

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO DE LA FORMACION DE LAS SOPLADURAS Y ARRASTRE DE ARENA EN LOS DIFERENTES TIPOS DE DISCOS Y TAMBORES DE FRENOS FABRICADOS EN LA EMPRESA ECHLIN DE VENEZUELA C.A.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Para optar por el Título de
Ingeniero Metalúrgico
Por los Br(es) Agustín A. Castro G.
Loida E. Ceballos A.

Caracas, noviembre de 2004

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO DE LA FORMACION DE LAS SOPLADURAS Y ARRASTRE DE ARENA EN LOS DIFERENTES TIPOS DE DISCOS Y TAMBORES DE FRENOS FABRICADOS EN LA EMPRESA ECHLIN DE VENEZUELA C.A.

Tutor Académico: Prof. Ruth Bisbal.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Para optar por el Título de
Ingeniero Metalúrgico
Por los Br(es) Agustín A. Castro G.
Loida E. Ceballos A.

Caracas, noviembre de 2004

ACTA

Quienes suscriben, miembros del Jurado designado por el Consejo de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales, para examinar el Trabajo Especial de Grado titulado:

“ESTUDIO DE LA FORMACION DE LAS SOPLADURAS Y ARRASTRE DE ARENA EN LOS DIFERENTES TIPOS DE DISCOS Y TAMBORES DE FRENOS FABRICADOS POR LA EMPRESA ECHLIN DE VENEZUELA C.A.”

Presentado ante la Ilustre **Universidad Central de Venezuela** por los Br(es): Agustín A. Castro G. y Loida E. Ceballos A., dejan constancia de lo siguiente:

Hemos leído este trabajo y participado en su discusión, encontrando que el mismo es suficiente en contenido, calidad y extensión para cumplir con todos los requerimientos establecidos para optar al título de Ingeniero Metalúrgico.

En fe de lo cual se levanta la presente acta en Caracas a los diecisiete días del mes de noviembre de dos mil cuatro.



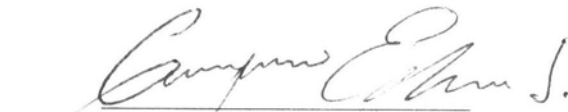
Prof. Ruth Bisbal

Tutor(a)



Prof. Alfonso Bencomo

Jurado



Prof. Edwuin Carrasquero

Jurado

RESUMEN

Castro G. Agustín A., Ceballos A. Loida E.

“ESTUDIO DE LA FORMACION DE LAS SOPLADURAS Y ARRASTRE DE ARENA EN LOS DIFERENTES TIPOS DE DISCOS Y TAMBORES DE FRENOS FABRICADOS EN LA EMPRESA ECHLIN DE VENEZUELA C.A.”

Tutor Académico: Prof. Ruth Bisbal. Tutor Industrial: Ing. Rober Linares. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Metalúrgia y Ciencias de los Materiales. 2004.
nº Pág.115

Palabras Claves: *scrap, sopladuras, arrastre de arena, discos, tambores*

El presente trabajo tiene como objetivo investigar las principales causas de la aparición de sopladuras y arrastre de arena en los diferentes tipos de discos y tambores de frenos fabricados en la Empresa Echlin de Venezuela, para minimizar el índice de piezas rechazadas por estos defectos.

Con esta finalidad se procedió a analizar las estadísticas de la Empresa durante un año, además se consideran las posibles causas que influyen en la formación de dichos defectos por separado, mediante el Diagrama de Causa-efecto y el Diagrama de Pareto, y a la vez mediante inspección visual se ubicaron los defectos en las piezas. Posteriormente, se realizó análisis químico mediante un espectrómetro de emisión; se determinó la variación de la temperatura durante la transferencia desde el horno de mantenimiento hasta la olla de colada y en la olla de colada en si. Se llevaron a cabo una serie de ensayos para determinar las propiedades de la arena de moldeo en verde, entre ellos: compactabilidad, R.C.V., permeabilidad, humedad, bentonita total, % carbono, temperatura de la arena; por último se realizaron ensayos para determinar las propiedades de la arena shell entre ellas: tracción en caliente, dureza, humedad en los machos y adicionalmente la densidad de la pintura refractaria.

Del análisis de los resultados se puede concluir que:

- La temperatura de colada y la arena de moldeo con 46.4 % representan las causas principales en la formación de sopladuras vista en el diagrama de pareto y solo la arena de moldeo representa el 40 % de incidencia.
- Las propiedades de la arena de moldeo representa una de las causas principales de la formación de los defectos estudiados, debido al descontrol de las misma siendo la temperatura de la arena la mas problemática.
- Las características de la arena shell tiene un comportamiento aceptable, sin embargo la humedad debe ser considerar al realizar la colada porque influyen en la formación de las sopladuras.
- la temperatura de colada es otra de la causas principal en la formación de las sopladuras debido al descontrol de la misma. El método de control no es muy confiable porque no se tiene relación entre la temperatura perdida en grados centígrados con los discos agregados.
- El aumento de la temperatura de la arena provoca una perdida constante en la compactabilidad y en algunos casos perdida en el control del sistema de preparación de la arena en el molino.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primeramente a Dios, que siempre esta conmigo protegiéndome en todo momento, dándome fuerza y guiándome por el buen camino ayudándome a vencer cualquier obstáculo que se me pueda presentar.

A mis padres que siempre me han apoyado y me han brindado el amor que he necesitado y que sin su ayuda hubiese sido difícil estar hoy aquí. Gracias los quiero mucho, son lo mas grande que tengo.

A mis hermanas que siempre han estado en los momentos más felices de mi vida y en los más difíciles, también apoyándome en todo momento y a mis sobrinos por alegrarme la vida.

A mi abuelo que en paz descanse por todo lo que me enseñó en vida, sobre todo por quererme y guiarme por el buen camino. Y yo se que donde se encuentre esta conmigo en mi corazón.

A mis abuelas Maria y Dominga por quererme y aceptarme como soy, para ellas este triunfo.

En especial a la Señora Jacqueline por abrirme su corazón y la puerta de su casa donde me cobijo y me dio mucho amor como una madre. A sus hijos y su esposo.

A Ernesto Buaiz por apoyarme, estar conmigo en las buenas y en las malas, y por último por quererme, gracias.

A mis amigos Nelly, Amauris, Tahiris, Adriana, Eduardo G, Eduardo H, Fran, Agustin por su apoyo y amistad, y a todos mis compañeros que me acompañaron durante mi carrera.

A mis padrinos Carolina y Francisco por confiar en mi.

Gracias a todos por compartir mi triunfo. LC

DEDICATORIA

Dedico nuestro trabajo a Dios y los santos, que nos acompañan en todo momento siempre dándonos fuerzas y llevándonos por el camino del bien.

A mis tíos y tías que siempre me han brindado su mano amiga sin esperar nada a cambio.

A mi abuela Josefina que ha sido mi segunda madre, orientándome y brindándome su apoyo.

A mis hermanos con lo que he compartido mis mayores alegrías y tristezas, durante toda mi vida.

A mi novia y compañera, Dorka que ha estado conmigo presente, apoyándome.

A mis amigos y compañeros que conocí durante la carrera y me acompañaron en el transcurso de la misma.

A todas aquellas personas que me han brindado su apoyo y que de alguna u otra forma han estado presentes en mi formación personal.

A mi padre, que en vida me guió a ser el hombre que soy con sus orientaciones y que ahora desde el cielo me protege y guía mi camino.

Y por ultimo, especialmente, a mi madre que ha estado conmigo siempre brindándome su apoyo y amor incondicional durante toda mi vida y la cual este triunfo es de ella.

En fin a todas aquellas personas que se han trazado un camino, que con dificultad y muchas veces con necesidades han seguido para conseguir al final el triunfo.

A todos, lo logramos. AC

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero Rober Linares por darnos la oportunidad de realizar nuestro trabajo de grado en la Empresa Echlin de Venezuela y orientarnos durante la realización de la misma.

Al Ing. Andrés Escalante y T.S.U Javier Amaya por su colaboración brindada en la empresa ayudándonos a alcanzar nuestra meta. En fin a todas las personas que nos brindaron su colaboración durante nuestra estadía en la Empresa Echlin de Venezuela.

A la profesora Ruth Bisbal que siempre nos oriento y nos brindo su apoyo durante la realización del trabajo.

A los profesores Freddy Fraudita, José Balbino, Alfonso Bencomo, Maribel Suárez, Rodolfo Monsalve, Edwin Carrasqueño, Leonardo Berrios, Olivia Brito por compartir con nosotros sus conocimientos académicos y ayudarnos a cumplir nuestros sueño.

En especial al profesor Leopoldo Finol y al Ingeniero Miguel Ángel Contreras por su ayuda brindada en la etapa final de nuestra carrera.

INDICE

DEDICATORIA	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
CAPITULO I. INTRODUCCION	1
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO	4
2.1 Aleaciones hierro-carbono	4
2.2 Fundición gris	5
2.3 Hornos	8
2.3.1 Horno basculables de crisol fijo	8
2.3.2 Hornos de inducción de baja frecuencia con núcleo:	9
2.4 Composición química de hierro gris	10
2.4.1 Influencia del azufre, fósforo, manganeso, oxígeno e hidrógeno en las fundiciones.	10
2.5 Arenas de moldeo	13
2.5.1 Naturaleza y clasificación de las arenas	14
2.5.2 Componentes de la arena de Moldeo:	15
2.5.2.1 Arenas	15
2.5.2.2 Tipos de Arena:	15
2.5.2.3 Composición de las arenas	16
2.5.2.4 La forma, tamaño, distribución y carácter superficial de los granos	17
2.5.2.5 La cantidad y tipo de arcilla.	18
2.5.2.6 Humedad de las arenas	19
2.5.2.7 Calidad de las arenas:	21
2.5.2.8 Molienda	22
2.5.2.9 Propiedades de la arena de moldeo	24
2.6 Elaboración de machos	28
2.7 Equipo de moldeo vertical automático(Disamatic)	30

2.8 Defectos de Fundición	32
2.8.1 Defectos por gas	32
2.8.1.1 Causas	34
2.8.2 Caídas de arena	35
2.8.2.2 Causas	36
CAPITULO III. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	38
3.1 Análisis de las estadísticas de la Empresa Echlin de Venezuela	38
3.2 Diagrama Causa- Efecto. Diagrama de Pareto	38
3.3 Determinación de la composición química de la fundición gris	39
3.4 Análisis de las propiedades de la arena de moldeo:	41
3.5 Propiedades de la arena Shell.	60
3.6 Medición de temperatura	63
CAPITULO IV. RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSION	66
4.1 Análisis de las estadísticas de la Empresa Echlin de Venezuela	66
4.2 Localización de los defectos y Diagrama Causa- Efecto. Diagrama de Pareto	73
4.3 Determinación de la composición química de la fundición gris	77
4.4 Análisis de las propiedades de la arena de moldeo	77
4.5 Propiedades de la arena Shell.	80
4.6 Medición de la temperatura	84
4.7 Comparación de la temperatura y la Compactabilidad	86
CAPITULO V. CONCLUSIONES	89
RECOMENDACIONES	91
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	92
APENDICE A	94
A.1. Composición química de la fundición gris	94
A.2 Propiedades de la arena de moldeo.	95
A.3 Comportamiento de la temperatura en la olla de colada.	96
A.4 Desviación Estandar de la composición química de la fundición gris	97

A.5 Desviación Estandar de las propiedades de la arena de moldeo en verde	97
APENDICE B	98
Defectos estudiados.	98
APENDICE C	99
C.1 Área de Noyeria.	99
C.2 Area de moldeo y colada	99
ANEXO	100

INDICE DE TABLAS

Tabla 3. 1 Propiedades y rangos de la arena de moldeo usados en la Empresa Echlin de Venezuela	42
Tabla 4. 1 Comportamiento del scrap en la Empresa.	66
Tabla 4. 2 Comportamiento de la temperatura en la olla de colada.	68
Tabla 4. 3 Porcentaje fuera de especificación de la composición química de la fundición gris	69
Tabla 4. 4 Porcentaje fuera de especificación de las propiedades de la arena de moldeo	71
Tabla 4. 5 Ubicación de los defectos predominante en la empresa.	73
Tabla 4. 6 Porcentaje fuera de especificación de los elementos de la composición química de la fundición gris	77
Tabla 4. 7 Porcentaje fuera de especificación de las propiedades de la arena de moldeo.	77
Tabla 4. 8 Análisis granulométrico de la arena de moldeo	78
Tabla 4. 9 Índice de fineza y distribución de la arena de moldeo	79
Tabla 4. 11: Densidad de la pintura refractaria usada para pintar los machos (Baume)	82
Tabla 4. 12 Porcentajes de humedad de los machos o noyos	83
Tabla 4. 13: Ensayos adicionales de compactabilidad Vs temperatura de la arena.	86

INDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1. Diagrama de fases hierro-carbono de hierro. El sistema hierro-carbono se muestra en líneas punteadas	4
Figura 2. 2 Microestructura obtenida al solidificarse el hierro colado. A la izquierda Fe-blanco; a la derecha Fe-gris.	7
Figura 2. 3 .Horno de crisol basculante.	8
Figura 2. 4 Horno de inducción con núcleo.	9
Figura 2. 5. Efecto del contenido de humedad sobre las propiedades de la arena de moldeo.	20
Figura 2. 6 Molino continuo para la arena de moldeo.	23
Figura 2. 7 Pasos para la elaboración de moldes en la DISAMATIC.	31
 Figura 3. 1 Toma de de la muestra de la arena de moldeo en verde.	 43
Figura 3. 2 Equipo y accesorios para el ensayo de compactabilidad (a, b y c).	44
Figura 3. 3 Permeámetro Digital.	47
Figura 3. 4 Maquina de ensayo Universal marca Harry Dietert.	48
Figura 3. 5 Equipo determinador de la humedad.	49
Figura 3. 6 Equipo para determinar Bentonita	50
Figura 3. 7 Elementos utilizados durante el cálculo de la bentonita (Pirofosfato, Beaker metálico, Ultrasonido)	50
Figura 3. 8 Bureta digital utilizada durante la titulación del azul de metileno	51
Figura 3. 9 Elementos utilizados para formar la gota (Varilla, Filtro de Papel, motor agitador)	52
Figura 3. 10 Determinación de la aureola para determinar el contenido de bentonita en la arena de moldeo	52
Figura 3. 11 Equipo utilizado para determinar el contenido de carbón en la arena de moldeo	54
Figura 3. 12 Accesorios para determinar la temperatura de la arena de moldeo.	56
Figura 3. 13 Equipo para determinar la resistencia a la tracción en caliente de la arena shell	61
Figura 3. 14 Medición de temperatura en el horno de mantenimiento.	64
Figura 3. 15 Pistola digital utilizada para la medición de temperatura de la olla de colada.	65

Figura 4. 1 Comportamiento del Scrap total en planta desde Julio-2003 hasta Junio-2004 en la Empresa Echlin de Venezuela	66
Figura 4. 2 Scrap en el área de mecanizado y los defectos de sopladura y arrastre de arena desde Julio-2003 hasta Junio-2004 en la Empresa Echlin de Venezuela	67
Figura 4. 3 Comportamiento de la temperatura de colada en el límite superior e inferior	68
Figura 4. 4 Comportamiento de los porcentajes fuera de especificación de las propiedades de la arena	72
Figura 4. 5 Diagrama causa-efecto de la aparición de las sopladuras.	74
Figura 4. 6 Diagrama de Pareto de la aparición de las sopladuras.	75
Figura 4. 7 Diagrama causa-efecto de la aparición del arrastre de arena.	75
Figura 4. 8 Diagrama de pareto del arrastre de arena.	76
Figura 4. 9 Distribución granulométrica de la arena de moldeo	79
Figura 4. 10 Ensayo de tracción realizado a la arena Shell para la fabricación de machos.	81
Figura 4. 11 Ensayo de dureza en los machos o noyos.	81
Figura 4. 12 Densidad de la pintura refractaria utilizada para pintar machos o noyos	82
Figura 4. 13 Determinación de la humedad de los machos o noyos.	84
Figura 4. 14 comportamiento de la temperatura en la olla de colada durante el vaciado	84
Figura 4. 15 Comportamiento de la pérdida de temperatura desde el horno de mantenimiento hasta el último molde colado.	85
Figura 4. 16 Variación de la compactabilidad con la temperatura de la arena.	87

CAPITULO I. INTRODUCCION

Diariamente se invierten sumas considerables en obtener piezas que apenas salidas de los moldes, resultan inadecuadas para su empleo, debido a los defectos que presentan. Estos rechazos, “scrap” como se conoce en la planta, contribuyen en gran manera a mantener un nivel superior en el precio medio de las piezas de fundición. Todo aumento en el número de rechazos, se traduce como una disminución catastrófica del beneficio de explotación, por el contrario, la reducción del scrap es una de las causas más importante del aumento del beneficio. Toda pieza rechazada debe rehacerse, y en ocasiones varias veces. Por ello el alcance de este trabajo es:

- Lograr disminuir la incidencia de las sopladuras y arrastre de arena en los diferentes discos y tambores de frenos fabricados en la Empresa Echlin de Venezuela C.A., con la finalidad de incrementar su productividad.
- Lograr reducir las perdidas por concepto de materia prima, horas-hombres, energía requerida y tiempo. Todos estos parámetros relacionados con el porcentaje de piezas rechazadas.

La preocupación en la industria de la fundicion es, por tanto, evitar los rechazos, reducirlos al menor porcentaje posible. Para llegar a ello es aconsejable proceder de la siguiente manera:

1. En cada operación de desmoldeo, eliminar todas las piezas que presenten defectos, colocarlas apartes y clasificarlas por categoría.
2. Examinar detenidamente todas las piezas que presenten defectos y procurar descubrir la causa de la imperfección constatada.
3. Buscar todos los métodos susceptibles para eliminar las causas de los defectos descubiertos.

