

“CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE CENTRIFUGADORA HORIZONTAL PARA HACER TUBERÍA DE HIERRO DÚCTIL”

Gustavo Vicente Salazar Ramírez¹, Ignacio Vicente Wiesner Falconí²

¹ Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción - Escuela Superior Politécnica del Litoral gevesere@hotmail.com

² Ingeniero Mecánico, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción - Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1971; Postgrado en México, UNAM – Politécnico de México; Investigador Visitante del CENIM – España y el IPT – Brasil; Profesor de la FIMCP – ESPOL desde 1975, Campus Politécnico Prosperina Km. 30.5 Vía Perimetral, Guayaquil, Ecuador, intramet@hotmail.com

Resumen

Se corrigieron procedimientos en la gestión del taller de Ecuair S.A., que está a cargo de la prestación de servicio técnico de los equipos comercializados por la compañía dedicados a la construcciones de obras civiles, como por ejemplo carreteras, aeropuertos, centrales hidroeléctricas, etc.

Dentro del presente proyecto se observo un cambio en el manejo de reclamo de garantías técnicas a fabricantes de equipos industriales; se empezó analizando la falla de un componente de un determinado equipo, luego se hacia la reparación y posteriormente se realizaban todos los pasos normales para el proceso del reclamo a los fabricantes y no se facturaban los costos de producción, posteriormente se encontró en el camino información muy importante la cual ayudo a implantar un procedimiento que fue dando resultados óptimos para el departamento de Servicio Técnico de la compañía, poniéndose en claro que el taller tenia “pérdidas económicas” debido al manejo incorrecto del proceso de reclamo de garantías.

Una vez resuelto el caso mostrado en este trabajo, se procedió a la redacción de un Manual de Procedimientos de Reclamos de Garantías a fábrica, el cual contó con la aprobación de la dirección de la empresa, y que una vez instaurado y aplicado dio excelentes resultados técnico-administrativo para el departamento y la compañía en general.

Abstract

The primary target of this thesis focuses in developing a prototype of centrifugal system to make ductile iron pipes of quality standardized to competitive cost to be used in the potable water distribution. A study of the engineering specifications of the required ductile iron for this application will be made and a procedure will settle down so that the product fulfills the quality measures.

A horizontal centrifugal machine will be constructed, equipment pilot of 1 M. of long type pilot for the manufacture of the ductile iron pipe , although also it can be used to produce other products with aluminum alloy or receives. The obtained properties of the centrifuged pipe will be analyzed to project another machine with the required length of 4 M.s. Finally an analysis of production costs will appear and the feasibility will be seen to compete with import products .

INTRODUCCIÓN

La investigación en la ESPOL sobre los métodos de trabajo para la obtención de hierro dúctil, que entró en el mercado de fabricación de cigüeñales por el año de 1948 en los EE.UU, comenzó con la tesis de grado

del Ing. Jacinto Flor Díaz en 1970, en la que se usó un horno de crisol artesanal de 250Kg en la Fundición Acuña y se hizo este material por primera vez en el Ecuador.

Posteriormente, el Ing. Fulvio Espinoza en 1980-1981 usó un horno

están en proceso de instalación de las redes de distribución de Agua potable tanto tuberías como accesorios, de hierro dúctil.

Para este año Interagua tiene proyectado realizar obras de distribución de agua y según los técnicos de esta empresa se requerirá un promedio de 3200 m de tuberías para suplir las necesidades de reemplazo e incremento de redes de suministro de agua potable en las áreas marginales de la ciudad y para las diferentes ciudadelas que se están extendiendo vía a la costa y otros sectores.

La demanda de tuberías de hierro nodular de 800 mm y 400 mm de diámetro se ha proyectado por año un incremento del 8 %, la misma que da como resultado de la suma de las tasas por crecimiento poblacional y por renovación de tuberías deterioradas.

La demanda mínima de tuberías para tres años de este tipo de tuberías estarían proyectadas en la tabla no. 1

**TABLA 1
DEMANDA ACTUAL Y
PROYECTADA DE TUBERIAS
DE 800 MM**

AÑO	DEMANDA EN METROS
2008	1900
2009	2052
2010	2216

**TABLA 2
DEMANDA ACTUAL Y
PROYECTADA DE TUBERIAS
DE 400 MM**

AÑO	DEMANDA EN METROS
2008	1300
2009	1404
2010	1516

Nota: se utiliza tuberías de otras dimensiones en la red de distribución de agua potable.

Tipo de tubería para el sistema de distribución

Durante muchos años se ha venido utilizando tuberías de hierro dúctil para distribución de de agua potable en Guayaquil y otras ciudades del país por las propiedades que tiene este material, las principales son:

- Excelente resistencia a la corrosión natural en suelos salinos
- Características mecánicas más elevadas que el hierro gris
- Capacidad para deformarse plásticamente
- Módulo de elasticidad casi como la del acero
- Resistencia a la rotura por tracción y flexión de dos a tres veces superior a la fundición laminar.
- Elevada resistencia al impacto

Las tuberías de PVC son utilizadas para redes secundarias que requieren diámetros menores a 150 mm.

