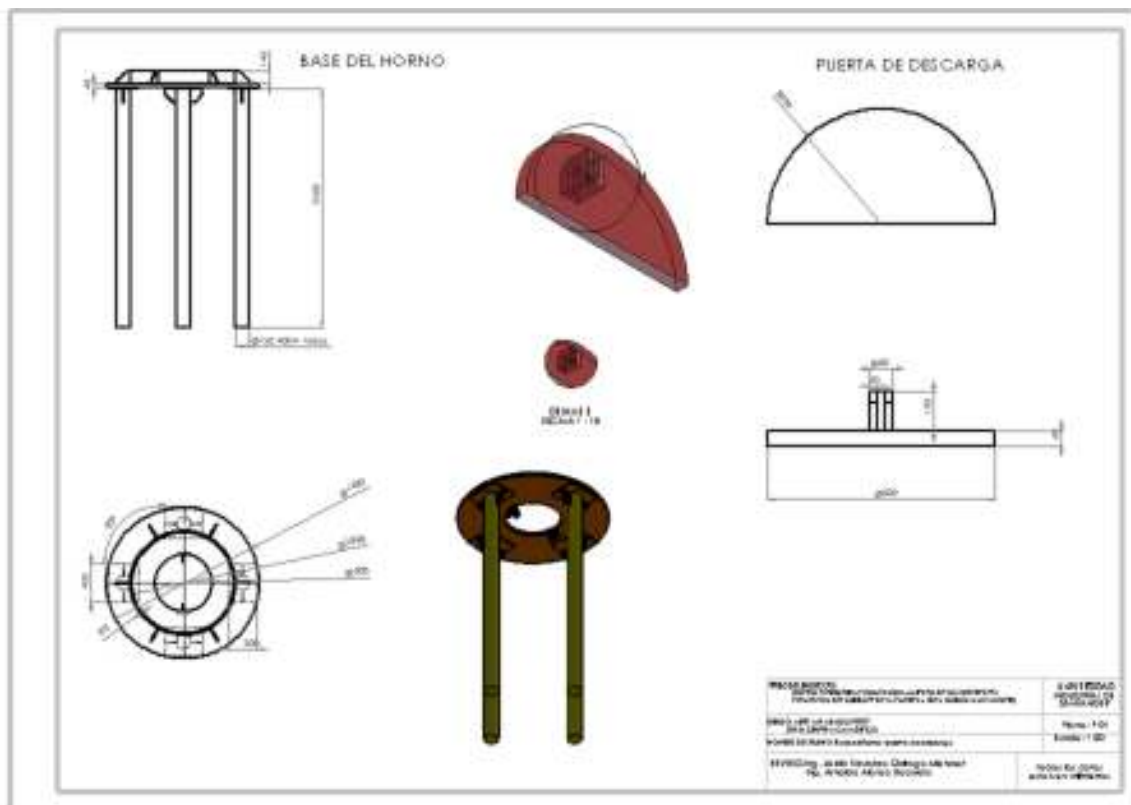


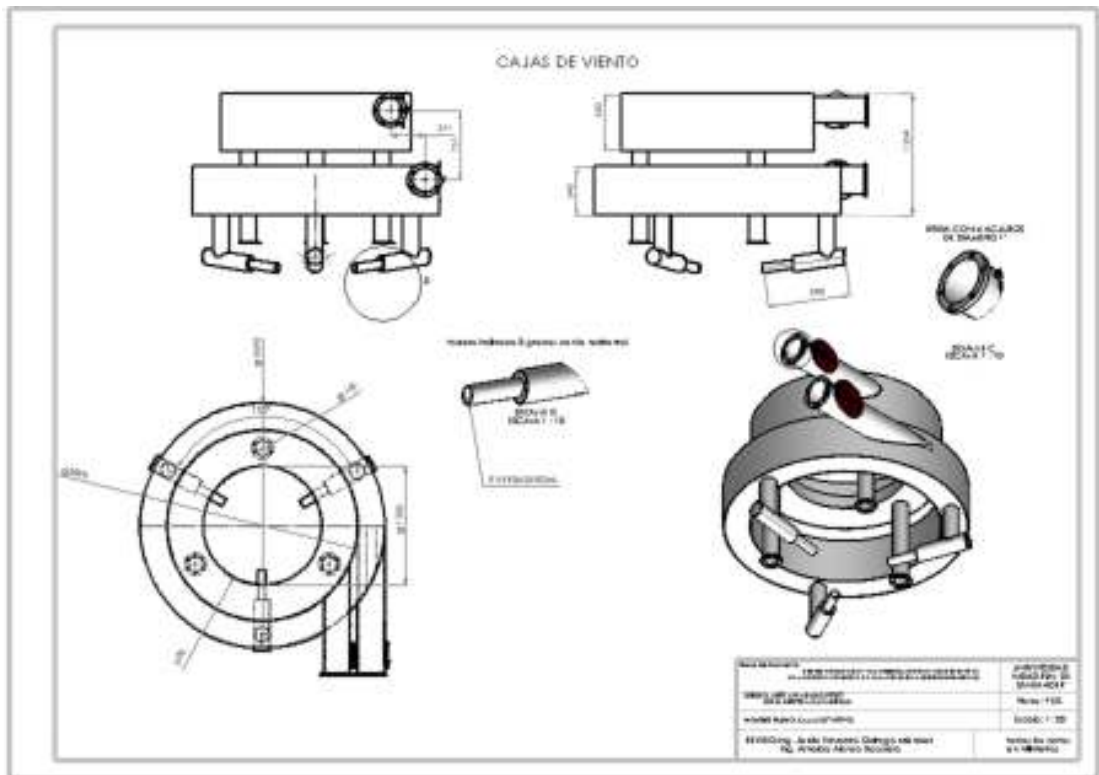
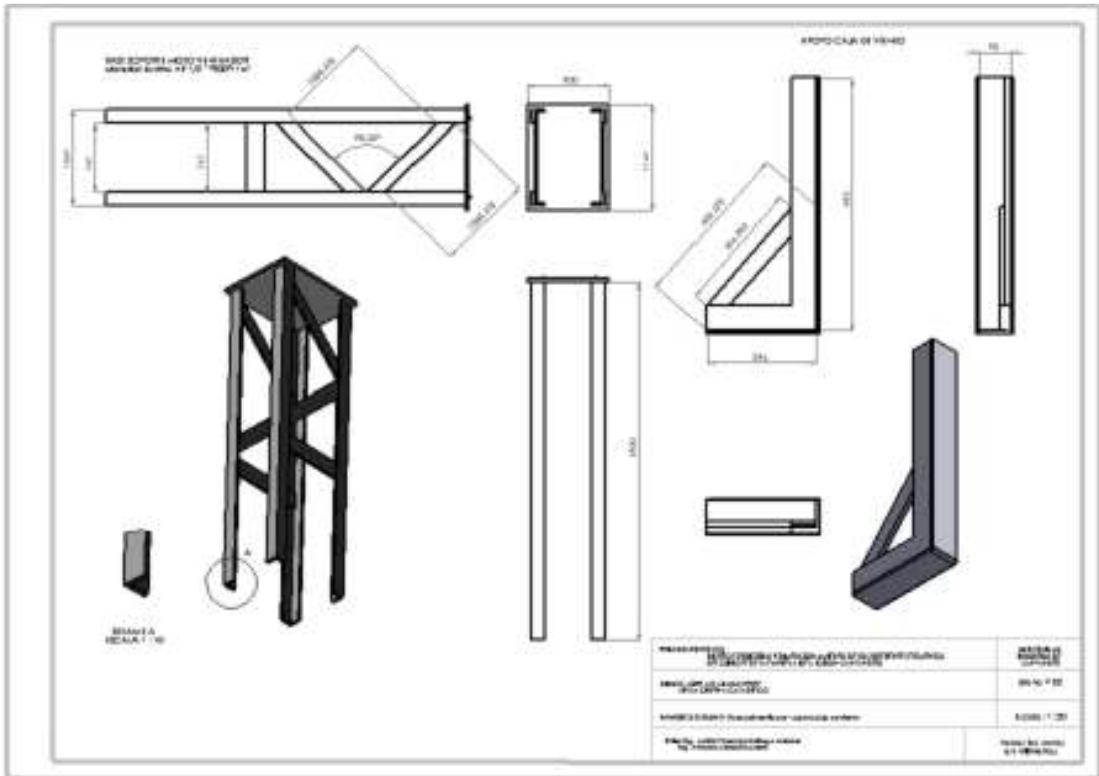
www.ideacolombia.com  
negocios@ideacolombia.com  
Calle 45 N° 16-35 Bucaramanga - Colombia  
PBX: 57 - 7- 6522037