4. Escoger el procedimiento que parece puede ser aplicado de forma más sencilla y menos costosa, teniendo en cuenta tanto el material y los elementos existentes, como el valor profesional del personal que lo ejecuta.
5. Ensayar en un pequeño número de moldeos la aplicación del “método” elegido, pero sobre todo comprobar bien que en las instrucciones dadas en este sentido son bien comprendidas y asegurarse que los procedimientos propuestos son debida y correctamente aplicado.
6. Examinar las nuevas piezas coladas y verificar si el defecto ha desaparecido o aun persiste.

La investigación de las causas de los defectos observados, la elección de los métodos a aplicar para suprimir el origen de todos ellos, es a menudo un problema de difícil solución. Con frecuencia se ha comprobado que en la persecución de las imperfecciones y con la esperanza de suprimirlas, se hace cualquier cosa, sin saber demasiado bien el porqué, modificando a la vez el sistema de alimentación, la ubicación de los respiraderos, la forma y el numero de las mazarotas e incluso la composición del metal y su temperatura de colada todo al mismo tiempo por supuesto, lo que es normal, la mayoría de las veces sin ninguna mejora. En busca de disminuir la incidencia de los defectos muchos investigadores se han tomado la tarea de descubrir así con mayor rapidez y claridad el porque se ha producido el defecto. Entre algunos estudios realizados se entiende los siguientes:

- ¿Porqué las arenas calientes causan problemas? Se evalúa el problema de la arena caliente comparando la viscosidad de la bentonita a diferentes temperaturas y tiempos, obteniendo que el agua es retenida menos eficientemente por la bentonita a temperatura elevada, lo que implica una perdida rápida de humedad y una reducción en las propiedades físicas comparada con el agua fría.⁽¹⁾
- “El problema de las arenas de moldeo en caliente” donde se evaluó como afecta la temperatura de la arena, obteniendo que ocurre una perdida constante en la compactabilidad cuando la temperatura excede de 49 °C ocasionando una reducción

en las propiedades físicas y una mala molienda; sin embargo, no hubo cambio en la compactabilidad entre (28-49°C) siendo este rango el mejor para trabajar.⁽²⁾

- “Optimización del balance de premezclado y variables del molino de la línea de moldeo para piezas automotrices de S.H. FUNDICIONES C.A.” donde obtuvieron un aumento en el porcentaje de carbón en la arena, así como una disminución en la resistencia a la compresión en verde y la permeabilidad; sin embargo, optimizando las variables del molino compensaron la disminución de la resistencia a la compresión en verde y mejoraron la eficiencia del mezclado.⁽³⁾

Con la finalidad de encontrar las causas de rechazo en la Empresa Echlin de Venezuela se plantearon los siguientes objetivos:

- Investigar las causas principales de la aparición de sopladuras y arrastre de arena en los diferentes tipos de discos y tambores de frenos, para minimizar el índice de piezas rechazadas por estos defectos.
- Evaluar las propiedades de la arena de moldeo para garantizar que cumplan con las especificaciones de la Empresa.
- Verificar si las propiedades de la arena revestida (arena shell) utilizada en la fabricación de machos o noyos cumple con los parámetros implementados por la Empresa.
- Verificar si la composición química del metal cumple con las especificaciones de la Empresa.
- Analizar cómo influye la variación de la temperatura, durante la operación de transferencia del metal desde el horno de mantenimiento hasta la olla de colada, sobre la aparición de sopladuras.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Aleaciones hierro-carbono

El efecto del carbono sobre la estructura y propiedades del hierro no parece guardar una relación con la proporción del mismo en la composición. Es suficiente un 0.30% de carbono en el retículo de hierro para elevar la resistencia a la tracción del hierro puro de 28 a 91 kg/mm². Las aleaciones de hierro y carbono, con otros elementos de liga para objetos especiales, forman las importantes clases de metales ferrosos conocidos como aceros y hierros colados. Estas aleaciones, particularmente los aceros, son susceptibles de tratamiento térmico, y puede impartírseles una amplia gama de propiedades variando los ciclos de calentamiento y de enfriamiento. En la fig. 2.1 se muestra un diagrama de fases para aleaciones hierro-carbono. Por debajo de 910 °C, el hierro puro existe en la forma cúbica centrada; se conoce como hierro ferrítico, o ferrita. La ferrita tiene poca solubilidad para el carbono, siendo solamente posible disolver un máximo de 0,025% aproximadamente. A temperaturas entre 910°C y 1393°C, el hierro puro adquiere un retículo cúbico de caras centradas, y en esta forma puede disolver hasta un 2% de carbono. La forma cúbica de caras centradas del hierro o de sus aleaciones se llama austerita.⁴

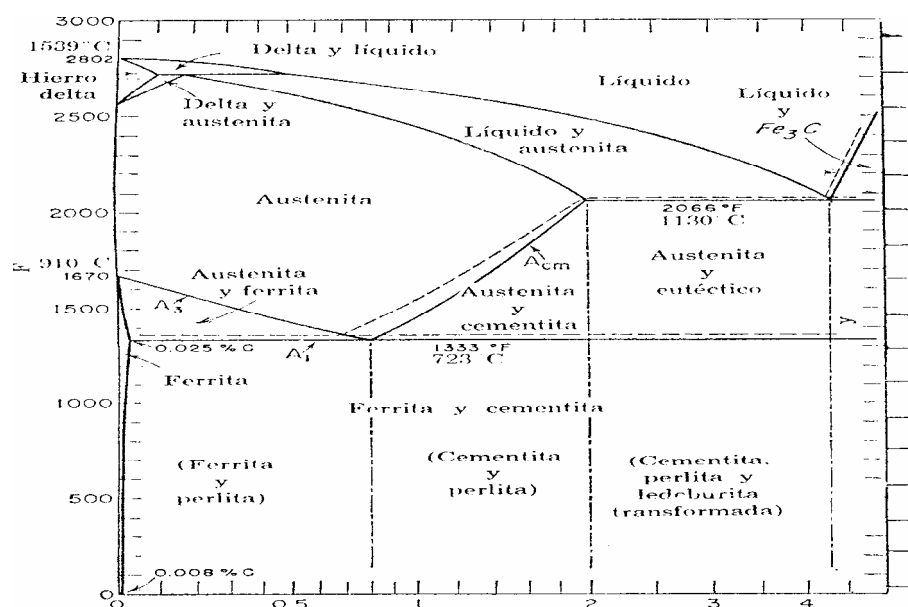


Figura 2. 1. Diagrama de fases hierro-carbono de hierro. El sistema hierro-carbono se muestra en líneas punteadas⁴

Cuando se excede la solubilidad del carbono en el hierro, el carbono se precipita en una de las dos formas, ya sea como el compuesto metaestable Fe_3C (cementita), o como grafito elemental. En aleaciones de bajo carbono, o en aleaciones de alto carbono enfriadas rápidamente, el carbono se precipita siempre como cementita (Fe_3C). El diagrama de fases de la Fig. 2.1 está trazado para mostrar los productos de las reacciones Fe- Fe_3C . Para contenidos de carbono más altos, el régimen de enfriamiento puede ser lo suficientemente lento como para que se precipite el verdadero "grafito de equilibrio". El diagrama de fases para reacciones hierro-grafito es casi idéntico al de las reacciones hierro-cementita, difiriendo sólo ligeramente en las líneas punteadas mostradas en la Fig. 2.1. Normalmente, se precipita la cementita antes que el grafito en composiciones de menos de un 2% de carbono; esta es la gama de composición de los aceros comerciales ordinarios. Arriba de un 2% de carbono, puede precipitarse el grafito y la cementita, dependiendo del régimen de enfriamiento y de otros factores; la gama de composición de la mayoría de los hierros colados varía de 2 a 5 por ciento de carbono.⁴

2.2 Fundición gris

La metalurgia de las fundiciones grises es más compleja que su aspecto económico y, realmente, es uno de los sistemas metalúrgicos más complejos. Hemos visto que el sistema hierro-carburo de hierro (Fe- Fe_3C) es metaestable en cuanto a las aleaciones hierro-carbono, y que el sistema estable propiamente dicho es el de hierro-grafito (Fe-C). La distinción es más bien de interés académico en el caso de los aceros, puesto que raramente se forma grafito en ellos, pero es de gran importancia práctica en los hierros colados. Si una aleación de hierro contiene más del 2% de carbono, éste no tiene que formar núcleos después de la descomposición de la austenita; Puede formarlos directamente cuando se funde, a causa de una reacción eutéctica. La cementita (Fe_3C) puede también formar núcleos en la eutéctica más rápidamente que el grafito, pero cuando hay un enfriamiento suficientemente lento el grafito puede formarse por sí mismo y crecer. Consideraremos con cierto detalle la solidificación de un hierro colado con un contenido de carbono del 3%. Como aproximación, supondremos que la aleación puede ser enfriada a cualquier

velocidad, y que podemos usar igualmente el diagrama de fases (Fig.2.1) para predecir su estructura. Enfriaremos:

1. A un Régimen rápido, como en el caso de una sección delgada de una fundición en arena. Al enfriarse la aleación abajo de la línea liquidas, se forman y crecen las dendritas de austenita hasta que se llega a la temperatura eutéctica. A esta temperatura, se suprime la formación de grafito, pero la austenita y la cementita (Fe_3C) se precipitan para formar *ledeburita*, una forma de eutéctica que consiste de esferas de austenita alojadas en la cementita. La ledeburita se forma en la eutéctica de Fe- Fe_3C (línea gruesa *nm* de la Fig. 1). Al seguir el enfriamiento, la cementita crece en contenido de carbono, al mismo tiempo que éste decrece en la austenita (a lo largo de la línea gruesa *no* de la Fig. 1). En el punto “o” la reacción eutectoide transforma la austenita restante en perlita. Las microestructuras que ilustran la solidificación y enfriamiento de esta aleación se describen en las figuras 2.2 a, b, c. A temperatura ambiente es duro y quebradizo y se le conoce como hierro blanco a causa de que la superficie fracturada de una pieza de este hierro es blanca y un tanto lustrosa. Ahora enfriaremos la aleación:

2. A un Régimen lento. En este caso, la austenita se forma primero partiendo del estado líquido, pero la solidificación eutéctica es ahora suficientemente lenta como para que los productos de la reacción eutéctica sean austenita y grafito. La reacción tiene lugar en la línea punteada *nm*. El grafito eutéctico tiende a formarse en escamas rodeadas de austenita eutéctica. Según continúa la solidificación, la austenita decrece en cuanto a contenido de carbono a lo largo de la línea punteada *no*, y las escamas de grafito crecen. En la temperatura eutectoide *op*, se transforma el resto de la austenita a perlita, como antes. Las figuras 2.2 d, e y f muestran microestructuras típicas de una aleación enfriada de esta manera; la superficie de la fractura aparece de un gris oscuro, y el material se conoce como hierro gris, hierro colado o hierro gris perlítico.

3. A un Régimen muy lento. Los cambios de fases en una aleación tal serán exactamente iguales a los del caso 2 anterior, excepto que, en la eutectoide, el enfriamiento será lo suficientemente lento como para permitir que el grafito se precipite, en lugar de hacerlo la

perlita. En realidad, no se formarán nuevas escamas de grafito, sino que las que ya hay crecerán en tamaño. En este caso, la microestructura final contendrá solamente escamas de grafito alojadas en una matriz de ferrita; este hierro se denomina hierro gris ferrítico. En fundiciones ordinarias, el enfriamiento rara vez es lo suficientemente lento como para obtener esta estructura, y la mayoría de las fundiciones de hierro gris ordinario poseen la estructura del párrafo 2 anterior, es decir, grafito alojado en una matriz de perlita. A veces, el régimen de enfriamiento de una porción de una pieza fundida puede ser intermedio entre (1) y (2); entonces, se obtiene una estructura que contiene parches tanto de hierro blanco como de hierro gris; este hierro se conoce como moteado.⁴

Si se hubiese considerado una aleación hipereutéctica solidificada a diversas velocidades, habrían encontrado que al enfriar con un régimen moderado o bien lento las reacciones eutécticas y eutectoide serían las mismas que las encontradas con la consideración de una aleación hipoeutéctica. Sin embargo, el sólido que se formase inicialmente tendría escamas de grafito (de acuerdo con el diagrama estable Fe-C) en lugar de austenita. Puesto que el grafito puede formar núcleos a partir del hierro fundido comparativamente fácil, se necesitaría una velocidad de enfriamiento extremadamente rápida para obtener ledeburita en una aleación hipereutéctica. En consecuencia, el hierro blanco se obtiene usualmente por solidificación de una aleación hipoeutéctica con una velocidad de enfriamiento realizada más fácilmente.⁴

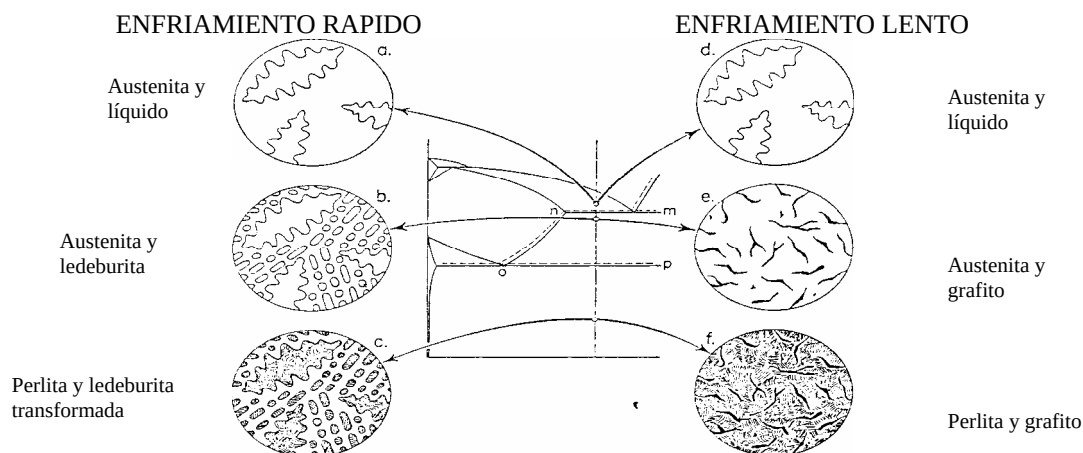


Figura 2. 2 Microestructura obtenida al solidificarse el hierro colado. A la izquierda Fe-blanco; a la derecha Fe-gris.⁴

2.3 Hornos

2.3.1 Horno basculables de crisol fijo

El proceso de crisol es el proceso más viejo para la fabricación de acero, pero éste, hoy en día se usa muy poco excepto en fundiciones no ferrosas. Son completamente frágiles cuando se enfrían, debiendo ser manejados con cuidado, poseen resistencia considerable cuando están calientes. El hierro dulce, metal enjuagado, chatarra de acero, carbón vegetal y ferroaleaciones constituyen la materia prima para la fabricación de acero por este proceso. Estos materiales son colocados en crisoles que tienen una capacidad de más o menos 5 ton. La diferencia con el horno crisol fijo es que pueden bascularse todas las estructuras del horno alrededor de un eje horizontal para efectuar la colada sin necesidad de cucharas. Puede calentarse con gas, coque o aceite, el rendimiento térmico es de 3 al 7 % del crisol de foso con coque calentado de forma natural; 8 al 13 % para hornos de crisol basculable calentado con coque a tiro forzado; del 7 al 18 % para hornos basculables calentados con aceite o gas (ver fig. 2.3). Los crisoles están contruidos por materiales refractarios como grafito, sílice y arcilla cocidos a 900° C.⁵

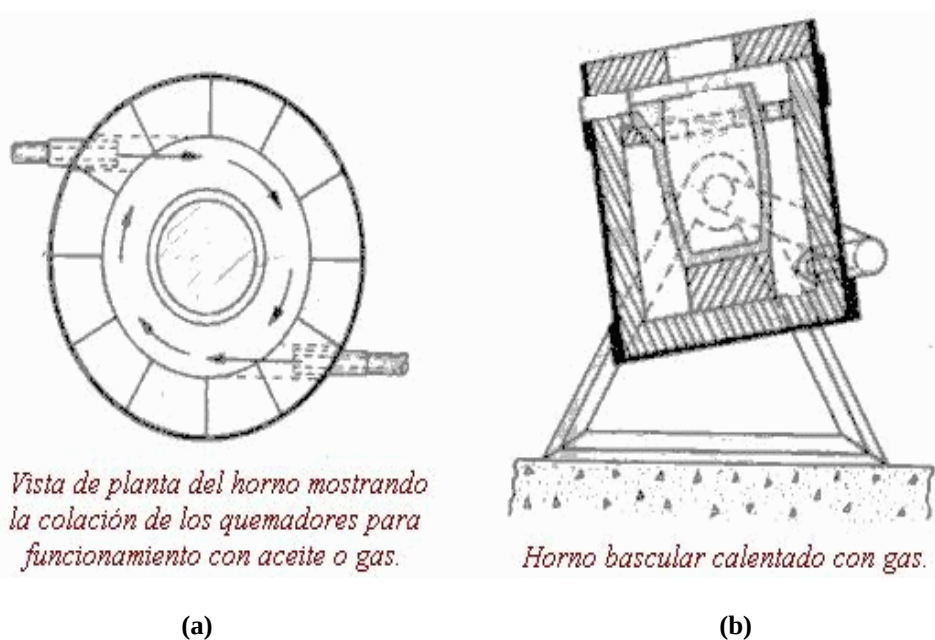


Figura 2. 3 .Horno de crisol basculante.⁵

Para crisoles de grafito se emplea la siguiente composición: grafito 50-60%, arcilla 40-45%, sílice 5-10%. Para los de arcilla: arcilla 95%, grafito o coque 5%.⁵

2.3.2 Hornos de inducción de baja frecuencia con núcleo:

Es la unidad de fusión por inducción más eficiente. Aquí, la bobina de inducción está esencialmente sumergida en el baño del metal. La inducción electromagnética bombea el metal líquido a través de unas canales construidas alrededor de la bobina; simultáneamente, se inducen corrientes secundarias (que actúan como el medio de calentamiento), en el metal líquido alrededor del núcleo (ver fig. 2.4).