Las tuberías de hierro dúctil utilizadas para el sistema de red de distribución de Agua potable para la ciudad de Guayaquil tienen las siguientes características , las cuales cumplen con las normas internacionales.

Datos proporcionados por Interagua y la Municipalidad de Guayaquil).



**TUBERÍA DE HIERRO DÚCTIL
LADO RECTO Y EXTREMO
CAMPANA**

Diametro de tuberías: Desde 150 mm – 400 mm hasta 750 mm

Material de la tubería: Hierro dúctil

Revestimiento externo: Zinc. Metálico + barniz Bituminoso + Manga de polietileno.

El revestimiento de los tubos es de 200 gr/ m² de zinc metálico de acuerdo con la norma ISO 8179 o equivalente.

La capa de pintura bituminosa un promedio de espesor de 100 micras de acuerdo a la norma internacional ISO 8179 o equivalente.

El recubrimiento exterior adicional de manga de polietileno según aplicación del sitio , se fabricaran de acuerdo a las especificaciones AWWA C- 105 o ISO 8180.

Revestimiento interno

El revestimiento interno tiene por objeto garantizar la conservación de las características hidráulicas de la tubería al pasar el tiempo, evitar el ataque físico químico del agua al transportarse.

Los tubos serán revestidos interiormente de morteros de cemento de acuerdo a la norma ISO 4179 o equivalente.

El espesor del revestimiento de mortero deberá ser de acuerdo a la norma ISO 4179 como se muestra en la siguiente tabla.

**TABLA 3
ESPEORES DE REVESTIMIENTO**

Diámetro del tubo (mm)	Espesor nominal del revestimiento (mm)	Media del espesor mínimo (mm)	Valor mínimo en un punto (mm)
100mm - 300mm	3.0	2.5	1.5
350mm - 600mm	5.0	4.5	2.5
700mm - 1200mm	6.0	5.5	3.0
1400mm - 1600mm	9.0	8.0	4.0

Nota: Para ciertas condiciones de servicio, se pueden necesitar mayores espesores de

revestimiento. Consulte al fabricante para recomendaciones específicas.

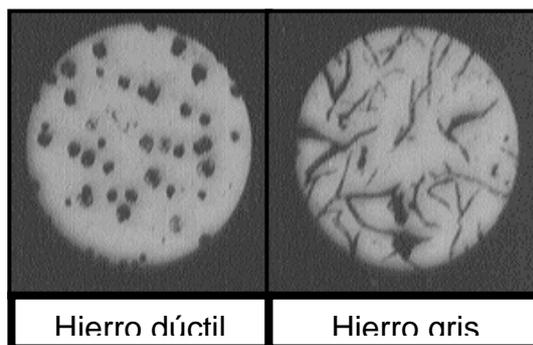


REVESTIMIENTO DE TUBERÍAS INTERNA Y EXTERNAMENTE

Las tuberías y piezas de conexión de hierro dúctil se fabricaran cumpliendo con los requerimientos de las ediciones recientes de las normas AWWA e ISO que se expresan a continuación.

Especificaciones de la tubería y el material

Para producir el hierro dúctil con la mejor combinación de resistencia, alta ductilidad y dureza, las materias primas que deben elegirse serán aquellas con bajo contenido de materiales indeseables ,particularmente aquellos que promueven una matriz de estructura perlítica. Un bajo contenido de magnesio es también necesario para conseguir ductilidad del material colado y para facilitar el éxito de los tratamientos térmicos para producir una estructura ferrítica . Para este propósito es necesario utilizar chatarra de acero de calidad o hierro en lingotes, también de calidades especiales.



MICROFOTOGRAFÍAS, A LA IZQUIERDA HIERRO DÚCTIL Y A LA DERECHA HIERRO GRIS

1.4 Producción Nacional de tuberías de hierro dúctil

Previa investigación realizada en nuestra ciudad y a nivel nacional sobre empresas que se dediquen a la producción de tuberías de hierro dúctil o grafito esferoidal, se determinó que hasta la fecha ha habido empresa o inversionista alguno que haya tomado en consideración esta área de producción.

Uno de los inconvenientes para abrir este mercado de las tuberías es que el material debe alcanzar temperaturas elevadas de fundición de aproximadamente 1500 °C.

Constructora Mejía ubicada en la ciudad de Cuenca provincia del Azuay con una capacidad de crisol de 500 Kg. y su producción está orientada a la minería y a la fabricación de parte para molinos en acero de manganeso.

INTRAMET, ubicada en la ciudad de Guayaquil provincia del Guayas con una capacidad de crisol de 500 Kg.

EPL de la Politécnica Nacional ubicada en la ciudad de Quito provincia del Pichincha con una capacidad de crisol de 120 Kg.

Politécnica del Ejército ubicada en la ciudad de Quito Provincia del Pichincha con una capacidad de crisol de 120 Kg.

ESPOCH ubicada en la ciudad de Riobamba provincia del Chimborazo con una capacidad de crisol de 80Kg.