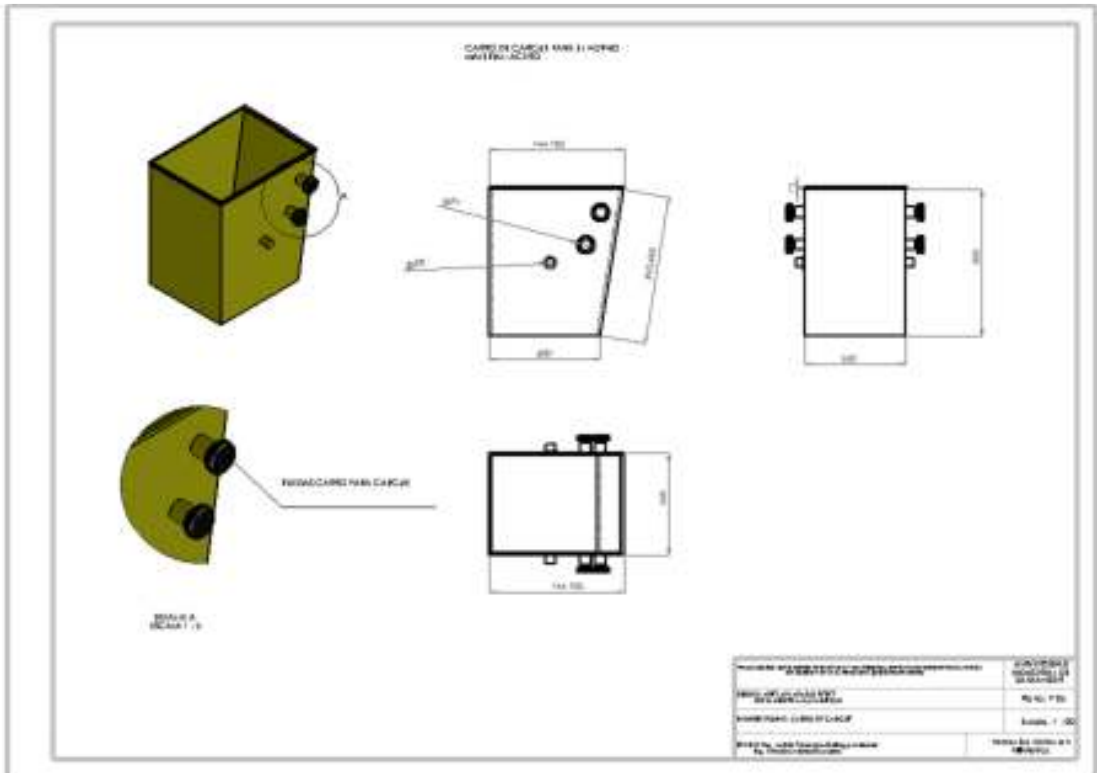
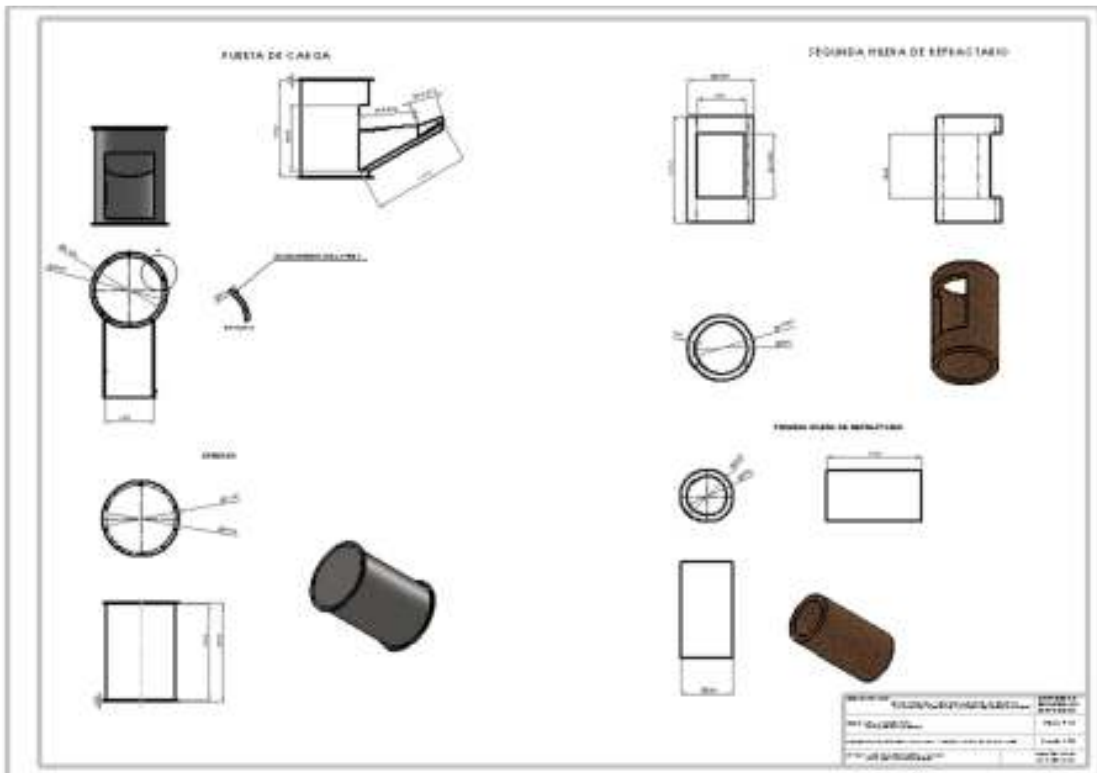