La mayor desventaja del horno de inducción con núcleo es que requiere una carga “de arranque” de metal líquido; por lo tanto, no es apropiado para la operación intermitente. El horno con núcleo se usa primordialmente para metales no ferrosos en aplicaciones en que se desean periodos relativamente largos de operación continua.⁴

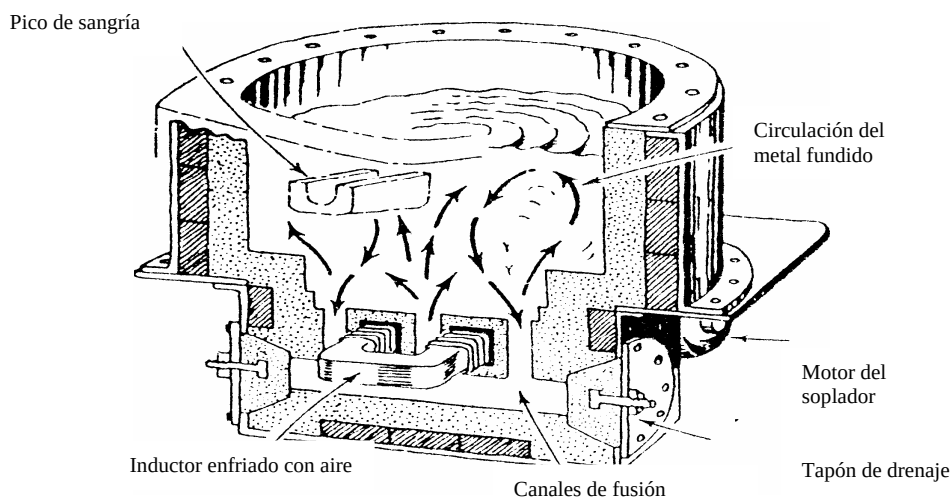


Figura 2. 4 Horno de inducción con núcleo.⁴

2.4 Composición química de hierro gris

En la mayoría de los casos en las composiciones se da una sola cifra en lugar de dos cifras límites, de esa forma se cree que es más fácil recordar de memoria algunas composiciones que se consideran fundamentales:

- La que corresponde a piezas de tamaño medio se considera como una composición normal o de referencia y su composición es la siguiente:
C = 3.25 %, Si = 1.75 % y Mn = 0.50 %. El contenido en azufre no suele pasar de 0.10 % y el fósforo puede ser 0.25 % aproximadamente.
- Para piezas de gran espesor, conviene emplear, con el mismo carbono menos silicio aproximadamente 1,25 %.
- En piezas mas delgadas es necesario subir el silicio hasta 2.25% en ambos casos, tanto en el anterior como este el contenidos de Mn, S y P son los mismo que los que corresponden a las piezas de tamaño medio.

Cuando se fabrican piezas de ornamentación de formas complicadas se amplia mayor contenido en carbono y en silicio para aumentar la fluidez del metal y mejorar la colabilidad ⁶.

2.4.1 Influencia del azufre, fósforo, manganeso, oxígeno e hidrógeno en las fundiciones.

El azufre se opone a la gratificación del carbono y favorece la formación de la cementita. Su influencia en ausencia del manganeso es verdaderamente sensible. El azufre tiene una fuerte afinidad con el manganeso y al combinarse ambos elementos forman el sulfuro de manganeso, que no tiene en cambio ninguna influencia en la formación del grafito o de la cementita. Por lo tanto, inversamente a lo que antes hemos explicado, la primera adición de azufre, a una fundición de un contenido relativamente elevado de manganeso, tiende indirectamente a gratificar la fundición. Esto es debido a que el azufre en cierto modo absorbe algo de manganeso, que es un elemento que favorece la formación de cementita.

Lo mismo ocurre con las adiciones de manganeso a una fundición con elevado contenido en azufre, ya que al principio favorecen la grafitización en lugar de oponerse a ella.⁶

En cambio, cuando el azufre existe en exceso en una fundición con poco manganeso, forma con el hierro el sulfuro de hierro que favorece la formación de cementita y tiende, por lo tanto, a blanquear la fundición.⁶

En las fundiciones, los contenidos de azufre suelen variar de 0,010 a 0,20%. El azufre en ocasiones, cuando se encuentra en las fundiciones en cantidades importantes y forma SFe, por no haber suficiente cantidad de manganeso, puede dar lugar al fenómeno de temple invertido. Suele ocurrir que el azufre aparece segregado en las zonas centrales próximas a las mazarotas o rechupes en forma de sulfuro de hierro que tiende a blanquear en esos puntos a la fundición. Entonces ocurre que la zona central es mas dura que la periferia, y por eso este fenómeno suele conocerse con el nombre de temple invertido.⁶

El fósforo se suele añadir a veces intencionadamente a la fundición con objeto de favorecer su colabilidad y se emplea cuando se quiere fabricar piezas de forma complicada o de carácter decorativo u ornamental.⁶

El fósforo no ejerce influencia muy sensible sobre la grafitización del carbono en las fundiciones, aunque puede decirse que, en general se opone ligeramente a ella. La presencia de este elemento da lugar a un aumento de la fragilidad y de la dureza.⁶

La mejora de la colabilidad de las fundiciones por la presencia del fósforo es debido a la formación del eutéctico steadita de bajo punto de fusión que suele aparecer en los límites de grano.⁶

Un contenido normal en fósforo en las fundiciones es, por ejemplo, 0.15 % empleándose contenidos mas bajos cuando se desea alta resistencia y mas elevados de 0.50 a 1.50 %, cuando se desea alta colabilidad.⁶

El manganeso se opone lo mismo que el azufre, a la grafitización del carbono y favorece en cambio, la formación de cementita. Tiende a blanquear las fundiciones y a aumentar su dureza dificultando la mecanización. Normalmente las fundiciones suelen contener de 0.4 a 1.5 % de Mn. El manganeso con el azufre forman inclusiones de sulfuro de manganeso, y como ya se señaló anteriormente el principal papel del manganeso es neutralizar el azufre, evitando la formación de sulfuro de hierro. En general se recomienda que el contenido en $\% \text{ Mn} = 1.7 \% \text{ S} + 0.20 \%$.⁶

El oxígeno es un antigratificante enérgico que se encuentra presente en mayor o menor cantidad en todas las fundiciones. Se presenta principalmente en forma de inclusiones no metálicas, muchas de ellas submicroscópicas, de óxido de hierro, de manganeso, de aluminio y de silicio.⁶

El porcentaje de oxígeno que contiene las fundiciones suele variar de 0.002 a 0.02 %. Con altos porcentajes de oxígeno la colabilidad del metal disminuye mucho se producen rechupes importantes y la estructura puede sufrir sensibles modificaciones.

El hidrógeno se presenta también casi siempre como impureza gaseosa en las fundiciones y da lugar a porosidades en las piezas cuando el porcentaje es importante. Suele provenir de la humedad de los moldes, del vapor de agua contenido en el aire soplado y de la humedad del coque.⁶

La solubilidad del hidrógeno en la fundición aumenta con el porcentaje de silicio. Por ello las fundiciones altas en silicio suelen ser más porosas que la de bajo contenido de silicio. Una de las ventajas de las fundiciones inoculadas es que al fabricarse en el horno con bajo porcentaje de Si y añadirse posteriormente el ferrosilicio al canal de colada o a la cuchara durante la inoculación, se consigue limitar mucho la absorción de hidrógeno y como consecuencia se reduce notablemente los riesgos de que aparezcan porosidades en las piezas.⁶

2.5 Arenas de moldeo

La arena es el material básico que emplea el fundidor. El estudio de las arenas de moldeo es una de las ramas principales de la tecnología de las fundiciones. En los primeros años de este siglo todavía era un arte la labor del fundidor y la preparación de las mezclas para moldes y machos.⁷

En los últimos 20 años se han producido cambios considerables en los métodos, equipos y materiales empleados. Unos de los cambios de mas alcance ha sido la progresiva mecanización de la fundaría y especialmente la introducción de una planta centralizada de arenas que suministra arena mediante una cintas transportadora a las unidades de moldeo a través de los depósitos y tolvas de almacenaje situados a mayor altura y que recibe continuamente la arena usada para reacomodarla a una nueva utilización. En una fundaría moderna que producen serie, cada unidad de arena puede circular una vez cada hora a través del sistema y la planta de arena tiene medios para controlar automáticamente la humedad, la adición de aglutinante y la temperatura de la arena. El control de la preparación y conservación de la arena dentro de límites predeterminados de humedad, aglutinación, permeabilidad y otras propiedades desempeña un papel importante en la preparación de buenos moldes, la reducción del trabajo de rebaba y la posibilidad de alcanzar el máximo rendimiento en buenas piezas coladas. Como resultado del conocimiento creciente sobre la naturaleza y las propiedades de las arenas para fundaría, no solo ha sido posible un empleo mejor de las tierras naturales para moldes y machos sino también la preparación de arenas sintéticas con las propiedades necesarias para determinados trabajos.⁷

Los moldes de arena se preparan con materiales que se denominan mezcla de moldeo; para lograr que estos moldes sean de buena calidad se exige que durante la preparación los materiales a utilizar así como las mezclas que se preparan con estos sean de bajo costo y tengan determinadas propiedades. Debido al efecto del material de molde, en este caso la arena, la cual influye directamente sobre las características de la pieza; es necesario y de

gran importancia su estudio, análisis, adecuada preparación y utilización, ensayos y control. Igualmente, para que un molde cumpla su función es preciso que este concebido en forma que, teniendo en cuenta los problemas que implica la solidificación del metal, permita la obtención de piezas correctas de forma sólidas en su interior.⁷

Para hacer un estudio completo de las arenas de moldeo es necesario determinar el grado de fineza y la morfología de los granos de arena de sílice utilizados para la preparación de la mezcla, simultáneamente realizar algunos ensayos que permiten comprobar el pH, la humedad, la bentonita activa y el contenido de carbono en muestras de arena verde; además, valorar el grado de hinchamiento de la bentonita utilizada como aglomerante en las arenas de moldeo. También se requiere realizar ensayos que permitan determinar las diferentes propiedades que presenta la arena verdes de moldeo, entre ellos podemos mencionar: la permeabilidad, plasticidad, compactabilidad, dureza, compresión, resistencia al corte y resistencia a la compresión transversal, dichos ensayos nos permite determinar la resistencia en verde de la arena. Asimismo se obtiene conocimiento sobre los diferentes equipos utilizados en cada ensayo así como el manejo de los mismos.⁷

2.5.1 Naturaleza y clasificación de las arenas

Las arenas de fundaría están constituidas en general por granos de cuarzo, forma cristalina de la sílice, asociados a alguna clase de arcilla. Es frecuentemente que contengan otros materiales en pequeñas cantidades, p. ej. Feldespato; la naturaleza de estos otros minerales depende de la roca de la que se origino la arena. Las arenas que contienen suficiente arcilla aglutinante son las arenas de moldeo naturales, mientras las arenas sin arcillas o arenas silíceas son la base para preparar las arenas sintéticas de moldeo, la arena al aceite y las arenas para el moldeo en cáscara.⁷

La multitud de partículas que forman un deposito de arena es resultado de la desintegración de las rocas por la acción del calor, el frío, del viento y del agua y en general por la intemperie.⁷

2.5.2 Componentes de la arena de Moldeo:

2.5.2.1 Arenas

La arena es el principal componente de la arena verde. Las arenas verdes están normalmente hechas de arena sílice. El tamaño y distribución de los granos de arena son en extremo importantes para controlar el acabado superficial de las piezas. Estas características.⁷

También afectan la habilidad del molde para apoyar la evacuación de gases formados durante la transformación del agua a vapor y la descomposición de los constituyentes orgánicos de los aglutinantes de los corazones y de los aditivos de la arena verde. La correcta distribución de la arena es también crítica para reducir la ocurrencia de defectos por expansión de arena.⁷

2.5.2.2 Tipos de Arena:

La arena de sílice (SiO_2): se encuentra en muchos depósitos naturales, y es adecuada para propósitos de moldeo por que puede resistir altas temperaturas sin descomponerse. Esta arena es de bajo costo, tiene gran duración y se consigue en una gran variedad de tamaño y formas de grano. Por otra parte, tiene una alta relación de expansión cuando esta sometida al calor y tiene cierta tendencia a fusionarse con el metal. Se usan en la fabricación de fundiciones más universalmente que ningún otro material de moldeo por ser muy abundante en la naturaleza. Es relativamente barata comparado con otros arenas y es lo suficientemente refractaria aun para su uso en la fundición de aceros.⁷

La arena sílica pura no es conveniente por si misma para el trabajo de moldeo puesto que adolece de propiedades aglomerantes. Las propiedades aglomerantes se pueden obtener por adición de 8 a 16% de arcilla. Los tres tipos de arcilla comúnmente usados son, la Caolinita, ullita y Bentonita. Esta ultima, usadas con más frecuencia, proviene de cenizas volcánicas. La mezcla se humedece con agua para que desarrolle resistencia y plasticidad y

para hacer a los agregados apropiados para el moldeo. Las arenas de zirconio y olivino presentan buenas características morfológicas, pero son muy costosas, además la de olivino presenta baja estabilidad térmica.⁷

Las arenas naturales (semisintéticas): estas se han formado por la erosión de las rocas ígneas; se mezclan adecuadamente con arcillas al extraerlos en las canteras y solo se requiere agregarles agua para obtener una arena conveniente para moldeos de piezas fundidas de hierro y metales no ferrosos. La gran cantidad de materia orgánica encontrada en las arenas naturales impiden que sean lo suficientemente refractarias para usos en temperaturas elevadas, tal y como en el modelo de metales y aleaciones con alto punto de fusión.⁷

Las arenas de moldeo sintéticas se componen de Sílice lava de granos agudos, a lo que se añade 3 a 5% de arcilla. Con las arenas sintéticas se generan menos gas ya que se requiere menos del 5% de humedad para que desarrolle su resistencia adecuada.⁷

A medida que aumente el tamaño de las piezas a fundir conviene elegir también arena con granos más gruesa, de mayor resistencia y refracción. La arena ideal, sería aquella que se adaptara perfectamente bien para moldes destinados a distintos trabajos. Para la fundición de piezas cuya superficie deben presentar buen aspecto sin trabajos posteriores a la fundición, se hace necesario el empleo de moldes de arena fija. Este tipo de arena es recomendable ya que gracias a su contenido es posible obtener mayor permeabilidad, lo que conlleva a una disminución de los defectos de la pieza.⁷.

2.5.2.3 Composición de las arenas

Como ya hemos indicado, el constituyente fundamental de las arenas es el cuarzo (sílice). Los otros minerales presentes son usualmente compuestos de sílice y alumina y silicatos complejos que contienen en distintas proporciones cal, magnesia, óxidos de hierro y de metales alcalino-térreos, sosa y potasa.⁷

Estos componentes de las arenas pueden dividirse en tres grupos:

- Cuarzo, que es el constituyente principal de los granos de arena;
- Materia arcillosa, que es el aglutinante que envuelve los granos de cuarzo;
- Feldespato, mica y otras sustancias fundentes, cuya presencia no es deseable en los materiales refractarios, pero que se encuentran normalmente en los yacimientos de arena.⁷

La composición química de las arenas es una buena guía por lo que respecta a su carácter refractario, pero los factores que determinan esencialmente la utilidad de una arena de moldeo son:

- La forma, tamaño, distribución y carácter superficial de los granos.
- La cantidad y tipo de arcilla.
- La humedad.⁷

2.5.2.4 La forma, tamaño, distribución y carácter superficial de los granos

Los granos de arena difieren respecto a forma y carácter superficial, como se puede observar examinándolos con un microscopio de pocos aumentos o una lupa binocular. Algunos granos tienen una superficie rugosa o picada que permite un mejor anclaje de las películas de aglutinantes o arcilla humedad que una superficie bien lisa como la de las arenas eolicas. Mientras algunos granos aparecen redondeados por el desgaste otros tienen aristas agudas, como las que se producirían al machacar una roca dura; algunas arenas contienen granos cementados juntos que forman granos compuestos.⁷

La forma y tamaño de los granos de arena tiene mucha importancia en relación con la compacidad del empaquetamiento de una masa de granos, lo que repercute en la porosidad, permeabilidad y plasticidad de la arena. Los granos angulosos dan mas resistencia

mecánica que los redondeados para la misma cantidad de arcilla aglutinante, por lo que cuando se necesita la máxima resistencia son ventajosos los granos muy angulosos o semiangulosos con superficie rugosas cubiertas con una capa delgada y tenaz de la materia aglutinante. Los granos redondeados dan la máxima plasticidad y la mejor permeabilidad, y son preferibles por la facilidad de apisonado, especialmente en la confección mecanizada de machos. Por el compacto empaquetamiento de los granos de forma uniforme las arenas que están formadas por ellos son propensas a producir defectos tales como grietas superficiales y darts por la dilatación de los granos de cuarzo al calentarse.⁷

El tamaño de grano o, mejor dicho, la granulometría de la arena se determinan tamizando una cantidad pesada de arenas a través de un juego de tamices de ensayo y pesando los granos que pasan por cada tamiz; de esta forma se puede construir una grafica que es una representación de la composición mecánica de la arena.⁷

2.5.2.5 La cantidad y tipo de arcilla.

La palabra arcilla se aplica a un grupo particular de minerales que varia desde la arcilla pura, blanca, china o caolín hasta las arcillas refractarias, duras, negras que parecen pizarra; el componente principal de las arcillas es el silicato de alumina hidratado. Pueden surgir confusiones al considerar la materia arcillosa o aglutinante de las arenas aglutinadas naturales. La investigación del carácter químico y físico de las arcillas ha permitido comprobar que tanto la composición como la estructura son determinantes de sus propiedades. La propiedad típica de la arcilla es su plasticidad que se comunica a la masa de arena en presencia de humedad.⁷

La humedad de una arena de moldeo es tan esencial como la sustancia arcillosa misma y existe en dos formas:

- Humedad libre, que puede eliminarse por secado a 110 °C.