Producción con horno de inducción y centrifugadora

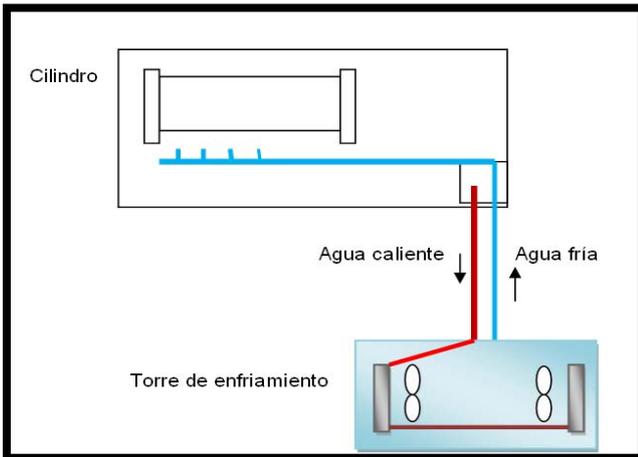
La producción de tubería de hierro dúctil u otros productos centrifugados, por ejemplo bronce requiere de dos sistemas importantes que se deben tomar en cuenta, una es el Horno de Inducción (etapa de preparación del hierro base), en segundo lugar

equipo para realizar la modificación de estructura con Mg. Y en tercer lugar la máquina centrifugadora que sirve para dar forma a los tubos.

Las tres máquinas son importantes en la fabricación de tuberías

- Un bajo contenido de azufre tal como se lo indicó anteriormente, es decir menor al .02% con la finalidad de que permita al magnesio formar el grafito esferoidal cuando la masa se solidifique. Y evitando de esta forma que disminuya la capacidad de modificación de estructura al formarse el sulfuro de magnesio si la cantidad de azufre es elevada.
- Una cantidad relativamente baja de silicio entre 1.0% a 1.50% para evitar un excesivo aporte de silicio durante la operación de modificación de la microestructura cuando se utiliza aleaciones de magnesio ferrosilicio como nodulizante.
- Para facilitar la operación de llenado en el molde el rango de contenido de carbono debe estar entre 3.60% y 4%, a pesar de ser considerado un porcentaje alto.
- Una escoria limpia y libre de hierro con un contenido de óxido lo más bajo posible, de no ser así se disminuiría el poder modificador del magnesio.

Máquina Centrifugadora: la función de esta máquina es la de formar el tubo por medio del proceso de centrifugado, es decir el molde gira a una velocidad de acuerdo al diámetro de la tubería producida (ver figura) y durante este proceso el material empieza a solidificar y a formarse el tubo en la pared interior del molde de metal.



SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

CONSTRUCCION DE MAQUINARIA

Equipo piloto de 250 mm de diámetro

Este equipo piloto es un sistema de vaciado centrífugo que consiste en darle vuelta a un molde de metal en su eje horizontal mientras que el hierro fundido se introduce dentro del molde.

La resistencia centrífuga del molde en rotación distribuye el metal en forma pareja, produciendo una tubería uniforme sin tener que usar un núcleo central.



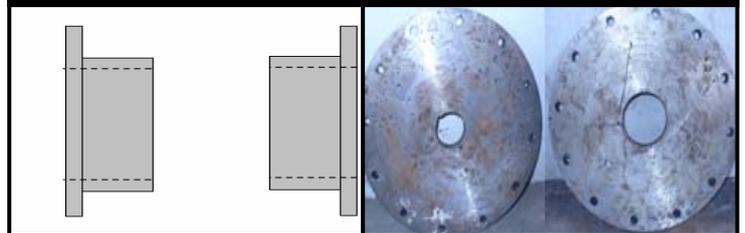
a.- CUERPO DEL CILINDRO DE LA CENTRIFUGADORA



b.- EJES Y CHUMACERAS DEL SISTEMA

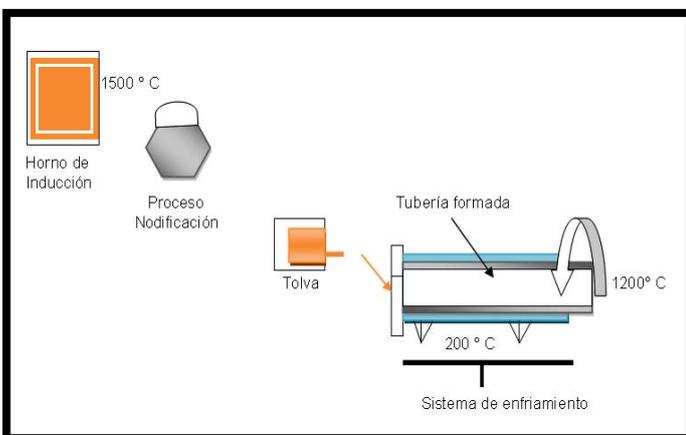


c.- RUEDAS CON RECUBRIMIENTO DE CAUCHO



d.- BRIDAS que se acoplan al cuerpo del cilindro y que actúan como superficies de rotura

e.- PLATOS FINALES hechos en acero fundido, la tapa con orificio pequeño pertenece al extremo opuesto al ingreso del metal líquido



El equipo piloto está conformado por las siguientes partes:

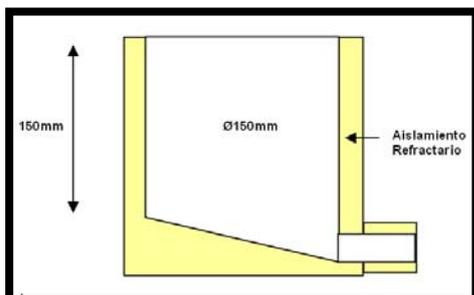
COMPONENTES DEL CUERPO DE LA MAQUINA CENTRIFUGADORA HORIZONTAL

- Una base de estructura metálica sobre la cual se apoya todo el conjunto centrifugador.