## ANEXO D

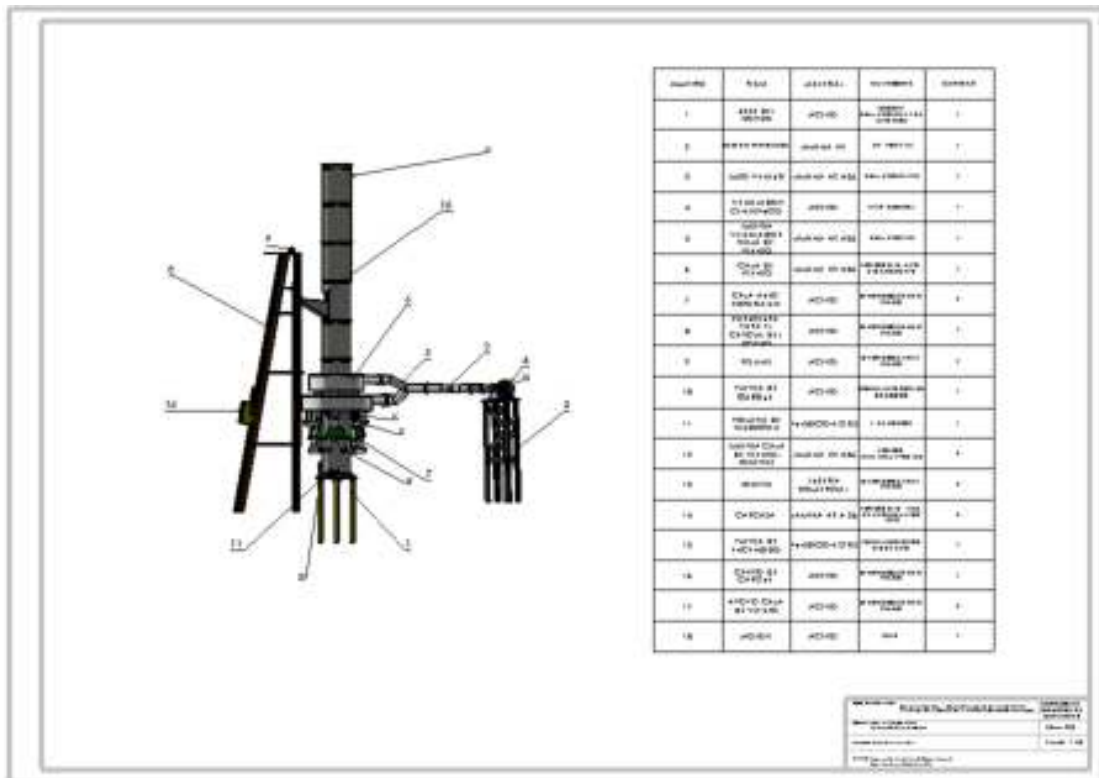