- Humedad combinada o absorbida, que solo puede hacerse desaparecer a temperaturas considerablemente más altas, y variables con la naturaleza particular de la arcilla.⁷

Si la arcilla pierde su humedad libre, se convierte en una masa dura y sin plasticidad, pero esta se puede recuperar volviendo a acondicionarla. Cuando, en cambio, se calienta la arcilla tanto que pierde su agua combinada, ya no vuelve a recuperar su plasticidad por humectación (la arcilla se quema).esto ocurre, por supuesto, en la arena que forma la cara de un molde al colar el caldo caliente; el calor arrastra toda la humedad de la arcilla aglutinante y descompone cualquier materia orgánica o carbonosa de la arena. Afortunadamente, no es la arena buena conductora del calor, por lo que el efecto del metal líquido en la destrucción del poder aglutinante de la arcilla solo alcanza a un espesor muy pequeño, que depende del tamaño y sección de la pieza colada.⁷

Se sabe actualmente que las arcillas con tamaños de partículas mas pequeños y con mas capacidad de absorción de humedad son las que proporcionan mas resistencia de aglutinación o adhesión a los granos de arenas, mientras que la duración del poder aglutinante, es decir, la facilidad con que pierde su agua combinada y dejan de servir para la aglutinación, varia con la composición y la estructura.⁷

Como resultado del conocimiento de las propiedades de los materiales de moldeo, se ha impuesto el empleo de dos o más tipos de arcillas en las mezclas de arenas sintéticas, con el fin de conseguir una mejor combinación de propiedades.⁷

2.5.2.6 Humedad de las arenas

Sin humedad cualquier arena de moldeo se convierte en una masa de polvo seco, porque pierde plasticidad y la aglutinación de la arcilla. Al modificar el contenido de humedad varían también las propiedades útiles de la arena y para cada tipo de mezcla de arena hay un contenido o intervalo óptimo para el que es máxima la aglutinación en verde. Las curvas

de la figura 2.5 muestran esa variación de propiedades de una arena de moldeo típica cuando se modifica el contenido de humedad. La resistencia en seco y en verde, la plasticidad, etc., y su relación con el contenido de humedad depende principalmente del tipo y cantidad de arcilla aglutinante, los valores máximos suelen presentarse para diferentes contenidos de humedad, resulta claro que el contenido de humedad necesaria se debe elegir teniendo en cuenta factores tales como el tipo de equipo de moldeo, clase de piezas que hay que colar y condiciones generales de la fundaría. Es frecuente una solución de compromiso que proporcione una arena fácil de trabajar y plástica, pero con suficiente resistencia para que no sufra el molde en el desmoldeo que sigue al apisonado.⁷

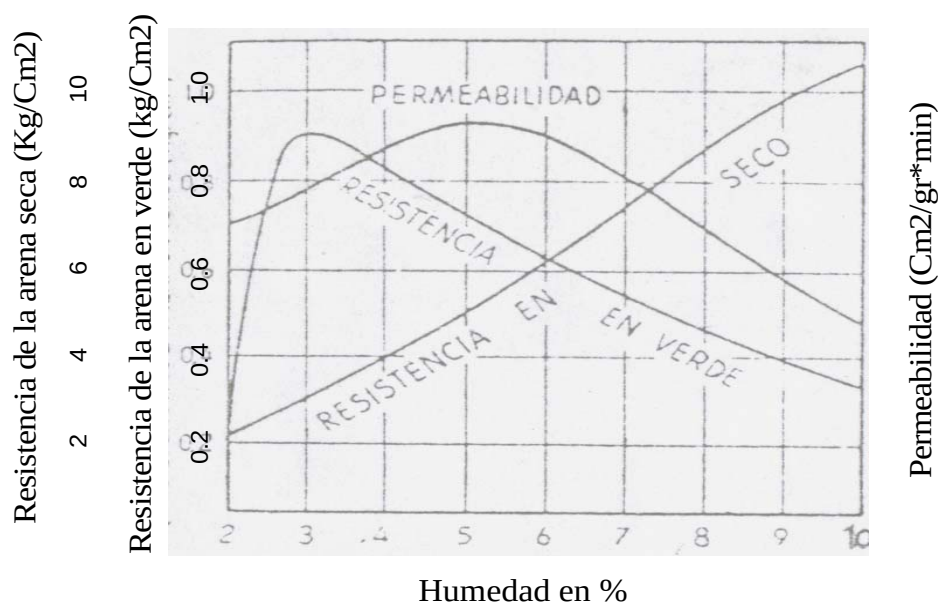


Figura 2. 5. Efecto del contenido de humedad sobre las propiedades de la arena de moldeo.⁷

Las arenas de moldeo pierden constantemente humedad por el calentamiento que produce el metal caliente y por el secado que origina el aire del ambiente, por lo que es necesario el acondicionamiento continuo de las arenas para conservar uniformes todas las propiedades necesarias; el control de la humedad es uno de los factores más importantes para conseguir buenos moldes. En las plantas más modernas de preparación de arenas hay contadores de agua a la vista para que el operador pueda medir exactamente la que añade a un depósito de

arena y se toman muestras con frecuencia para determinar la humedad que llega al moldeador, con el fin de poder corregir las variaciones susceptibles de producirse a lo largo del día.⁷

Se puede afirmar en general, que un contenido bajo de humedad da pequeña resistencia en seco, con posibilidad de arrastre de arena e inclusiones de esta en piezas coladas. Especialmente al moldear en arena verde, el contenido de humedad debe ser mínimo, puesto que cuanto mas elevado resulta, mayor es el volumen de vapor producido dentro del molde y más grande el peligro de sopladuras o de mal acabado superficial de la pieza por oclusión de arena desprendida del molde. Es normal un contenido más alto de humedad en las arenas aglutinadas naturales y para moldes de arena en seco, aunque si la humedad es excesiva puede producirse un apisonado también excesivo del molde con mala permeabilidad, darts y pliegues en la superficie de las piezas.⁷.

La rotura de la superficie del molde por efecto del calentamiento que produce la entrada del metal caliente puede ser debida no solo a la brusca expansión del vapor de agua engendrado en un molde de poca permeabilidad, sino también a la propia dilatación de los granos de arena en una masa que soporta pocas deformaciones y no cede. Mientras que las arenas aglutinadas naturales se trabajan con humedades del 5 al 7%, las sintéticas se utilizan con contenidos muchos más bajos de 3 a 3,5% con arcillas coloidales del tipo de las bentonitas.⁷

2.5.2.7 Calidad de las arenas:

Para determinar la calidad esencial de la arena de fundición se hace necesaria algunas pruebas periódicas. Las propiedades cambian por contaminación con materiales extraños, por la acción del lavado en el recocado, por el cambio gradual y la distribución de los tamaños de grano y por la continua exposición de esta a altas temperaturas. Las pruebas pueden ser tanto químicas como mecánicas, pero a parte de la determinación de los elementos indeseables en la arena, las pruebas químicas son de poco uso. Las mayorías de

las pruebas mecánicas son simples y no requieren equipos elaborados. Varias de las pruebas están diseñadas para determinar las siguientes propiedades de la arena de moldeo:

Permeabilidad. La porosidad de la arena que permite el escape de los gases y vapores formados en el molde.

Resistencia. La arena debe ser cohesiva hasta el grado de que tenga suficiente aglomeración, tanto el contenido de agua como el de arcilla, afecta la propiedad de la cohesión.

Resistencia en seco: es la resistencia necesaria en la arena para mantener la forma de la cavidad del molde cuando este seca.

Resistencia en verde: es la capacidad de la arena para formar grumos para retener la forma necesaria.

Refractariedad: La arena debe resistir las altas temperaturas sin fundirse.

Resistencia en caliente: Esta resistencia hace que la arena no se deteriore ni cambie sus dimensiones. Una vez que el metal se solidifica y seca las orillas del molde, la arena se calentará mucho; pero en ese momento se solidificó el metal y no es crítico el estado de la arena.

Desprendimiento: Es la facilidad de la arena para sacudirla o sacarla después que solidificó la pieza. Si la arena tiene mucho aglutinante se endurece mucho al secarlas y se hace difícil separarla de la pieza fundida.

Tamaño y forma del grano. La arena debe tener un tamaño de grano dependiente de la superficie que se trate de producir, y los granos deben ser irregulares hasta tal grado que mantenga suficiente cohesión.⁷

2.5.2.8 Molienda

La molienda es uno de los aspectos más importante en el control de la arena verde. Una fundición puede mantener todas las materias primas que restituyen la arena con una especificación muy cerrada. Si tienen una molienda y/o practica de moliendas deficientes, los problemas del control de la arena persistirán. La función de un molino es activar la bentonita disponible dentro de la arena. Esta es una tarea en extremo difícil que requiere

una cantidad extrema de energía. Debido a que una mezcla de agua y arcilla es en extremo tenaz, el molino utiliza ruedas que incorporan fuerzas tanto de compresión como de corte para activar las partículas de bentonita y untar la masilla de bentonita sobre los granos de arena. Las ruedas del molino son extremadamente importantes para generar las cargas apropiadas de compresión y corte requeridas para desarrollar plenamente las propiedades físicas de la arena de moldeo.⁷

Equipos para el acondicionamiento de la arena.

Propiamente la arena bien acondicionada es un factor importante en la obtención de una buena pieza fundida. Las arenas nuevas así como las usadas preparadas adecuadamente, contienen los siguientes resultados:

- El aglutinante esta distribuido más uniformemente en los granos de arena.
- El contenido de humedad esta controlado y además la superficie particular esta humedecidas.
- Las partículas extrañas están eliminadas de la arena.
- La arena se ventila de tal manera que no se compacta y esté en condiciones propias para el moldeo.

Por razón de que acondicionar la arena a mano es difícil la mayoría de las fundiciones tienen equipos apropiados para esta operación.⁷

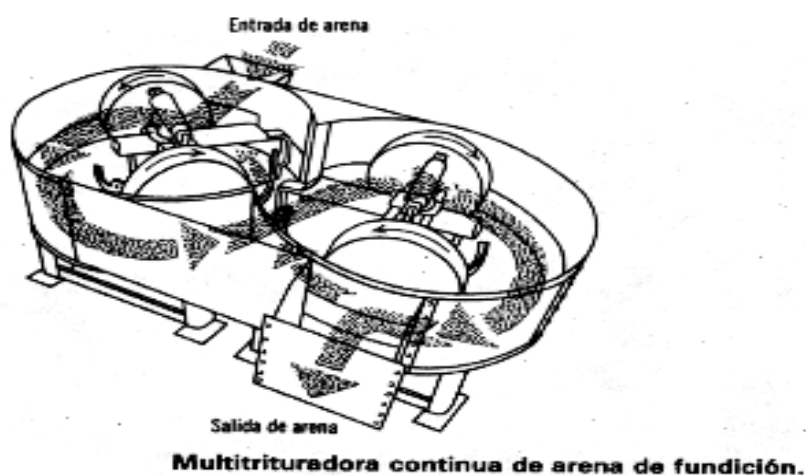


Figura 2. 6 Molino continuo para la arena de moldeo.⁷

Tiene dos rodillos en los cuales esta montado una combinación de rastras y muelas trituradoras. Las dos muelas trituradoras están dispuestas de tal manera que la arena pueda ser procesadas de forma continua. Las muelas trituradoras proporcionan una acción intensa de frotamiento y amasado (ver fig. .6). El resultado es una distribución a través de los granos de arena con el material aglutinado. La arena en verdad y la de corazones ambas pueden ser preparadas en esta manera.⁷.

2.5.2.9 Propiedades de la arena de moldeo

Granulometría: el tamaño medio de las partículas o granos de arena y distribución granulométrica son factores de importancia para la selección o preparación de la mezcla de moldeo. Mientras más finas mejor serán las características superficiales de la pieza producida. Si se hace muy fina la permeabilidad se reproduce rápidamente, y mayor será la cantidad necesaria del aglomerante a utilizar.

Ensayos de granulometría: Una arena se considera gruesa cuando su modulo (granulométrico) es menor de 50. Una finura media esta entre 50 y 70. Sobre 70 se habla de arenas finas, muy finas (100-150) o finísimas (150).

El modulo de finura o numero AFS de una arena es el menor tamaño de orificio (de una malla o tamiz) a través del cual puede pasar una partícula o grano de tamaño medio. Con este valor por si solo no se puede definir la calidad de la arena, por lo cual conviene estudiar la grafica de distribución de las partículas durante el ensayo (% de material acumulado vs. N° de tamiz).

Análisis morfológico: Permite conocer la forma del grano. Los siguientes términos son utilizados en planta:

- Granos Angular
- Granos Sub-angular: proporcionan un mejor anclaje, aumentan la resistencia de la mezcla.

- Granos Redondos: proporciona permeabilidad y cuida la superficie del a pieza.
- Granos Compuesto.

También los granos se caracterizan por la superficie:

- Lisa
- Rugosa
- Agrietada.

Bentonita: Son básicamente arcillas expansibles, con un tenor mínimo de 80 % de arcillas minerales un 20% de minerales caoliníticos, cuarzo, mica, feldespato y arcillas básicas. Son silicatos laminares de aluminio, silicatos hidratados en base estructural trímofica, constituidos por tres redes cristalográficas; una octaédrica de hidróxido de aluminio y dos redes tetraédricas de silicio oxígeno.

El contenido de bentonita afecta la permeabilidad y el % de humedad de la arena. Un ligero exceso de bentonita puede mejorar el acabado superficial de la pieza, pero sobre cierto límite ocasiona penetración y mal acabado. Igualmente el exceso de bentonita disminuye la refractariedad del molde ya que la retracción de la bentonita puede ocasionar defectos del mismo. Por esta razón es importante determinar el porcentaje de bentonita activa presente en la arena de moldeo.

Características de la bentonita:

- Bentonita $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Tf: 1250-1300 °C. Mejor aglomerante.
- Caolinita $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Tf: 1750-1787 °C. La caolinita es un aglomerante termino medio, es refractario por esta razón tiene mayor estabilidad térmica.
- Illita: Son aglomerantes termino medio, ofrece buena moldeabilidad y resistencia.
- Son activas. Sustitución parcial de los átomos de Al por iones de Na ó Ca, mejorando la propiedad de hinchamiento.
- Proporcionan mejor acabado superficial y ayudan a producir reproducidad del molde.

- Son capaces de secarse y desactivarse, además presentan un límite líquido que corresponde al punto de equilibrio entre plástico y coloide. Por esta razón se debe trabajar con un 60 % de la disponibilidad promedio, para obtener las mayores condiciones de aglutinante.

Humedad en la arena de moldeo: el agua se presenta en tres formas.

- Agua de composición, a nivel molecular.
- Agua adsorbida en la superficie de las láminas y partículas del aglomerante.
- Agua retenida en los poros de la arena de base.

El agua adsorbida desarrolla el poder de cohesión del aglomerante. Una vez lograda la saturación, el exceso queda entre las partículas y los poros de arena, donde actúa como lubricante (agua absorbida). En el ensayo de humedad se elimina primero el agua de absorción y luego la adsorbida.

La importancia del ensayo de humedad reside en su influencia sobre los defectos en la pieza final:

- Sopladuras o porosidades: el exceso de vapor, originado por el agua de absorción, cuando la permeabilidad o la ventilación son deficientes, hace que las burbujas queden en el metal al solidificar.
- Superficie rugosa: con un exceso de humedad, la arena se adhiere al modelo. Cuando este se retira deja espacios en la superficie de la pieza. La humedad excesiva ocasiona el enfriamiento rápido del metal y defectos de solidificación
- Por otra parte, un contenido insuficiente de agua puede producir una serie de daños (erosión, deformación, grietas, fallas dimensionales, etc.), debido a falta de resistencia del material del molde al recibir el flujo de metal fundido.

Determinación del pH: este ensayo se hace con la finalidad de conocer si los materiales empleados para la obtención de la mezcla están contaminados, es decir, el pH es un indicativo de contaminante.

Contenido de carbón: el carbón es polvo se agrega para generar gases reductores para contrarrestar porosidades. Se suele emplear carbón bituminoso, de alto contenido volátil. El carbón modifica la expansibilidad de la arena, por lo cual debe controlarse su empleo.

Características del contenido de carbón:

Ayuda al acabado superficial.

Protege la pieza, no permite reacción molde-metal.

Permeabilidad: Es la capacidad del a arena para facilitar el paso de los gases y vapor de agua (vaporizada o disociada por efectos de la temperatura del vaciado), y en particular el aire contenido en el material de moldeo y cavidades del molde.

La alta permeabilidad gaseosa es necesaria para que desde la cavidad del molde que se llena con metal, se facilite la salida del aire, de los vapores de agua y fundamentalmente de los gases que s desprenden del metal cuando este se enfría y solidifica en el molde. En el caso donde la permeabilidad es baja, los gases no salen rápidamente a través de las paredes del molde y reteniéndose en el metal, forman sopladuras.

La permeabilidad depende de:

- De las dimensiones y forma de los granos (estructura granular).
- De la humedad
- Del contenido del componente arcilloso
- Del grado de compactibilidad.

Plasticidad: Capacidad del material de moldeo para reproducir exactamente las formas del modelo o del a caja de machos y conservarlos hasta después de sacar el modelo o quitar la caja de machos. La plasticidad del material de los moldes se eleva al aumentar el contenido de las sustancias arcillosas y el agua (hasta 8% de agua) se mide en términos de su resistencia a la compresión

Dureza: se refiere a la resistencia a la penetración, impacto y erosión por el metal líquido durante el vaciado en el molde. Se determina con un instrumento que opera bajo el principio de penetración (durómetro).

Compactabilidad: esta característica determina la facilidad con la cual la arena toma y mantiene la forma del modelo. Propiedad de la arena de compactarse los granos unos con otros.

Pruebas de la arena: son pruebas que se realizan continuamente para verificar que cumpla con los requisitos necesarios para poder soportar el proceso, ya que es normal que después del uso prolongado de estas se deterioren sus propiedades aglutinantes.