BASE METÁLICA SOBRE LA QUE DESCANSA EL SISTEMA CENTRIFUGADOR

- Una tolva para verter el material base fundido



TOLVA DE SUMINISTRO DE MATERIAL BASE

- Un motor eléctrico con revoluciones variables para hacer girar el cilindro centrifugador.



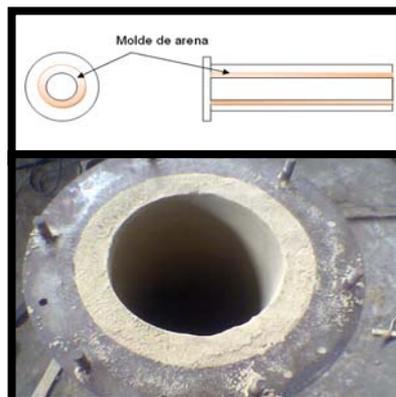
MOTOR ELÉCTRICO

- Un sistema de enfriamiento para mantener baja la temperatura del sistema centrifugador.



SISTEMA DE ENFRIAMIENTO POR RADIADORES

- Internamente un molde de arena dependiendo su grosor de acuerdo al diámetro de tubería a ser fabricado.

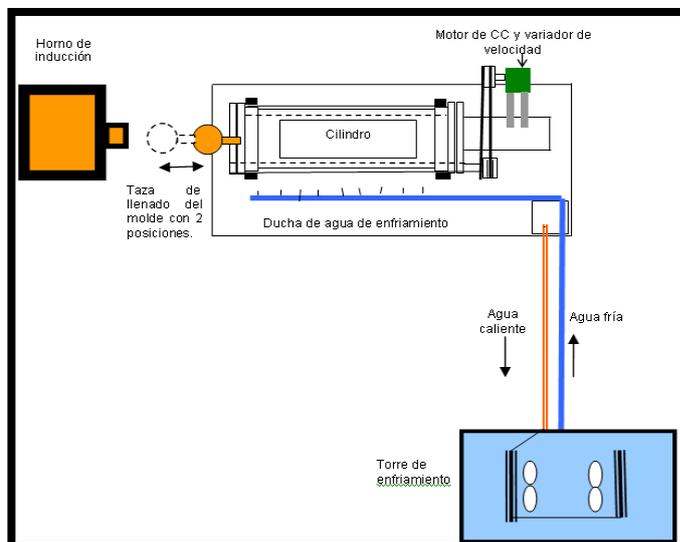


MOLDE CON ARENA SILICEA

- Horno de Inducción



HORNO DE INDUCCIÓN



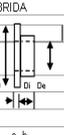
SISTEMA TOTAL DE CENTRIFUGADO

Elaboración de partes mecánicas de la maquina

Todos los elementos mecánicos principales de la centrifugadora horizontal fueron construidos en los talleres de INTRAMET con las especificaciones proporcionadas por el autor de la tesis.

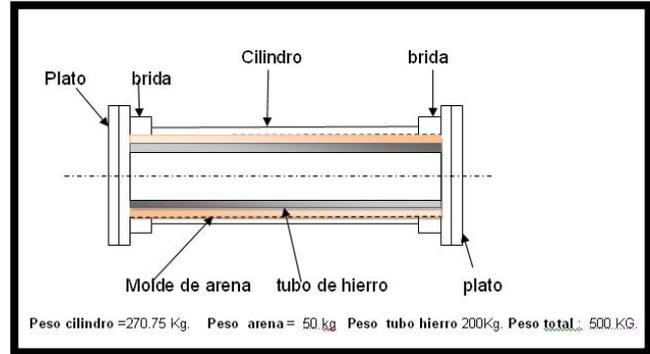
El cilindro, las bridas, placas, las cuatro ruedas fueron fabricados bajo un proceso de moldeo, fundición y rectificación de materiales chatarras de acero obtenidos localmente con las dimensiones especificadas en la sección 2.1.

**TABLA 4
MEDIDAS / PESO DE
CENTRIFUGADORA
DENSIDAD : 7850 KG./M3**

PIEZA	MEDIDAS (mm)	CANTIDAD	VOLUMEN (M3)	PESO/U (KGR)	PESO TOTAL (KGR)
CILINDRO	 Dext=262 DInt=250 L=1000	1	4,82x10	37,84	37,84
BRIDA	 D=397 De=319 Di=253 h=400 e=12	2	0,01186	93,1	186,2
Plato de entrada de metal	 De=397 Di=60 e=25	1	3,02x10	23,71	23,71
Plato de salida de gases	 De=397 Di=90 e=25	1	2,93x10	23	23

**TABLA 5
CONTINUACIÓN DE LAS
MEDIDAS / PESO DE
CENTRIFUGADORA
DENSIDAD : 7850 KG./M3**

PIEZA	CANTIDAD	DIMENSIONES
RUEDAS	4	 De =200 Di = 38 e = 87
EJES	1	 De
EJES	1	 De



**PESO DEL SISTEMA
CENTRIFUGADOR**

Luego de construido el cajón se procedió a instalar la estructura sobre la cual va a ser asegurada la maquina centrifugadora. Esta estructura descansa sobre el piso y asegurada con pernos de anclaje de 12 mm de diámetro y 100 mm de largo, siendo la dimensión de la estructura de 250 mm de ancho*220mm de alto y *1800 mm de largo.