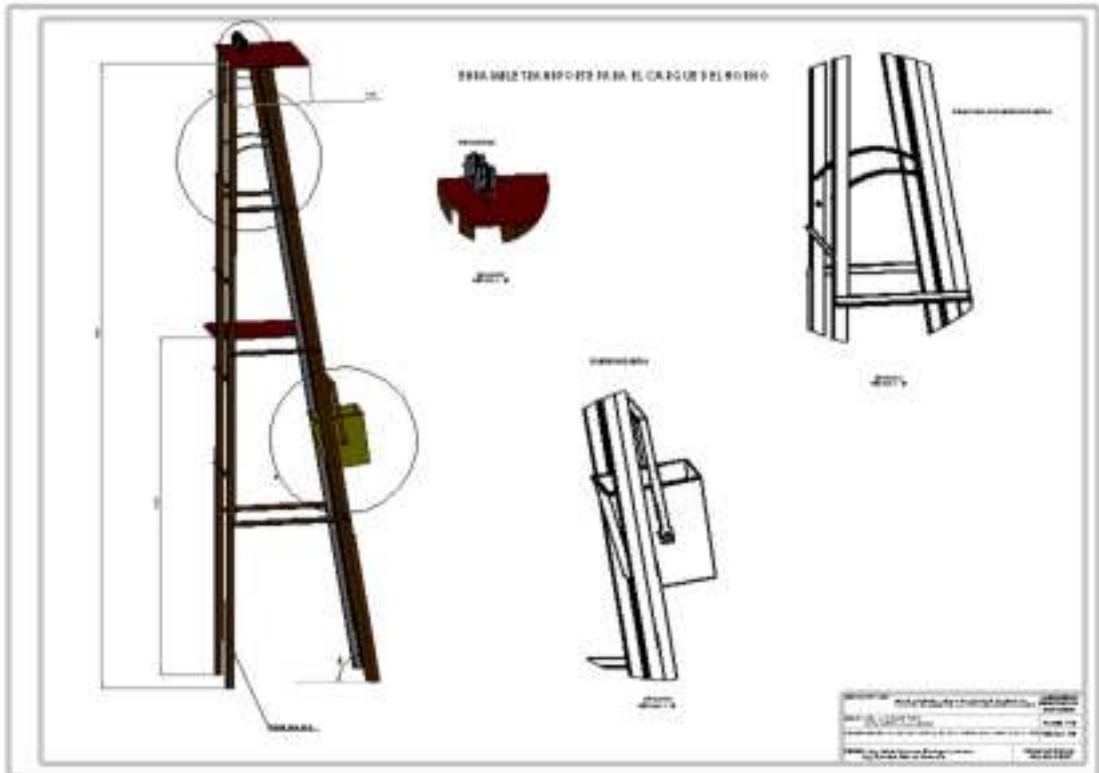
### PLANOS DE CONSTRUCCION