El contenido de humedad se mide con un medidor de humedad el cual envía aire caliente a través de una muestra de arena a un volumen constante. El volumen de humedad se determina por el tiempo necesario para secar la muestra.

Las resistencias se miden con una probadora universal: se toma una muestra de arena y se somete a pruebas de tracción, compresión, esfuerzo cortante y de carga. El número de veces que cae el peso muerto y apisona la arena, determina la resistencia del núcleo.

La permeabilidad se mide con un aparato especial que registra el tiempo necesario para hacer pasar una cantidad determinada de aire a través de una muestra de arena. La arena poco permeable dejará pasar menos aire que otra más porosa.

2.6 Elaboración de machos

Los machos pueden definirse como aquellas partes de un molde que han de prepararse como forma separadas de arena para poder obtener una determinada pieza colada. Estas piezas de forma hechas con arena, o machos, se acoplan e insertan en el molde para que puedan dar forma a cavidades internas, contrasalidas o entrantes aislados huecos de la pieza colada.⁷

En la fundaría en arena los machos se hacen de diversos tipos de arena. Debido a la naturaleza de estas hay que poner especial cuidado para que el macho pueda cumplir todas sus funciones. Solo pueden emplearse para machos ciertos tipos de arena que deben poseer las siguientes cualidades:

- Resistencia o aglutinación en verde, es la capacidad de la arena no seca para mantenerse aglutinada y conservar la forma del macho preparado con ella. La resistencia en verde permite que el macho no se deforme cuando se le extrae de la caja de macho.
- Resistencia en seco, es la que adquiere el macho después del estufado a temperatura de 250 a 270 °C, operación que los fundidores llaman cocido o secado de los machos.
- Permeabilidad, para que los gases engendrados durante la colada puedan escapar fácilmente a la atmósfera.
- Facilidad de desmenuzamiento después de la colada, para que no impidan las contracciones del metal y se pueda separar fácilmente todo rastro de la arena de machos después de terminada la pieza.⁷

En general un macho debe ser:

- Permeable: capacidad de la arena para permitir que escapen los vapores.
- Refractario: capacidad de soportar altas temperaturas.
- Facilidad de colapso: habilidad para disminuir el tamaño conforme se enfría el colado y se contrae.
- Resistencia en seco: para que no se erosione y sea arrastrado o cambie de tamaño cuando esté rodeado del metal fundido.
- Friabilidad: facilidad para desmoronarse y eliminarse con facilidad del colado.
- Debe tener una tendencia mínima a generar gas.⁸

2.7 Equipo de moldeo vertical automático (Disamatic)

Actualmente, todas fundiciones de tecnologías de metal utilizan maquinas de moldeo Disamatic para producir moldes para piezas fundidas. Disamatic ofrecen unos medios muy eficientes en rapidez y automatización. Estos moldes son desarrollados para el moldeo vertical, una explicación del proceso se explica a continuación (ver fig.2.7):

Paso 1. La arena dentro de la cámara de moldeo desde la tolva colocada en la parte superior de la disamatic.

Paso 2. La contra placa basculante se mantiene en posición fija durante la operación de presado por el pistón de contra presión, cerrando la salida de la cámara. El molde es presado hasta alcanzar la presión deseada sobre la cara del molde, que es cuando la placa de presado detiene su movimiento.

Paso 3. La contraplaca con su placa modelo es vibrada y se aleja manteniéndose rigurosamente paralela a la cara en su parte anterior, para permitir que el molde salga de la cámara.

Paso 4. La placa de presado empuja el molde fuera de la cámara; inmediatamente antes de que el molde alcance el anterior producido, se reduce la velocidad, y el molde se junta con el anterior a muy poca velocidad. |

Luego, la placa de prensado empuja toda la fila y las caras de los molde se unen.

Paso 5. La placa de prensado con su placa modelo es vibrada y luego vuelve a gran velocidad a su posición inicial en la cámara de moldeo. La posición inicial es ajustable para permitir la graduación del espesor del molde.

Paso 6. Cuando la placa de prensado ha llegado a su posición inicial en la cámara, la contraplaca vuelve a su posición vertical y retrocede hasta cerrar la cámara. La compuerta de arena se cierra durante esta operación. Ahora la maquina se encuentra en la posición inicial para completar otro ciclo automático.⁹

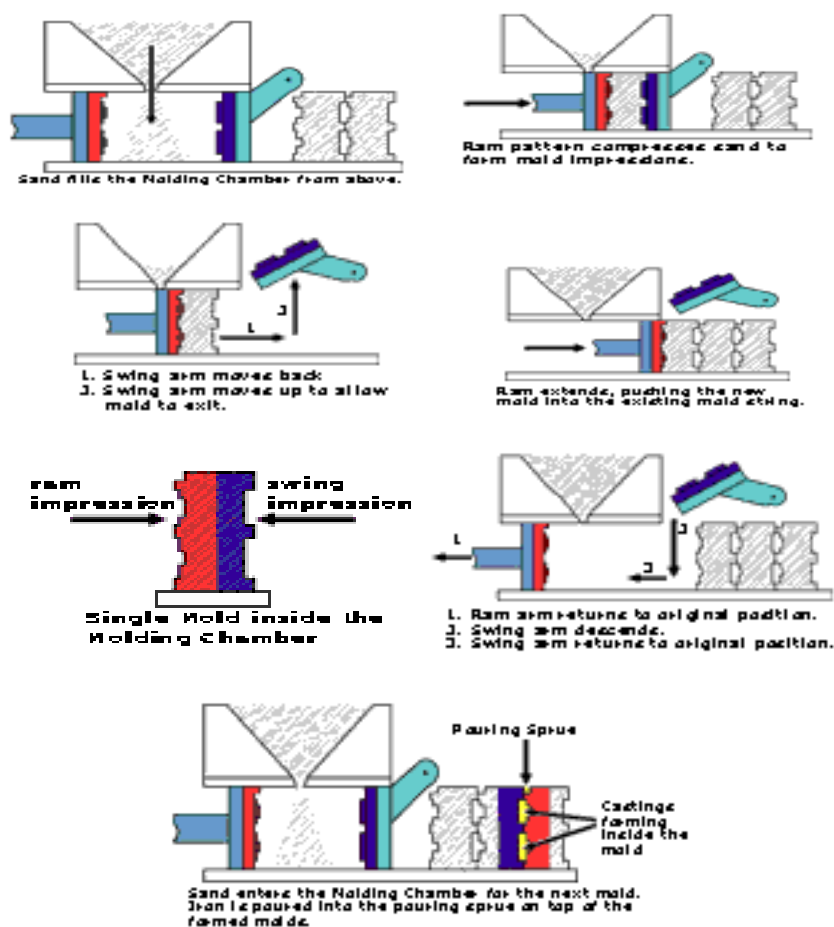


Figura 2. 7 Pasos para la elaboración de moldes en la DISAMATIC.⁹

Las ventajas de la DISAMATIC son:

- Alta productividad, no solo más moldes por horas sino mayor rendimiento metálico con valores más bajos de horas hombre por tonelada.
- Dimensiones exactas, piezas con pequeñas tolerancias y buen acabado superficial.
- Costos de limpieza mas bajos, algunas fundiciones que usan DISAMATIC suministran piezas que no necesitan ser rebabadas.

- Rechazos mas bajos, muchas trabajan con 2,3 o 4% de rechazo.
- Mínima perdida de tiempos de producción ya que la maquina esta construida con las técnicas de calidad correspondientes a maquinas herramientas y puede soportar 3 turnos de trabajo.
- Baja rotación de personal.¹⁰

2.8 Defectos de Fundición

Los defectos que aparecen en las fundiciones no son usualmente, un accidente; ocurren porque alguna etapa del proceso de manufactura no se controló apropiadamente. La fusión, colada y solidificación del metal comprenden muchas operaciones intrincadas, y el control perfecto es imposible; no es sorprendente que las fundiciones sean afectadas con una mayor variedad de defectos que los productos de otros métodos de fabricación. El estudio de los defectos más bien que de las fundiciones macizas parece una tendencia negativa al aprendizaje; sin embargo, es importante para el productor, diseñador, consumidor e ingeniero que tales defectos como los que suele haber en las fundiciones se reconozcan, y se comprendan con propiedad su origen y su control.

2.8.1 Defectos por gas

Las “sopladuras” u orificios de gas, en las piezas fundidas son cavidades esféricas, aplanadas o alargadas. Se relacionan con la presión de un gas localizado (incluyendo el atrapamiento de aire) que excede a la presión del metal en cualquier lugar durante la solidificación del mismo. Uno de los mayores problemas con las sopladuras de los machos o hoyos es la facilidad con que pueden ser confundidas con sopladuras del molde. Cada vez que el gas viaja hacia arriba en el molde, es bastante posible que una burbuja de gas la forme el machos o hoyo y luego viaje a la superficie del molde.¹¹

Los puntos de alfiler, las ampollas y las cicatrices, así como ciertos tipos diversos de porosidad, son variaciones de los orificios de gas. En problemas por defectos por gas,

existen diferentes fuentes, entre las cuales se encuentran los machos o noyos, la arena de moldeo y el metal. El volumen de gas pudiera permanecer sin cambio, pero alterarse al proporcionar un escape más fácil o mayor presión del metal, forzando al gas a salir por los venteos (salidas del aire) existente.⁴

El aire atrapado, se encuentran generalmente en la superficie de las fundiciones que quedan en la mitad superior del molde. Estos defectos pueden ser causados por un control inapropiado de:

- La fusión y la colada
- El diseño de las coladas
- La practica del moldeo con arena

El ahusamiento del sistema de conductos hará mínima cualquier tendencia al atrapamiento de aire o a la formación de inclusiones de dross o de escoria durante la operación de llenado del molde. El control cuidadoso de la permeabilidad y del contenido de gas del molde reduce el peligro del atrapamiento de aire (o de los gases del molde) y reduce al mínimo cualquier tendencia a la formación de dross a causa de las reacciones entre el molde y el metal.⁴

La microporosidad, el rechupado central aun la porosidad general que tengan la apariencia de un rechupado, pueden ser causadas por gases disueltos en el metal durante la fusión y el colado (vertido), así como por el rechupado de solidificación. Frecuentemente nos preguntamos ¿será gas o rechupe? En algunos casos la distinción es realmente sencilla. Las sopladuras o huecos que aparecen en una sección bien alimentada deben ser causados por gas. Los huecos redondos, con paredes lisas, se deben generalmente a gases, mientras que los huecos angulares, quizá con ramas de dendritas penetrando entre ellos, son causados por una alimentación imperfecta.⁴

2.8.1.1 Causas

I. Diseño de la pieza y del modelo

- Insuficiente plantilla o salida provista para el venteo
- Diseño que impide la presión adecuada del metal.

II. Sistemas de colada y alimentación

- Los canales colada causan turbulencias
- El diseño del sistema causa un flujo interrumpido del metal.
- Altura o el tamaño del alimentador (o mazarota) inadecuados.
- Diseño impropio del bebedero o de las canales, permitiendo que el aire o el gas entren a la corriente del metal.
- Insuficiente vientos y salidas.

III. Arena de moldeo

- Alto contenido de humedad
- Inadecuada permeabilidad
- Material extraño en la arena granalla, clavos, coque, cenizas, etc.
- Bolas de arcillas.
- Arena mal mezclada.
- Partículas gruesas de materiales productores de gas.
- Excesiva permeabilidad en moldes secados superficialmente, permitiendo el sudado.
- Empleo excesivo o insuficiente de materiales volátiles reductores.

IV. Práctica de machos o noyos.

- Machos o noyos poco horneados o poco curados.
- Inadecuada permeabilidad para las condiciones implicadas.
- Venteo inadecuado.
- Pintura de machos o noyos demasiado gruesa, con la piel rota o no secada.
- Material productor de un exceso de gas, ya sea en la arena del macho o en la pintura.
- Machos o noyos que han absorbido humedad ya sea en el molde o en su almacenaje.
- Excesivo contenido de nitrógeno en las resinas aglutinantes.

- Arena revestida (arena shell) mal mezclada.

V. Práctica de moldeo

- Venteo inapropiado en moldes de arena en verde o secada.
- Puntos duros causados por un apisonado inapropiado para las condiciones implicadas.
- Ausencia de vientos para conducir los gases del macho o noyo.
- Vientos demasiado cercanos a la superficie, causando el sudado.

VI. Composición del metal

- Gas disuelto en el metal líquido.
- Impurezas metálicas, p.ej., Aluminio, bismuto, plomo, estaño, antimonio y boro.
- Chatarra grasienta u oxidada.
- Chatarra esmaltada que contiene boro.

VII. Practica de fusión

- Hierros colados
 - Metal fundido frío.
 - Hierro oxidado
 - Elementos vagabundos (p.ej., Al, Pb, Sn, Br, Bi, hierro esmaltado)
- ♦ Cucharas frías, húmedas o verdes.
- ♦ Metal vaciado frío.
- ♦ Vaciado interrumpido.
- ♦ Cuchara a demasiado altura sobre el molde.
- ♦ Vaciado lento o rápido.
- ♦ Cucharas mal limpiadas.
- ♦ “Cola” o remanente de metal en la cuchara ¹¹

2.8.2 Caídas de arena

Una caída de arena, o desplome, es un defecto de fundición debido a la pérdida de una porción de arena de la mitad superior del molde o de alguna otra sección saliente. En apariencia, el defecto se parece un pegote.¹¹

Los puntos o manchas de arena son causados porque el metal arranca partículas del sistema de conductos de colada o de las paredes del molde. Aparecen unas pequeñas depresiones de forma irregular en la fundición acabada, y pueden estar espaciadas al azar o reunidas en grupos en donde se han reunido las impurezas en uno o más vértices desarrollados por el metal. Los puntos de arena se hunden o flotan, dependiendo de la densidad del metal fundido; también pueden quedar atrapados al crecer las dendritas a lo largo de las paredes laterales de las piezas. El exceso de turbulencia en el sistema de colada, el “chorreado” de metal en el molde, y las malas propiedades de la arena de moldeo son causa de este defecto.¹¹

2.8.2.2 Causas

I. Equipo y aparejos del molde

- Manejo rudo de un equipo defectuoso.

II. Arena de moldeo

- Propiedades de la arena inadecuadas.
- Propiedades del molde inadecuadas que se relacionen con la moldeabilidad de la arena.
- Baja dureza del molde, o insuficiente resistencia del mismo.
- Arena mal preparada.

III. Práctica de machos o noyos

- Un macho o conjunto de machos débil o mal fijado.

IV. Práctica de moldeo

- Moldes no uniformemente apisonados, o suaves.
- El descuido en la colocación de los machos o noyos puede fracturar una porción de la superficie del molde.
- Cierre impropio del molde.
- Manejo rudo
- Venteo insuficiente.

V. Práctica de vaciado

- Golpeo de los moldes con la cuchara.
- Material extraño en la arena.
- Explosiones que ocurren el molde cuando el gas formado se incendia.
- Vibración causada por maquinas grandes de sacudidas u otros equipos.¹¹

CAPITULO III. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.1 Análisis de las estadísticas de la Empresa Echlin de Venezuela

Este estudio se realizara con la finalidad de indagar el comportamiento de las variables involucradas en el proceso y la relación que tienen con el porcentaje de piezas rechazadas en la Empresa, además de encontrar las posibles causas de la formación de los defectos estudiados.

Para ello se revisaran los registros de scrap en la Empresa desde Julio-2003 hasta Junio-2004, además de los principales registros de las variables del proceso que se controlan:

- Composición química de la fundición gris.
- Propiedades de la arena de moldeo
- Temperatura en la olla de colada.

Se revisara mes por mes tomando en cuenta los valores que se encuentren fuera de especificación en cada una de las variables.

Posteriormente, se calculara los porcentajes fuera de especificación de cada variable por mes. Luego dichos valores se colocaran en tablas para graficarlos y analizarlos como influyeron en la cantidad de piezas rechazadas por sopladuras y arrastre de arena.

3.2 Diagrama Causa- Efecto. Diagrama de Pareto

A fin de obtener las posibles causas que influyen en los defectos en estudio se procedió a la realización de un diagrama causa-efecto que no es más que un diagrama que muestra la relación entre una característica y los factores. Además para la solución de problemas deben usarse varios métodos conjuntamente, y la combinación de un diagrama de Pareto con un diagrama causa-efecto es especialmente útil.

Antes de elaborar dichos diagramas se ubicaran los defectos en las piezas en la dos zonas donde hay mayor incidencia terminación y mecanizado para ello se hará solo inspección visual se anotaran la ubicación de los defectos.

Pasos para elaborar el diagrama causa-efecto.

- Describa el efecto o atributo de calidad.
- Escoger una característica y escribirla en el lado derecho de la hoja de papel, dibuje de izquierda a derecha la línea de la espina dorsal y encierre la característica en un cuadrado. En seguida, escriba las causas primarias que afectan a la característica de calidad, en forma de grandes huesos, encerrados también en cuadros.
- Escriba las causas secundarias que afectan a los huesos grandes como huesos medianos, y escriba las causas terciarias que afectan a los huesos medianos como huesos pequeños.
- Asigne la importancia de cada factor y marque los factores particularmente importantes que parecen tener un efecto significativo sobre la característica.
- Registre cualquier información que pueda ser de utilidad.

Pasos para elaborar el diagrama de pareto.

Una vez obtenidas las causas principales se grafican tres ejes, en el eje de las abscisas se colocan las causas, en el eje principal de las ordenadas la cantidad y en el eje secundario de las ordenadas el porcentaje acumulado de la cantidad.

3.3 Determinación de la composición química de la fundición gris

El método empleado para determinar la composición química de la fundición gris permitirá determinar si el metal se encuentra dentro de la especificaciones establecidas dentro de la empresa, además estudiar la influencia de que tienen algunos elementos en la aparición de las sopladuras y arrastre de arena en las piezas rechazadas.