Una vez asegurada la estructura y realizado el montaje de la maquina centrifugadora se procedió a revisar detalles como es la nivelación del sistema para que haya un perfecto acoplamiento del eje motriz con el motor eléctrico. Para instalar este motor se tuvo que construir una base para su sujeción y seguridad dejando nivelado de esta forma todo el sistema.



ACOPLAMIENTO DE BRIDAS CON EL CILINDRO

El cilindro y las bridas fueron acopladas durante un proceso de calentamiento para que entren y se mantengan unidos a presión los extremos del cilindro en los diámetros interiores de las bridas como se muestra en la figura donde se observa que no existe cordón de soldadura que adhiera estas partes de la maquina centrifugadora.

Se acoplaron las cuatro ruedas con cubierta de caucho a los ejes de acero , dos ruedas en el eje motriz ver fig. 2.14, aseguradas por topes laterales y cuñas para evitar el deslizamiento axial y patinamiento de las ruedas durante el giro y dos ruedas en el eje loco igualmente aseguradas. Así mismo cada eje descansa sobre dos chumaceras.



ACOPLAMIENTO DE EJES CON CHUMACERAS Y RUEDAS.

Adaptación de motor de corriente continua

Para seleccionar y adaptar el motor de corriente continua se consideraron los siguientes factores:

- a.- RPM a la cual va a girar el cilindro centrifugador
- b.- peso que se va a hacer girar
- c.- diámetro de los cuerpos

Considerando estos factores se determinó que el motor a utilizar es de 5 HP y de 1800 RPM.

El motor fue instalado a un lado del cilindro centrifugador transmitiendo su potencia al Sistema por medio de poleas y bandas.

motor de corriente continua un reóstato que permitirá controlar el giro o revoluciones del motor. Ver FIG. 2.15

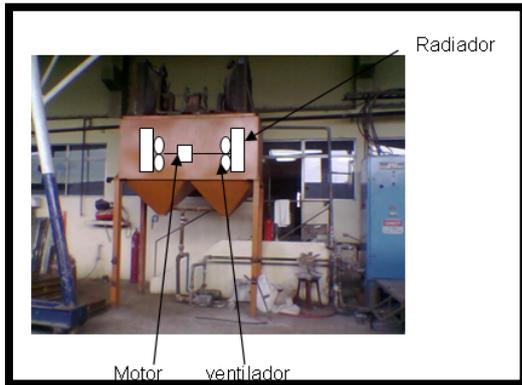


MOTOR ELÉCTRICO ACOPLADO CON UN SISTEMA DE REÓSTATO

Adaptación del equipo de agua de enfriamiento

El equipo de agua de enfriamiento consta de los siguientes elementos:

- Dos radiadores por donde circula el agua caliente para ser enfriada por ventiladores
- Dos bombas de agua , una sirve para enviar agua " fría " que sale de los radiadores hacia el sistema centrifugador . La otra bomba se encargará de recoger el agua caliente que se deposita en el sumidero una vez que realiza el enfriamiento del cuerpo centrifugador y envía esta agua a los radiadores de enfriamiento.
- Dos tuberías enterradas para la circulación de agua fría y caliente
- Una tubería con toberas que permiten que el agua sea rociada sobre el cuerpo caliente de la máquina centrifugadora.
- El sistema consta de válvulas de control de flujo, un medidor de temperatura del agua de enfriamiento y otros accesorios para su mejor funcionamiento.

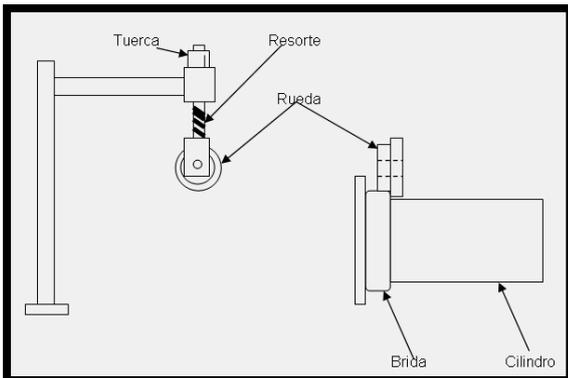


SISTEMA DE ENFRIAMIENTO POR RADIADORES Y VENTILADORES

Ensayos en equipo piloto para establecer operabilidad del equipo.

Antes de llevar a cabo las pruebas de ensayo con hierro dúctil se realizaron pruebas de operabilidad de la máquina para determinar fugas de agua en el sistema de enfriamiento, revoluciones del cuerpo centrifugador, vibraciones del sistema. Se hizo funcionar la máquina en vacío para detectar fallas de funcionamiento del sistema y realizar las debidas correcciones. Se detectó vibraciones y deslizamiento axial del cilindro.