ESTRUCTURA DEL CARRO DE CARGUE

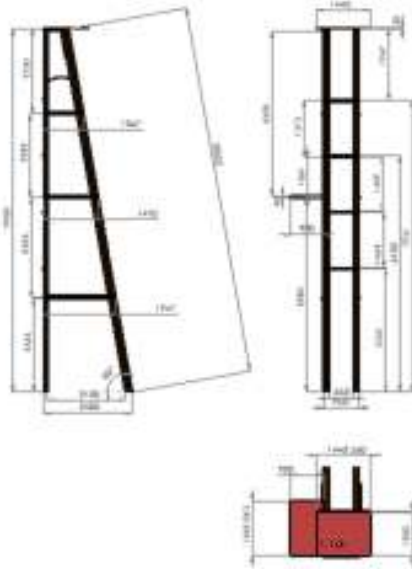
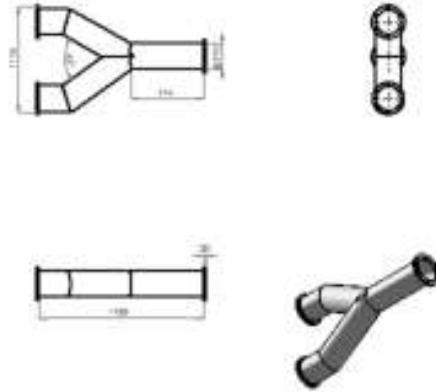


FIGURA 7



PROFESOR: CARLOS ALBERTO VILLALBA	ESTUDIANTE: JUAN CARLOS GARCIA
TÍTULO DE LA ASIGNATURA: MECÁNICA DE MÁQUINAS	FOLIO: 108
TÍTULO DEL TRABAJO: ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA DEL CARRO DE CARGUE	FECHA: 1/08
NOMBRE DEL ALUMNO: JUAN CARLOS GARCIA	

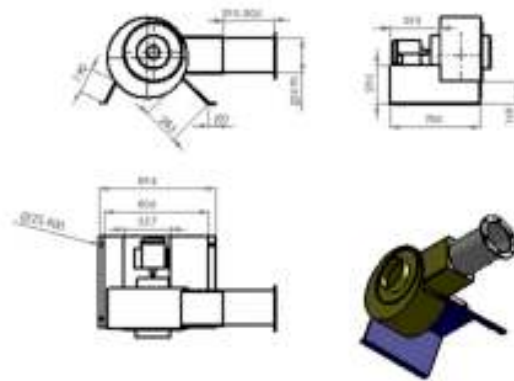
POLEA



EJE DE LA POLEA



MOTO VENTILADOR



PROFESOR: CARLOS ALBERTO VILLALBA	ESTUDIANTE: JUAN CARLOS GARCIA	UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
TÍTULO DE LA ASIGNATURA: MECÁNICA DE MÁQUINAS	FOLIO: 109	FECHA: 1/08
TÍTULO DEL TRABAJO: ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA DEL CARRO DE CARGUE	NOMBRE DEL ALUMNO: JUAN CARLOS GARCIA	
NOMBRE DEL ALUMNO: JUAN CARLOS GARCIA		FECHA: 1/08