Materiales y/o herramientas a utilizar:

Muestras de material ferroso / Estándares Patrones / Espectrómetro de Emisión Spectrolab / Cepillo con Fibra / Servilletas.

Método de ensayo:**Método de Chispeo o Quema de Muestras:**

- Tome la muestra (pastilla) y verifique que esté desbastada uniformemente en una sola dirección, libre de polvo y de humedad.
- Coloque el borde de la muestra con la parte desbastada sobre la cámara de quema y fíjela con el sistema de sujeción.
- Efectúe la quema de las muestras pulsando la tecla F9.
- Cuando la quema esté terminada los datos de la composición química aparecen en la pantalla.
- Levante el sistema de sujeción, retire la muestra y limpie el electrodo con el cepillo de fibra.
- Gire la muestra y repita la operación las veces que el análisis lo requiera cambiando la zona del chispeo.

Método de Análisis:

- Realice las quemas que considere conveniente realizar a las muestras analizadas y al Estándar, para decidir que valores tomar.
- Cuando las quemas requeridas se han completado elija tres valores similares que permitan promediar los % de elementos analizados a la muestra y deseche de la pantalla los más dispersos (utilice el cursor para hacer la selección y pulse la tecla Delete o Supr).

- Determine en el análisis del Estándar la condición de cada elemento (% a sumar o restar) y deseche de la pantalla el valor obtenido (pulse la tecla Delete o Supr).
- Promedie los % de los elementos obtenidos analizados en las quemas de las muestras (pulse la tecla F6 si es necesario).
- Sume o reste, según sea el caso, lo que exceda o falte para completar el % del valor nominal del Estándar al % promedio de los elementos analizados en la quema de las muestras y con ello obtendrá el resultado final del análisis.
- Registre los resultados y emitir el reporte.

Precauciones:

- Antes de realizar los análisis es recomendable borrar de la pantalla el análisis anterior.
- Verifique que la muestra a analizar al igual que los Estándar utilizados estén libres de cuerpos extraños (óxidos, polvo y humedad).
- Asegúrese de no efectuar quemas sobre grietas, poros y/o superficies irregulares. (En caso de ocurrir deseche ese valor) y que el desbaste efectuado sea uniforme y en una sola dirección.
- Verifique que la muestra cubra completamente el orificio de la cámara de quema para evitar fugas de argón que puedan afectar los resultados de la quema (en caso de ocurrir pulse la tecla f10 para detener la quema o en su defecto deseche el valor obtenido pulsando la tecla delete).

3.4 Análisis de las propiedades de la arena de moldeo:

Este análisis tiene como finalidad de verificar que las propiedades de la arena de moldeo se encuentren dentro de especificaciones, además de relacionar su influencia sobre la aparición de las sopladuras y arrastre de arena. Las propiedades a analizar son:

Tabla 3. 1 Propiedades y rangos de la arena de moldeo usados en la Empresa Echlin de Venezuela

Propiedad	Límites de trabajo
Compactabilidad (%)	34-42
R.C.V. (Psi)	22-27
Permeabilidad (Cm ² /gr*min.)	90-140
Humedad (%)	3.6-42
Bentonita (%)	11-12
Carbón (%)	2.7-3.7
Temperatura de la arena (°C)	28-46
Granulometría (mallas)	30/100
Índice de fineza AFS	40-55

Toma de muestra de arena en el molino

Pasos a seguir para la Toma de Muestra de Arena en Verde, con el objeto de realizar los análisis que permitan mantener los parámetros dentro de las especificaciones requeridas.

Materiales y/o herramientas a utilizar:

Envase de Plástico con tapa, de 2 Kilogramos de capacidad aproximadamente.

Método de ensayo:

- Leer en el tablero del molino, el amperaje al momento de realizar el mezclado de arena, y el tiempo de adición en segundos de Bentonita, Carbón y Agua Automática.
- Espere a que el operador del molino active la salida de arena y que ésta llegue a una de las tolvas y coloque el envase debajo de la cinta.
- Llene completamente el envase, tápelo y llévelo al laboratorio (fig. 3.1)
- Lleve la muestra inmediatamente al laboratorio y proceda a realizar los análisis requeridos antes que la muestra pierda humedad ya que esto afecta adicionalmente los valores de compactabilidad, permeabilidad y R.C.V.



Figura 3. 1 Toma de de la muestra de la arena de moldeo en verde.

Ensayo de compactibilidad

Consiste en la preparación de una muestra de arena, la cual es colocada en una máquina de ensayo (Compactabilmetro), con el propósito de someterla a cierta cantidad de presión, para luego leer el valor obtenido y compararlo con los parámetros especificados de trabajo.

Materiales y/o herramientas a utilizar:

Embudo con tamiz de malla $\frac{1}{4}$ " para muestras de arena/Reglilla

Compactabilmetro con sus accesorios (Base, Tubo probetero) (ver fig. 3.2).

Método de ensayo:

- Tome una muestra de arena en la salida del molino. La muestra debe usarse con la mayor brevedad posible, para evitar la perdida de propiedades. De no ser posible su uso inmediato se debe desechar.
- Coloque el tubo probetero sobre la base e introducir bajo del embudo.
- Agregue la muestra de arena sobre el tamiz hasta llenar completamente el tubo probetero.
- Enrase la reglilla sobre el borde superior del tubo probetero para obtener una superficie plana.
- Hale hacia delante la palanca del Mazo del Compactabilmetro para hacer subir el vástago y coloque de manera centrada el tubo probetero debajo de este.

- Regrese suavemente la palanca hacia atrás para bajar el vástago.
- Gire 3 veces la manivela del compactabilmetro en sentido de las agujas del reloj, para levantar el mazo y dejarlo caer.
- Lea directamente el porcentaje de compactabilidad en el punto donde coincida el extremo superior del vástago, con la escala colocada en la parte superior del compactabilmetro.
- Hale la palanca hacia delante para levantar el vástago y extraer el tubo probetero, luego regrese la palanca hacia atrás para bajar el vástago.
- Extraiga la probeta de arena del tubo probetero haciendo pasar el extractor a través de él, deseche la probeta y limpie el equipo.
- Registre los resultados.

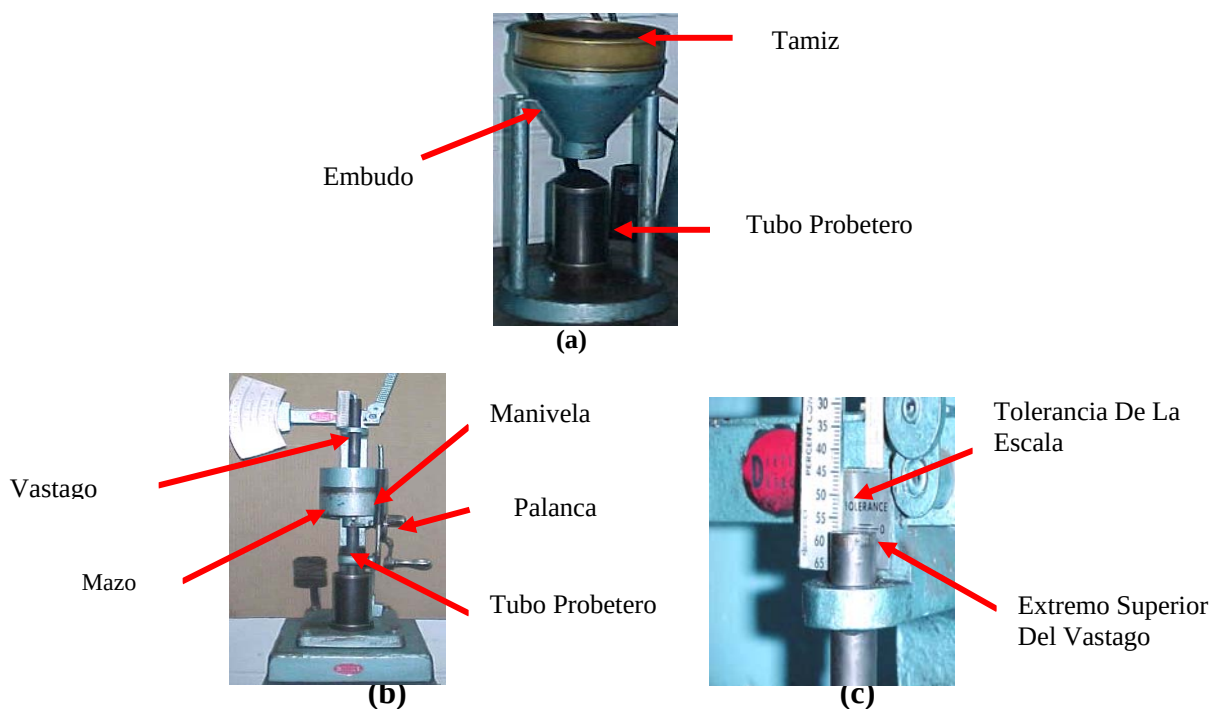


Figura 3. 2 Equipo y accesorios para el ensayo de compactabilidad (a, b y c).

Preparación de la probeta

Preparar la probeta de arena utilizada en los análisis de Permeabilidad y R.C.V. de la arena de moldeo.

Materiales y/o herramientas a utilizar:

Embudo con tamiz de malla $\frac{1}{4}$ " para muestras de arena / Reglilla

Compactabilmetro con sus accesorios (Base, Tubo probetero, extractor).

Método de ensayo:

- Tome una muestra de arena en la salida del molino, en el envase plástico.
- Coloque el tubo probetero sobre la base e introducir bajo del embudo.
- Vierta 145 ± 1 grs de arena en el tubo probetero (ver fig. 3.2)
- Hale la palanca del compactabilmetro para hacer subir el vástago y coloque de manera centrada el tubo probetero debajo de este.
- Regrese suavemente la palanca o manivela para bajar el vástago.
- Gire 3 veces la manivela del compactabilmetro en sentido de las agujas del reloj, para levantar el mazo y dejarlo caer.
- Verifique que el extremo superior del vástago del martillo apisonador, esté dentro de la tolerancia de la escala, antes de sacar la probeta del tubo. En caso contrario repita la operación desde el principio.
- Hale la palanca o manivela para levantar el vástago y extraer el tubo probetero, luego regrese la palanca hacia atrás para bajar el vástago del martillo apisonador.
- Realice el ensayo de Permeabilidad.
- Extraiga la probeta de arena del tubo probetero haciendo pasar el extractor a través de él, realice el ensayo de R.C.V. y limpie el equipo.

Determinación de permeabilidad

Consiste en la preparación de una probeta de arena, la cual es colocada en una máquina de ensayo (permeámetro), con el propósito de someterla a cierta cantidad de volumen y presión constante de aire, para luego leer el valor obtenido y compararlo con los parámetros especificados de trabajo.

Materiales y/o herramientas a utilizar:

Muestra de Arena / Probeta Patrón / Tubo Probetero / Permeámetro digital marca GEROSA (ver fig. 3.3).

Método de ensayo:

- Preparar la Probeta de Arena.
- Encender el Permeámetro pasando el switch de posición “OFF a ON” y calibrarlo con el bloque patrón antes de realizar los análisis al principio de la siguiente forma:
- Coloque el selector del equipo en permeabilidad normal.
- Coloque la probeta patrón en la base del permeámetro.
- Presionar el botón “START”.
- Lea el valor de permeabilidad del bloque patrón marcado en la pantalla.
- Una vez terminado el análisis con la muestra patrón coloque el tubo probetero con la muestra de arena en verde de 2”.
- Presionar el botón “START”.
- Lea directamente el valor de Permeabilidad al detenerse el ensayo en la pantalla.
- Saque el tubo probetero con la probeta del pedestal de ensayo.
- Apague el equipo pasando el switch de la posición “ON a OFF”.
- Extraiga la probeta del tubo probetero, haciendo pasar el extractor de probetas a través de él. Tenga cuidado de no romper la probeta para realizar el ensayo de RCV.
- Reportar los resultados obtenidos.

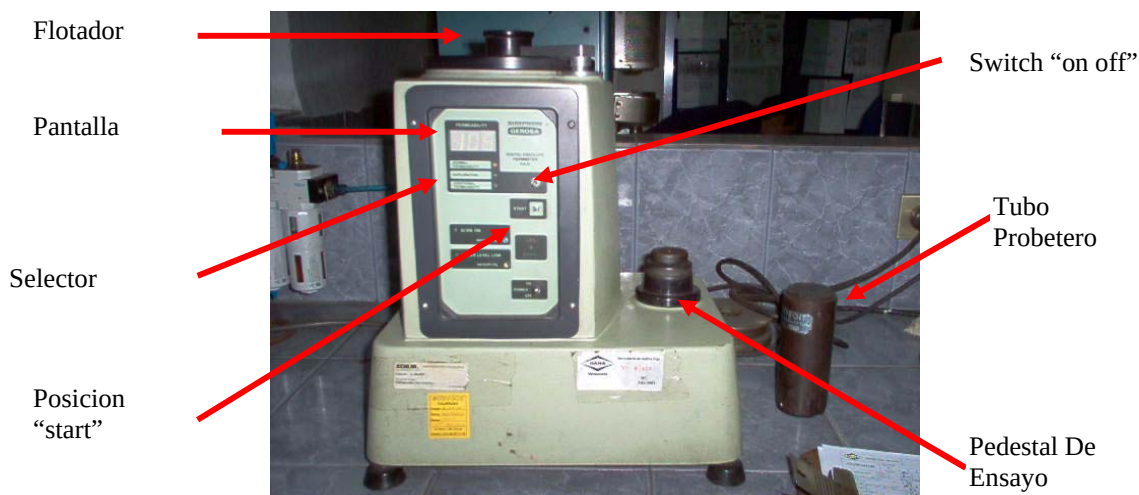


Figura 3. 3 Permeámetro Digital.

Determinación de R.C.V. Maquina Harry Dietert

Consiste en la preparación de una probeta de arena, la cual es colocada en una máquina de Ensayo Universal, para aplicarle una carga tal, que comprima hasta agrietar la probeta, observando el valor de la carga utilizada, para luego leer el valor obtenido (PSI o grs/cm^2) y compararlo con los parámetros especificados de trabajo.

Materiales y/o herramientas a utilizar

Probeta de Arena / Maquina de Ensayos Universal, marca Harry Dietert (ver fig. 3.4) / Extractor de Probetas.

Método de ensayo:

- Verifique que la Maquina de Ensayos esté encendida.
- Coloque la probeta sobre el extractor de probetas.
- Gire a la izquierda la manilla que está debajo de la escala de lectura en la máquina hasta que el cero (0) de la escala pase al lado izquierdo de la guía de medición.

- Ajuste el tornillo de pre-carga de la maquina, girando en sentido de las agujas del reloj hasta ejercer una leve presión sobre la probeta y hasta que el cero (0) de la escala se iguale con la guía de medición.
- Pulse el botón verde del equipo para dar inicio a la aplicación progresiva de presión hasta que se agriete la probeta de arena y se detenga el equipo.
- Lea el resultado en la escala superior de la máquina y divida entre 10 para obtener el valor de la presión en PSI.



Figura 3. 4 Maquina de ensayo Universal marca Harry Dietert.

Precauciones:

- Realice el ensayo inmediatamente extraída la probeta para evitar pérdida de propiedades.
- No exceda la carga aplicada manualmente en el tornillo de ajuste ubicado en la parte superior del equipo.
- Extraiga con cuidado la probeta para evitar agrietamiento.
- De observar alguna anomalía en el ensayo, detenga la carga pulsando el botón amarillo o en su defecto repita el ensayo.

Determinación de humedad

Consiste en determinar la humedad que presenta la arena en verde por medio de diferencia de peso de la muestra.

Materiales y/o herramientas a utilizar:

Determinador de Humedad marca OAHUS. Modelo MB 200, muestra de arena.

Método de ensayo:

- Pulse “ON / TARE” en el tablero del equipo.
- Pulse “SELECT” y asegúrese que la pantalla tenga entre 145 °C y 10 minutos.
- Pulse On/Tare para estabilizar "0" cero.
- Abra la Tapa del Equipo (ver fig. 3.5 a).
- Coloque la muestra del material en el plato porta muestra del equipo. (25gr. Aproximadamente) (ver figura 3.5 b)
- Baje la tapa del equipo y pulse “START”.
- Al pasar los 10 minutos, el equipo manda una señal acústica, el bombillo indicador de “RUN” se apaga y el de “STOP” se enciende en verde. Esto indica que la prueba está completa.
- Lea en resultado que aparece en pantalla y regístrelo en su planilla de anotación.
- Levante la tapa del equipo y retire la muestra.



Figura 3. 5 Equipo determinador de la humedad.

Determinación de la bentonita activa

Consiste en determinar el porcentaje de bentonita presente en la arena de moldeo.

Materiales y/o herramientas a utilizar:

Bureta Digital / Motor Agitador de Muestra, Beaker Metálico, Varilla de Vidrio, Base Porta Motor, Solución de Pirofosfato de Sodio al 2% y Azul de Metileno, Tabla “Guía comparativa para tamaños de Aureola”, Filtro de Papel, Equipo de Ultrasonido.



Figura 3. 6 Equipo para determinar Bentonita

Método de ensayo:**Preparación de la muestra:**

- Vierta 50 ml de Pirofosfato de Sodio en el Beaker Metálico.
- Agregue 5 gramos de la muestra (verificar que esté completamente seca).
- Coloque el Beaker en el equipo de ultrasonido por espacio de 5 minutos.
- Espere a que el ultrasonido se detenga ,extraiga el Beaker y titule con Azul de Metileno



Figura 3. 7 Elementos utilizados durante el cálculo de la bentonita (Pirofosfato, Beaker metálico, Ultrasonido)

Titulación del Azul de Metileno:

- Pulse el botón “ON” de la bureta digital. (1)
- Pulse “MODE” hasta que la flecha en el LCD apunte hacia arriba. (2)
- Gire suavemente las ruedas de titulación hacia arriba para llenar el cilindro. (3)
- Compense cualquier contrapresión, girando las ruedas un poquito en el sentido de descarga hasta que se dispensen 1 ò 2 gotas en un envase vacío.
- Pulse el botón “MODE” para que la flecha apunte hacia abajo.
- Pulse “RESET” para poner el indicador (LCD) en cero. (4)
- Coloque el Beaker debajo de la boquilla de dispensación.
- Gire las ruedas suavemente hacia abajo para dispensar el azul de metileno.
Dispense 80% de la cantidad esperada.