Se colocará un sistema de amortiguación en cada extremo del cilindro.



SISTEMA DE AMORTIGUACIÓN

El sistema de llenado o alimentación de material fundido se hará mediante una tolva que está del lado izquierdo de la centrifugadora horizontal. Por este lado ingresará material fundido a 1500 ° C (temperatura de fundición

del hierro) , material que viene del horno de inducción (fig. 2.8).

Se detectó fugas de agua por las tuberías del sistema de enfriamiento, por tal motivo se las cambió, corrigiéndose dicha falla.

Ensayos de hierro dúctil

Una vez corregidas las fallas durante su operatividad en vacío, se procedió al ensayo con el material base seleccionado para realizar el presente trabajo (hierro nodular), se siguieron los siguientes pasos.

- a.) Selección de revoluciones a las cuales va a girar el cilindro centrifugador , las cuales dependen del diámetro de tubería a construir,

Para ello nos valemos de la siguiente fórmula :

$$N = 30 \sqrt{2g GF} / \pi D$$

N= velocidad de rotación (rev/min)
 D = diámetro interior del molde (m.)
 GF = relación de fuerza centrífuga dividida por el peso

Para fundición en una centrifugadora horizontal se recomienda utilizar un factor GF entre 60 y 80 . con este valor de GF vamos al nomograma de la fig. 5 y seleccionamos las revoluciones de acuerdo al diámetro de la tubería.

- b.) Preparación del material base a ser utilizado

Para este proceso utilizamos material chatarra de acero o hierro fundido en lingotes. Se introduce este material al horno de inducción hasta llevarlo a la temperatura de fundición de 1500 ° C.

- c.) Cálculo de la cantidad de material a ser utilizado en la elaboración de la tubería

Para este cálculo se considerarán los siguientes parámetros:

Densidad del material (δ) 7850 Kg/m³ = .0128 kg/ pulg.³ = .0583 lb/pulg.³

Longitud (L) = 1000 mm = 39.4 pulg.

Diámetro (D) = .20 m = 200mm = 8 pulg.

Espesor (e) = 8 mm = 0.008 m

Ecuación a utilizar:

Densidad = masa / volumen

Volumen = ($\pi D^2 / 4$) L

Masa = ($D^2 - d^2$) 6165.38

Se conoce:

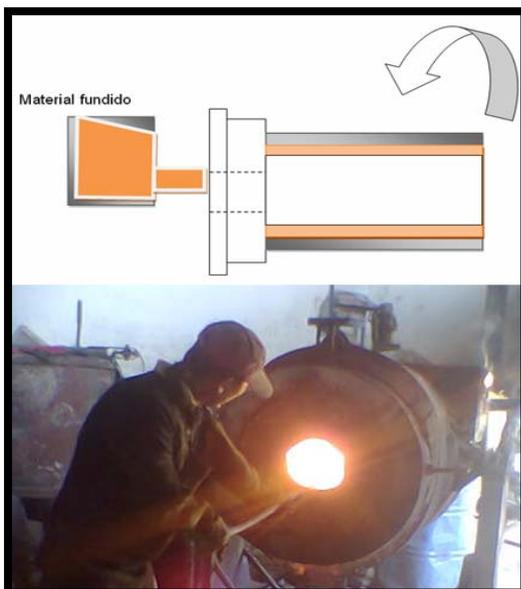
D = 216 mm

D = 200 mm

Por lo tanto:

Masa = 41.17 Kg.

d.) Se vierte el material base por medio de la tolva hacia el interior del cilindro centrifugador una vez que llega hasta la temperatura de fundición del hierro dúctil en el horno de inducción.



MATERIAL VERTIDO EN EL MOLDE Y TUBERÍA FORMADA

e.) Se lleva el molde a la temperatura de manipulación del sistema para extracción del tubo de hierro dúctil por medio del sistema de enfriamiento

Para llegar a la temperatura de manipulación del producto terminado se realizan cálculos y estimaciones de temperaturas:

Q_s = masa del hierro x calor de fusión

Q_f = calor de fusión = 247 Kcal / kg. = 1000 KJ/ Kg.

Masa del hierro (M) = densidad(δ) x volumen (V)

Datos:

V = .01923 m³

δ = 7800 Kg / m³

M = 150 Kg.

$Q_s = 150000$ KJ

Se solidifica en 30 s

$Q_a = \Delta T (\text{Joule/s m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}) \times \text{AREA}$

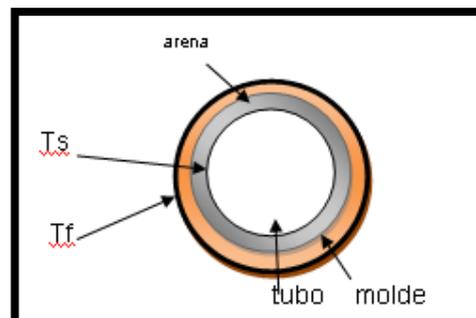
Entre 5 - 8

Se escoge valor de 5 para este cálculo

L = 1000 mm = 1 m.

D = 0.3 m

$Q_a = (T_f - 32 \text{ } ^\circ\text{C}) 4.71 (\text{joule/s})$



SECCIONES

El calor extraído por la cantidad de agua requerida para llevarlo a una temperatura de manipulación será:

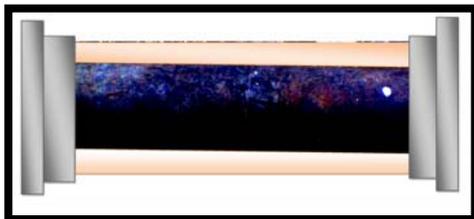
Calor absorbido por el agua para obtener la temperatura de manipulación.

$$C_p = 4.2 \text{ KJ / kg.}$$

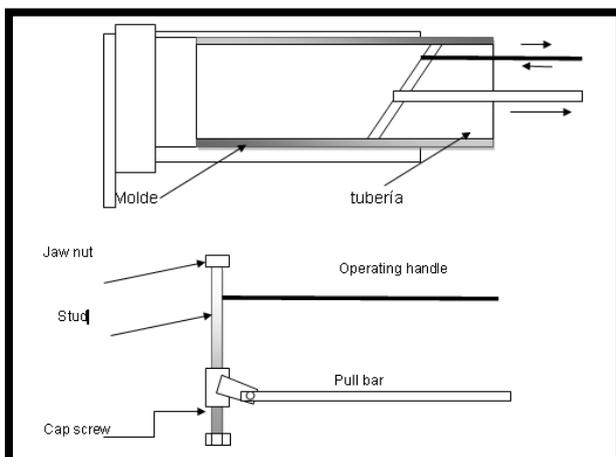
**TABLA 6
CAPACIDAD DE LA BOMBA
DE AGUA**

T _f (°C)	Q _s (joules / s)	Q _a (joules / s)	Q (Joules / s)	M _{agua} (Kg / s)	M ³ / s
500	5x 10 ⁸	2204.28	4.9 x 10 ⁸	23.8	0.0238
350	5x 10 ⁸	1497.78	4.9 x 10 ⁸	23.8	0.0238
200	5x 10 ⁸	791.28	4.9 x 10 ⁸	23.8	0.0238

f.) Extracción de la tubería formada una vez que se llegó a la temperatura de manipulación. Para proceder a extraer el tubo manualmente se utiliza una herramienta como lo muestra la fig. 2.20

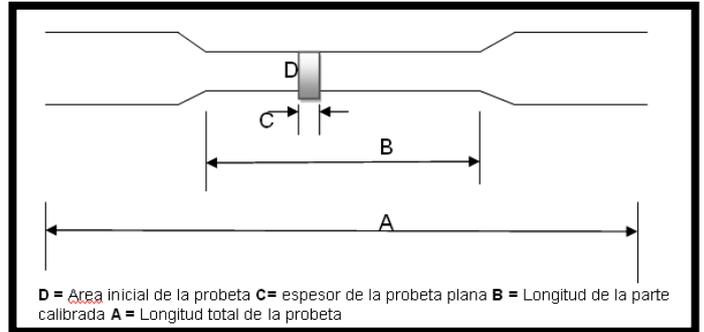


**TUBERÍA DE HIERRO DÚCTIL
FORMADA**



ESQUEMA DE HERRAMIENTA

g.) Corte y preparación de probetas para determinar las propiedades físicas del producto obtenido con el sistema de centrifugado horizontal.



PROBETA DE ENSAYO

ANÁLISIS DE LA PRODUCCION

Análisis de la calidad del producto con ajuste a la norma EN 124.



PRODUCTO TERMINADO

Con las probetas elaboradas se realizan los ensayos obteniéndose los siguientes resultados:

ANÁLISIS QUIMICO:

Se procedió a realizar los análisis químicos por medio del método de espectrómetro de Rayos X, para lo cual fue necesario preparar una probeta de hierro blanco fundiendo metal producido por centrifugación en horno de laboratorio y colando en molde de medallones, el resultado promedial de 2 quemas es el siguiente:

**TABLA 7
PROPIEDADES QUÍMICAS DEL
HIERRO DÚCTIL**

% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Cr	% Ni
3.51	2.40	0.10	0.020	0.0099	0.015	0.0061

Es de notar que el % de manganeso se mantiene bajo, porque se trata de llegar a una matriz ferrítica y el Mn es un elemento formados de carburos, lo cual es contrario al objetivo de tener alta ductilidad.

METALOGRAFIA:

Se analizó la morfología del grafito solidificado la distribución y la matriz para los dos primeros casos se hace el estudio microscopico con probeta sin ataque y en cambio para observar la matriz se lo hace con ataque químico de Nital al 2%.

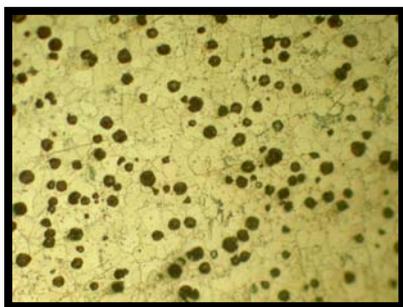


Sin Ataque 80X

Micrografía 1

Se observo a diferentes aumentos para diferenciar el % de nodularización , es del 95% y la distribución es uniforme y alrededor de 250 nódulo por mm²

MICROGRAFIA DE TUBERIA DE HIERRO DUCTIL SIN ATAQUE



320X Nital al 2%

Micrografía 1

Correspondiente a una sección transversal de la tubería de Hierro Dúctil, el resultado de la observación es que el material posee una matriz de ferrita.