Nota: Para más información véase Manual del Operador de la Bureta Digital marca Digitrator.

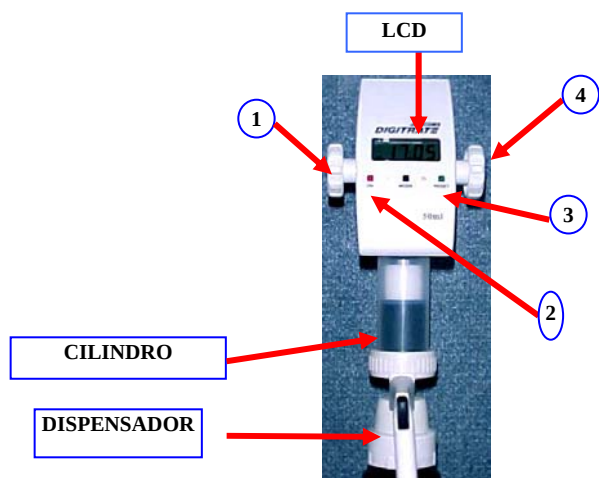


Figura 3. 8 Bureta digita utilizada durante la titulación del azul de metileno

Homogeneización de la muestra:

- Coloque el beaker en el motor agitador por espacio de 2 minutos, con el objeto de homogeneizar la solución.

- Retire el beaker del motor e introduzca la varilla de vidrio en la solución.
- Deje caer una gota de solución de la varilla metálica en el filtro de papel.



Figura 3. 9 Elemento s utilizados para formar la gota (Varilla, Filtro de Papel, motor agitador)

Comparación de la gota:

- Compare la gota con la “Guía Comparativa para tamaños de Aureola” de la Dietert Detroit.



Sin Aureola (*No Halo*): Adicione más azul de metileno (1,5 ml aproximadamente). Agite por dos minutos y vuelva a comparar.



Comienzo de la Aureola (*Weak Halo*): Agregue más azul de metileno a la muestra (0.5 ml aproximadamente). Agite por dos minutos y vuelva a comparar.



Aureola OK (*Good Halo*): Agite la muestra por dos minutos más, si la aureola se mantiene, tome el numero que aparece en el LCD de la bureta digital y multiplíquelo por el factor de corrección. El valor obtenido es el resultado del análisis.



Aureola Sobresaturada (*Over Titration*): Adicionó exceso de azul de metileno en la muestra. Repita el ensayo.

Figura 3. 10 Determnación de la aureola para determinar el contenido de bentonita en la arena de moldeo

Nota: Si al adicionar 5 veces azul de metileno no comienza a formarse la aureola, repita el ensayo, adicionando más azul de metileno en el comienzo que lo agregado en la muestra anterior.

Determinación de carbono en el equipo LECO

Determinar contenido de carbono en la muestra de arena en verde

Materiales y/o herramientas a utilizar:

Carbonómetro volumétrico LECO, bombona de oxígeno industrial, crisol de cerámica, brocha delgada, balanza mecánica de precisión, embudo de vidrio, cucharilla de vidrio, acelerador de cobre, pinzas.

Método de ensayo:

- Pese 0.125 gr de arena de moldeo.
- Transfiera a un crisol de cerámica y agregue 1 cucharilla de acelerador de cobre.
- Coloque la llave de control de presión a la posición “SUBE” y la llave de paso con la manilla hacia abajo para que la solución coloreada llene el tubo auxiliar y la bureta calibrada.
- Coloque la llave de control a la posición “NEUTRA” cuando ambos tubos estén completamente llenos con la solución coloreada.
- Coloque el crisol con la muestra sobre el pedestal y cierre el horno.
- Coloque la llave de paso superior con la manilla hacia la izquierda, esta comunica la bureta volumétrica con el horno de inducción.

- Abra el pase de oxígeno con poca presión y lleve la llave de control de presión a la posición "BAJA".
- Tire hacia atrás el mango de cierre del horno antes de que la solución llegue a cero.
- Espere a que la solución se estabilice en cero en la columna de la derecha.
- Gire la llave de paso superior con la manilla hacia arriba y la llave de control de presión a la posición "SUBE" lentamente, hasta llenar completamente con la solución coloreada las dos columnas.
- Coloque la llave de control a la posición "NEUTRA".
- Espere 60 segundos.
- Lleve la llave de control a la posición "BAJA" y espere a que la solución se estabilice.
- Gire la llave de paso superior con la manilla hacia la derecha y la llave de control a la posición "SUBE" lentamente hasta nivelar a ras las dos columnas.
- Coloque la llave de control a la posición "NEUTRO".
- La escala de la derecha es para fundiciones (alto carbono) y la de la izquierda es para acero.
- Calcule el % de carbono de acuerdo a la siguiente formula:

$$\% \text{ de Carbono} = \frac{\text{Lectura} \times \text{Factor}}{\text{Peso de la Muestra}} \quad (1)$$



Figura 3. 11 Equipo utilizado para determinar el contenido de carbón en la arena de moldeo

Calculo del Factor

- Pesar 0.25 Gramos de estándar el primario con % de carbono conocido.
- Realizar todos los pasos anteriores, para determinar carbono.

Calcular:

$$\text{Factor} = \frac{\text{Peso de la muestra} \times \% \text{ Carbono conocido}}{\text{Lectura}} \quad (2)$$

Determinación de temperatura en la arena de moldeo

Determinar la temperatura de la arena de moldeo con la ayuda de un termómetro metálico para asegurar que ésta no pierda significativamente las propiedades que se le otorgan en su preparación.

Materiales y/o herramientas a utilizar:

Envase de Plástico con tapa, de 2 Kilogramos de capacidad aproximadamente, Termómetro de varilla metálica, de 100 °C de Capacidad mínimo (ver fig. 3.12).

Método de ensayo:

- Tome una muestra de arena a la salida del molino, en el envase plástico como se menciono anteriormente.
- Saque el termómetro del estuche protector e introdúzcalo en el envase con la muestra de arena.
- Espere unos segundos, hasta que estabilice el dial del termómetro.
- Lea la lectura que indica el dial del termómetro.
- Registre los resultados.
- Limpie el termómetro y guárdelo en su estuche protector.

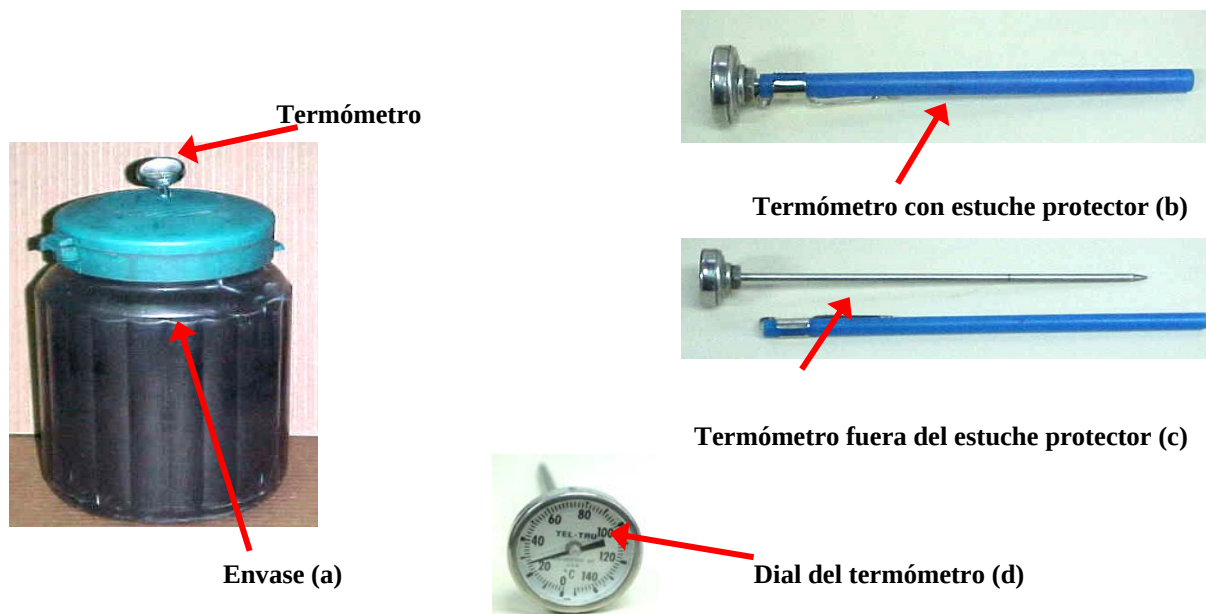


Figura 3. 12 Accesorios para determinar la temperatura de la arena de moldeo.

Lavado de arena

Consiste en someter una muestra de arena a lavados continuos añadiendo, pirofosfato de sodio, seguidamente se introduce en un equipo autoclay hasta lograr su limpieza, con la finalidad de extraer la arcilla presente en la muestra

Materiales y/o herramientas a utilizar:

Muestra de arena libre de humedad, solución de pirofosfato de sodio al 2%, papel de filtro Whatman N° 50, balanza, estufa, vaso para lavado, embudo, piceta con agua común, equipo Autoclay.

Método de ensayo:

- Extraer la humedad a una cantidad de arena de la muestra siguiendo el procedimiento “Determinación de Humedad”.
- Pesar 50 gr. de arena seca (libre de humedad)
- Agregue en un vaso de lavado y añada 100ml. de solución de pirofosfato de sodio al 2% y luego agregue la arena
- Introduzca en el vaso de lavado el equipo Ultrasonido por 5 minutos
- Introduzca en el vaso de lavado el equipo Autoclay
- Accione la perilla del fluido (agua) en el equipo
- Active el equipo accionando el switch Power y Fill
- Esperar que transcurran los ciclos de lavado (aproximadamente 4 horas) hasta que el agua este totalmente limpia o clara
- Desactive el equipo descendiendo el switch Power, Fill y la perilla del fluido
- Desprenda los granos de arena adheridos a los tubos de absorción del equipo utilizando el agua de una piceta, luego se retira el vaso de lavado del equipo Autoclay
- Filtrar la arena del vaso de lavado utilizando el embudo y el papel de filtro N° 50 en elenmeyer de 500mls.
- Desprenda con el agua de la piceta, los residuos de arena adheridos a las paredes y fondo del vaso de lavado los cuales también deben ser filtrados en el papel de filtro.
- Coloque el papel de filtro con la muestra de arena en una charola.
- Introduzca la charola con la arena en la estufa a una temperatura de 120 °C aproximadamente y secar hasta que se encuentre totalmente libre de humedad.
- Determine el resultado, según formula:

$$\frac{\text{Peso Inicial} - \text{Peso Final} \times 100}{\text{Peso Inicial}}$$

(3)

Precauciones:

- Extraer la muestra de la estufa al estar 100% libre de humedad
- No extraer el vaso de lavado hasta lograr completamente la limpieza del fluido.

Determinación de granulometría

Consiste en agregar 50 gr de arena sílice previamente secado a un tamizador, el cual es puesto en funcionamiento con el fin de que descienda las partículas a través de los tamices, para luego evaluar el porcentaje retenido en cada tamiz.

Materiales y/o herramientas a utilizar:

Muestra del material, Tamizador, Brocha de Cerdas Suaves, Balanza, Tamices.

Método de ensayo:

- Tomar una muestra de 50 gr de arena sílice (libre de Humedad).
- Ordenar los tamices de mayor a menor diámetro de abertura.
- Agregar la muestra en el tamiz superior
- Coloque los tamices en el agitador
- Asegure los tamices presionando hacia abajo y apretando las perillas izquierda y derecha
- Encienda el Tamizador por espacio de 5 minutos, transcurrido el tiempo, desactive el equipo y extraiga los tamices

- Con la ayuda de una brocha de cerdas extraer los residuos de material impregnado en la malla del tamiz
- Pesar la muestra retenida en cada tamiz
- Calcule el (%) porcentaje retenido en cada tamiz, dividiendo el peso retenido en cada tamiz, entre el peso total de la muestra; multiplicando por 100 (esto lo realiza la computadora, introduciéndole los pesos de cada tamiz y el Fondo)
- Calcular el porcentaje acumulado en cada tamiz sumando el valor superior izquierdo con el inferior derecho y registrar en inferior derecho de una manera secuencial hasta obtener un ciento por ciento.
- Calcule el porcentaje de fineza.
- Multiplique el porcentaje retenido en cada tamiz por el numero de tamiz que le antecede; sume los productos y divida el total entre el porcentaje acumulado para calcular el índice de fineza de grano.
- Calcule el índice de distribución sumando los porcentajes retenidos en cada malla especificada de acuerdo a cada producto
- Elabore el gráfico porcentual de l material retenido Vs. el N° de cada malla

Precauciones:

- La muestra debe estar libre de humedad
- Distribuir los tamices en forma decreciente, es decir de mayor a menor
- Asegurar los tamices con sujetador ubicado en parte superior del equipo antes de activarlo.

3.5 Propiedades de la arena Shell.

Ensayo de resistencia a la tracción arena revestida

Estandarizar los pasos a seguir para determinar la resistencia a la tracción de arena revestida, con el objeto de realizar un análisis confiable

Materiales y/o herramientas a utilizar:

Maquina de Ensayo Universal, Espátula de enrase, Brocha, Extractor Metálico, Guantes Anticalorico

Método de ensayo:

- Encienda la maquina de ensayo universal (**Swich “Power”**). Todos los dígitos de la pantalla y la Luz Indicadora de prueba se enciende y se apaga.
- Espere aproximadamente 5 segundos, (**Hello**) aparece en pantalla
- Encienda el panel de control de temperatura de los bloques
- Ajuste la temperatura de curado (240 °C) en la pantalla “**SV**” dígitos Verde mediante la tecla .
- Espere que la temperatura actual “**PV**” dígitos Rojo iguale la pantalla de control “**SV**”.
- Limpie los residuos de arena de bloque y placas molde, utilizando la brocha rociar silicona en ambas caras
- Pulse la tecla “**ES**” (**TEST SELECTION**) para seleccionar el ensayo SHELL/HOT TENSILE: STR se ilumina el indicativo
- Acople el brazo desde la placa móvil (izquierda) hasta el cabezal de la maquina de manera que ajuste.

- Colóquese guante para ajustar el brazo de acople y llene la placa molde de arena revestida
- Compacte la arena bien dentro del molde
- Enrase utilizando la espátula y elimine el exceso de arena sobre las placas modelo
- Baje el bloque superior y pulse el botón verde **“START TIME”** del panel de control
- Espere que transcurra los 2 minutos de curado, la maquina de tracción Shell automáticamente se acciona y registra el resultado en la pantalla
- Tome nota del resultado
- Pulse la tecla **“CD”** para borrar la pantalla y la tecla **“Z”** para recetear a cero
- Levante el bloque superior y extraiga las placas modelo del bloque inferior con la ayuda del extractor magnético
- Remueva la probeta de las placas y limpie la arena de ambas caras
- Repita los pasos para obtener tres lecturas y tomar el promedio



Figura 3. 13 Equipo para determinar la resistencia a la tracción en caliente de la arena shell

Toma de dureza en machos

Estandarizar los pasos a seguir para la determinación de dureza en los machos con el objeto de realizar un análisis confiable en Moldes de Arena Fabricados con el Sistema Shell y Caja Fría (Machos o Noyos).

Materiales y/o herramientas a utilizar:

Durómetro portátil para machos.

Método de ensayo:

- Gradúe la aguja del durómetro a cero, colocando la parte del durómetro que tiene las puntas, sobre un mármol o una parte metálica plana.
- Oprima la parte del durómetro que tiene las puntas, contra la parte metálica plana o el mármol.
- Gire el dial, hasta igualar la aguja con el cero.
- Coloque el durómetro sobre una parte plana del macho, sujetar suavemente y girar a 360° 2 veces.
- Tome las lecturas que indica el dial del durómetro.

Determinación de densidad de la pintura para pintar los machos

Estandarizar los pasos a seguir para determinar la densidad de materiales en estado líquido

Materiales y/o herramientas a utilizar:

Cilindro graduado de 100ml, densímetro de escala baumé de 0 a 70 ° Be, balanza digital.

Método de ensayo:

- Tome una muestra de 100 ml del material en el cilindro
- Introduzca el densímetro de escala baumé en el cilindro graduado.
- Espere que el densímetro se estabilice.
- Tome la lectura indicada en el densímetro.

- Registre los resultados.

Determinación de la humedad de los machos o noyos

Consiste en determinar el contenido de humedad presente en los machos elaborados con arena shell.

Materiales y/o herramientas a utilizar:

Probetas tipo ocho de arena shell, pintura refractaria con densidad de 30 Baume, Horno de secado, Determinador de Humedad marca OAHUS. Modelo MB 200. Maquina de Ensayo Universal, Espátula de enrase, Brocha, Extractor Metálico, Guantes Anticalorico

Método de ensayo

- Se toma la muestra de arena revestida (arena shell).
- Se preparan las probetas tipo ocho en la Maquina de Ensayo Universal.
- Se divide la muestra en partes iguales, seleccionando probetas sin pintar, pintadas y secadas en el horno de secado y pistadas sin secar.
- Se procede a medir la humedad por diferencia de pesos a cada una de las muestras.
- Se registran los datos.

3.6 Medición de temperatura

Medición de la temperatura en el horno de mantenimiento

Estandarizar los pasos a fin de medir la temperatura en el horno de mantenimiento por medio de l uso de una lanza.

Materiales y/o herramientas a utilizar:

Equipo de seguridad (lentes, guante y delantar de carnaza, casco), lanza de inmersión (termocupla), pantalla analógica, carcasa protectora (cartón).