MICROGRAFIA DE TUBERIA DE HIERRO DUCTIL CON ATAQUE

DUREZA

Dureza Rocckwell B : 81 (promedio) transformada a escala Brinell es de 160BHN.



MÁQUINA PARA ENSAYO DE TRACCIÓN

ENSAYO DE TRACCION

Los resultados encontrados califica el material dentro de la norma EN124 ya que no existen inconformidades en los ensayos realizados.

Material: Tubo de hierro dúctil
Equipo utilizado : Vesastester asistida por computadora
Temperatura de ensayo : 23° C
Velocidad de ensayo : 5 mm/min

**TABLA 8
PROPIEDADES MECÁNICAS
DEL HIERO DÚCTIL
(PRIMER ENSAYO)**

Limite de fluencia	Esfuerzo máximo	elongación	Espesor de tubería
37.87 kg/mm ²	59.70 Kg/mm ²	12.24 %	8 mm

**TABLA 9
PROPIEDADES MECÁNICAS
DEL HIERO DÚCTIL
(SEGUNDO ENSAYO)**

Limite de fluencia	Esfuerzo máximo	elongación	Espesor de tubería
41.78 kg/mm ²	56.67 Kg/mm ²	12.68 %	8 mm

**TABLA 10
PROPIEDADES MECÁNICAS
DEL HIERO DÚCTIL
(TERCER ENSAYO)**

Limite de fluencia	Esfuerzo máximo	elongación	Espesor de tubería
41.40 kg/mm ²	56.29 Kg/ mm ²	12.08 %	8 mm

Análisis de costo de producción

Costo de elaboración del sistema

Comprende todos los componentes del mismo y la fabricación de cada uno de ellos, incluida la obra civil llevada a cabo.

Todo esto tiene un costo de \$ 10000.00 dólares americanos.

Costo de producción de tubo fundido para 1 ton/ día

Costo de producción de tubo fundido para 1 ton/ día

Materia prima y materiales

-Chatarra de acero SAE A-36.....	\$ 100.00
- Desperdicios de electrodos de grafito 2 %	\$ 10.00
- Fe- Si 5% en peso (50 Kg).....	\$ 150.00
- Fe - Mn 1% en peso (10 kg).....	\$ 30.00

Costo total de materiales..... \$ 290.00 dólares americanos.

Otros costos de producción:

Energía

1.0 Kw-hr por Kg. Producido

1 Kw-hr es \$ 0.10

Produciendo 1 ton/ día..... \$ 100.00

Carga fábril..... \$ 30.00

Personal (5 personas)/ día..... \$ 100.00

Administración..... \$ 40.00

Gerencia..... \$ 50.00

Acabado galvanizado

Y pintura (\$2.0/Kg.)..... \$ 60.00

Revestimiento interior..... \$ 50.00
(\$ 5.0/ Kg.)

Total de otros..... \$ 430.00 dólares americanos

Por lo que tendríamos un costo por Kg. De producción de tuberías de \$ **0.72** .

El costo de la tubería de hierro dúctil importada es de 2.50 USD/ Kg por lo tanto existe margen de ganancia importante

Es más en este caso no existe carga financiera porque el horno es propio y se da una producción en serie para compensar las ineficiencias de la producción artesanal.

Conclusiones

Después de haber realizado pruebas con equipo piloto para la producción de hierro dúctil en forma de tubos y haber controlado la calidad por medio de ensayos de laboratorio podemos concluir lo siguiente:

- Técnicamente es posible hacer tubos centrifugados de la calidad requerida por la empresa de agua potable.
- Calculado el costo de producción para 1 tonelada de producto/ día mantiene la expectativa de tener un precio competitivo.
- Para hacer tubería de 250mm de diámetro y 6m de longitud se requiere de una extrapolación que no demanda de otra tecnología

Recomendaciones

- La extrapolación del equipo piloto a equipo de producción requerida de 6 m de longitud y diámetros mayores a 250mm requerirán inversiones de gran volumen en horno de inducción y centrifugadora.
- El resultado de este estudio nos orienta a pensar que dentro del mismo mercado del agua potable existen mayores oportunidades con la fabricación de accesorios de hierro dúctil que tienen mejor precio internacional, por lo que recomendamos dirigir la atención de los proveedores locales a que participen de los

proyectos de fabricación de este tipo de productos.

BIBLIOGRAFÍA

Janco, Nathan. CENTRIFUGAL CASTING, Illinois, 1988

METAL HANDBOOK, Ninth Edition tomos 1, 2 y 3

Interagua, PLAN DE TRABAJO

Flor Javier, FABRICACIÓN DE VÁLVULAS DE HIERRO DÚCTIL PARA EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL , Espol, 2005.

SAE Handbook , Part 1 , 1979

Wiesner Inox., INFORME TÉCNICO