Método de ensayo

- Tomar la lanza y colocar la carcasa de cartón en el extremo libre.
- Ubicarse en la plataforma del horno de mantenimiento e introducir la lanza por el orificio de la tapa del horno destinado para tal fin (ver fig. 3.14).
- Dejar la lanza hasta que en la pantalla analógica avise (se enciende botón rojo).
- Se lee el valor de temperatura en la pantalla analógica.
- Se retira la lanza del horno y posteriormente la carcasa de cartón.
- Se reporta el valor de temperatura en la grafica de control.



Figura 3. 14 Medición de temperatura en el horno de mantenimiento.

Medición de la temperatura en la olla de colada.

Estandarizar los pasos a fin de medir la temperatura en la olla de colada utilizando una pirómetro digital.

Materiales y/o herramientas a utilizar:

Equipo de seguridad (lentes, casco, respirador), pirómetro óptico por radiación (pistola digital, ver fig. 3.15).

Método de ensayo

- Prender el pirometro y regular la distancia a 2 m aproximadamente para obtener una lectura precisa.
- Colocar la mira directamente en el metal y apretar el gatillo.
- Mantener el gatillo apretado hasta que se estabilice la lectura.
- Reportar los valores en la panilla.

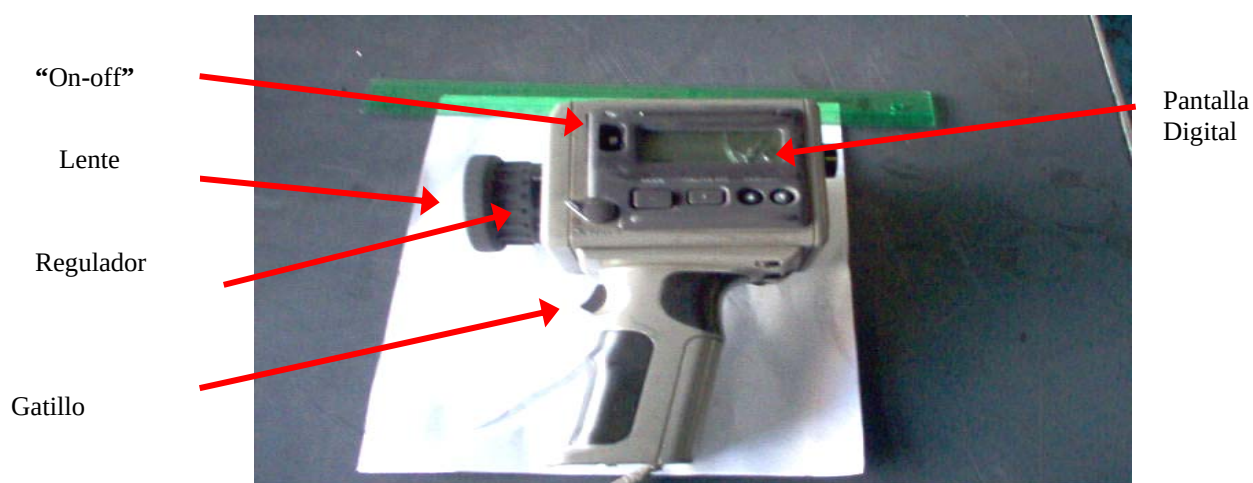


Figura 3. 15 Pirometro digital utilizada para la medición de temperatura de la olla de colada.

CAPITULO IV. RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSION

4.1 Análisis de las estadísticas de la Empresa Echlin de Venezuela

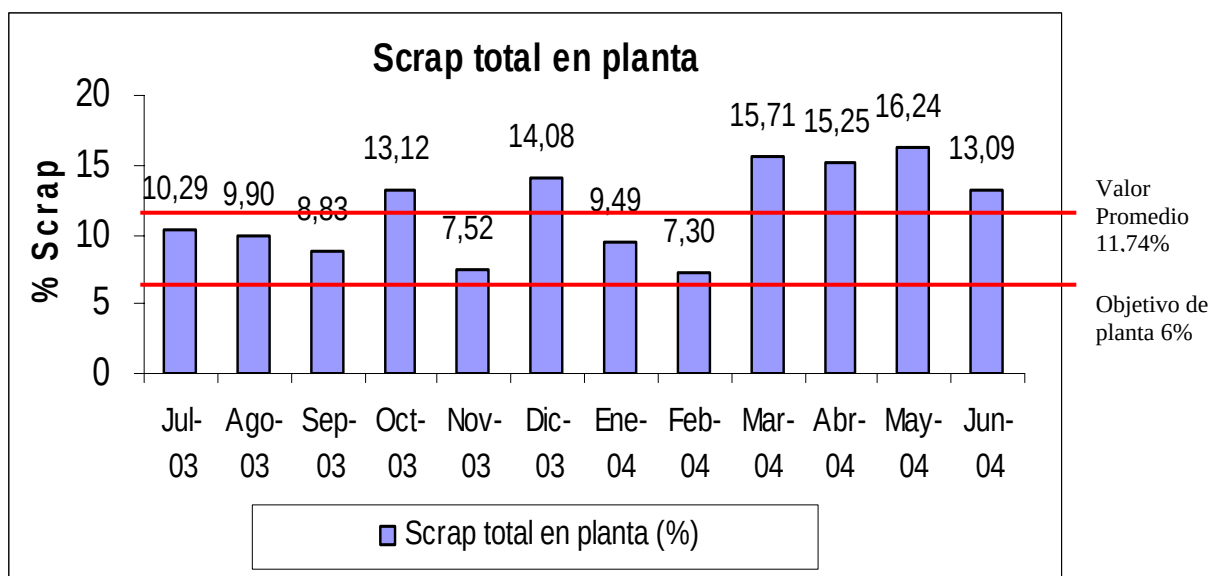


Figura 4. 1 Comportamiento del Scrap total en planta desde Julio-2003 hasta Junio-2004 en la Empresa Echlin de Venezuela

De la figura 4.1, observamos el porcentaje de scrap (rechazo) que tuvo la Empresa Echlin de Venezuela durante los meses en estudio, dicho rechazo no tiene un valor constante obteniéndose un valor promedio de 11.74 %, adicionalmente se muestra el objetivo de la Empresa, la cual busca un scrap de 6 % o menos.

Tabla 4. 1 Comportamiento del scrap en la Empresa.

Scrap total en la Empresa	Jul-03	Ago-03	Sep-03	Oct-03	Nov-03	Dic-03	Ene-04	Feb-04	Mar-04	Abr-04	May-04	Jun-04	Valor promedio
	10,29	9,90	8,83	13,12	7,52	14,08	9,49	7,30	15,71	15,25	16,24	13,09	11.74
AREA: TERMINACION													
% Scrap Fund.	1,45	1,7	1,16	2,69	1,07	4,26	1,73	1,3	3,23	3,78	2,88	1,74	2.25
AREA: MECANIZADO													
% Scrap Fund.	8,28	7,87	7,41	10,4	6,33	9,8	6,94	5,96	11,44	12,39	13,4	10,74	9.25
% Scrap Mec.	0,82	0,54	0,57	0,75	0,57	0,69	0,78	0,61	0,59	0,5	0,51	0,67	0.63

En la tabla 4.1, también muestra el scrap total de la Empresa pero con la particularidad de que dicho scrap es encontrado en dos áreas, la primera es el área de terminación donde solo es determinado el 20 % del scrap total y dichos defectos son atribuidos al proceso de fundición, y la segunda es el área de mecanizado donde se encuentra el resto, siendo el 7 % debido a defectos por el mecanizado en si de la pieza y el 73 % es por algún defecto proveniente del proceso de fundición. Cabe destacar que la inspección es solamente a nivel superficial y por método visual, es decir, todos los defectos son en la superficie de la pieza.

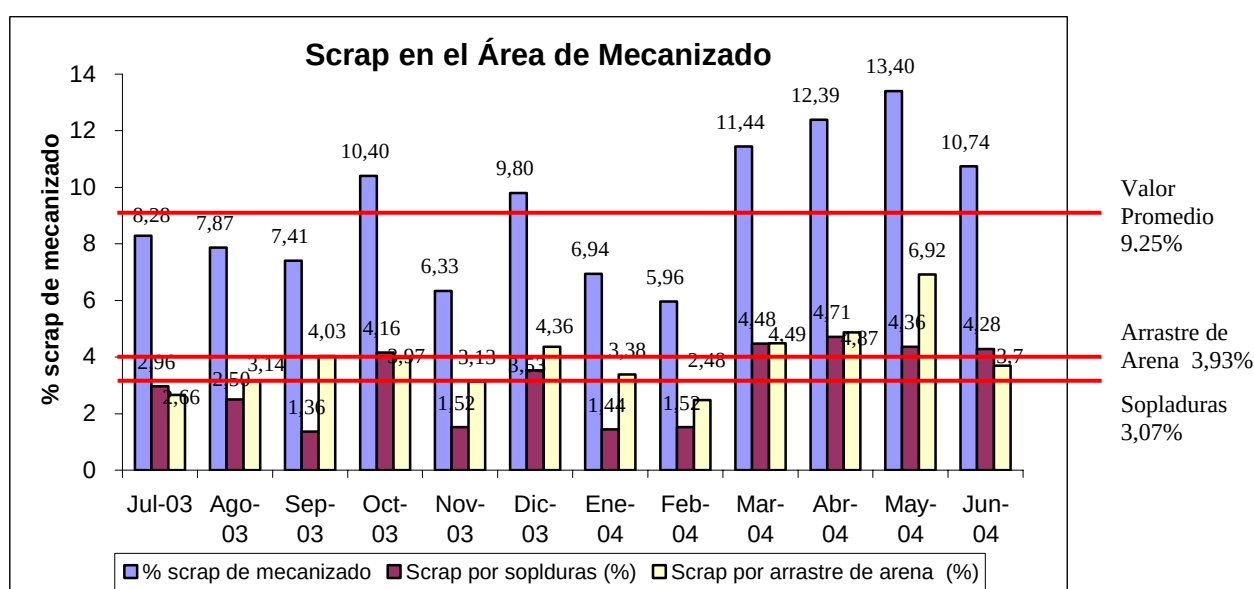


Figura 4. 2 Scrap en el área de mecanizado y los defectos de sopladura y arrastre de arena desde Julio-2003 hasta Junio-2004 en la Empresa Echlin de Venezuela

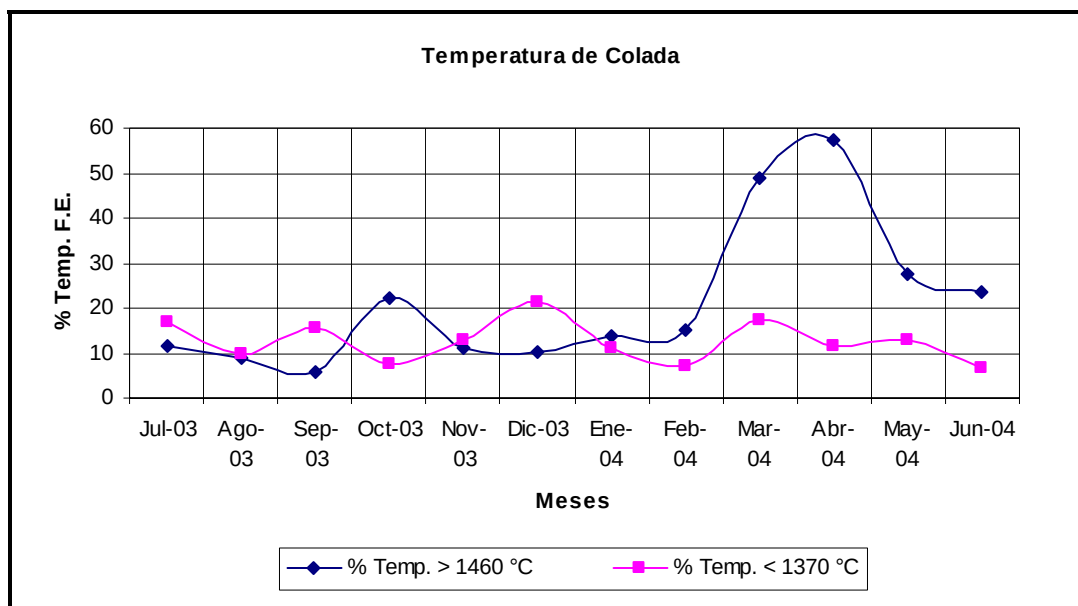
En la figura 4.2, especificando el área de mecanizado como la zona donde se encuentra la mayor cantidad de defectos de fundición que afectan a la Empresa, se observa que las sopladuras y el arrastre de arena representan más del 75 % del mismo.

A fin de analizar dicho comportamiento del Scrap durante ese periodo se decidió revisar los principales registros que lleva la Empresa encontrando:

Tabla 4. 2 Comportamiento de la temperatura en la olla de colada.

3 primeros moldes (1460-1430).													
Mes/Año.	Jul-03	Ago-03	Sep-03	Oct-03	Nov-03	Dic-03	Ene-04	Feb-04	Mar-04	Abr-04	May-04	Jun-04	Promedio
Medidas totales * mes	366	414	503	215	556	279	383	274	202	292	358	200	337
Temp. > 1460 °C	43	36	29	48	62	28	53	41	99	167	98	47	63
% Temp. > 1460 °C	11,75	8,70	5,77	22,33	11,15	10,04	13,84	14,96	49,01	57,19	27,37	23,50	21,68
Último molde (1430-1370).													
Medidas totales * mes	366	407	503	215	556	279	383	274	196	299	357	200	336
Temp. < 1370 °C	62	40	79	16	72	59	42	20	34	34	46	13	43
% Temp. < 1370 °C	16,94	9,83	15,71	7,44	12,95	21,15	10,97	7,30	17,35	11,37	12,89	6,50	12,53

La tabla 4.2 representa las mediciones de temperatura en la olla de colada realizadas por mes obteniéndose en los tres primeros moldes un promedio 337 mediciones de los cuales el 21.68 % de las medidas están fuera de los rangos de trabajo. En el último molde también se realizaron un promedio de 336 medidas de las cuales solo el 12.53 % se encuentra fuera de especificación. Estos resultados obtenidos nos hacen pensar que esta es una de las posibles causas en la aparición de los defectos en estudio durante ese periodo.

**Figura 4. 3** Comportamiento de la temperatura de colada en el límite superior e inferior

En la figura 4.3 se puede visualizar el comportamiento de la temperatura de colada fuera de especificación en porcentaje. Observándose que dicho comportamiento no es lineal, es decir, hay fluctuaciones durante todo el periodo analizado.

Tabla 4. 3 Porcentaje fuera de especificación de la composición química de la fundición gris

Meses	Porcentajes fuera de especificación de la composición química							
	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cu	%Cr	%Al
Jul-03	1,73	5,63	0	0	0	9,09	6,1	0
Ago-03	0,00	10,58	0	0	0	17,99	1,06	0
Sep-03	0,00	4,12	0	2,88	0,41	7,82	4,12	0
Oct-03	0,00	2,56	0	0	0	5,13	4,7	1,3
Nov-03	0,00	9,26	0,74	0,37	0,74	1,48	2,22	1,48
Dic-03	0,00	6,75	12,88	0	69,94	0,00	2,45	1,23
Ene-04	0,00	8,86	6,96	0	22,15	0,00	5,1	0
Feb-04	0,00	7,28	5,96	13,25	3,97	0,00	2,65	0,66
Mar-04	1,59	0,00	5,56	0	0,79	2,38	4,76	2,38
Abr-04	0,00	10,67	8	0	1,33	2,00	8,67	2
May-04	0,00	4,47	10,06	2,79	0,56	20,70	5,03	1,68
Jun-04	0,00	3,82	4,58	6,11	0	12,21	4,58	0

La tabla 4.3 representa los elementos principales que constituyen la composición química de la fundición gris en la Empresa, observando que los elementos que se encuentran fuera de especificación durante todo el periodo estudiado son: el silicio, el cobre y cromo. Además existen otros elementos como el manganeso, fósforo, azufre y aluminio que también están fuera de especificación, sin embargo su ocurrencia no fue durante todo el año.

El silicio se puede decir, que es el elemento grafitizante principal y cuando se trabaja con altos contenidos aumenta la solubilidad del hidrogeno en el baño metálico, sin embargo, cuando se utiliza durante la inoculación este fenómeno tiende reducir, tal como es el caso

de la Empresa. Si la solubilidad del hidrogeno es grande tiende a formar porosidades por gas en las piezas coladas.

El cobre favorece ligeramente la grafitización, endurece y aumenta la resistencia de la matriz, por lo tanto no influye en la aparición de los defectos en estudio.

El cromo estabiliza la cementita y evita la grafitización. Reduce ligeramente el tamaño de las láminas de grafito, afina y aumenta la dureza de la matriz, sin embargo no tiene una relacion con la formación de los defectos estudiados.

El azufre se opone a la grafitización del carbono y favorece la formación de cementita. Este elemento tiene tendencia a formar sulfuro de hierro que es un compuesto de bajo punto de fusión, el cual genera cavidades por contracción cuando solidifica; siempre que no se encuentre un porcentaje de manganeso suficiente para neutralizar el azufre en el baño metálico. En la Empresa toda cavidad la reconoce como sopladura dándose el caso de que dichas sopladuras que ellos encuentran sea una parte por contracción del compuesto y no por gases o combinación de ambas.

El fósforo favorece la colabilidad, no ejerce influencia muy sensible sobre la grafitización del carbono. La presencia de este elemento da lugar a un aumento de la fragilidad y aumento de su dureza.

Por ultimo el aluminio en el hierro colado (fundiciones) forma impurezas metálicas que producen poros debido a la contracción de este elemento cuando se enfría.

De lo antes dicho se observa que los elementos de la composición tiene influencia en las características y propiedades de la fundicion, sin embargo, no sabemos si algunos de los elementos que se encuentran fuera de especificación ejerce alguna influencia en el aumento de la solubilidad de algun gas que puedan ser incorporados al baño metalico.

Tabla 4. 4 Porcentaje fuera de especificación de las propiedades de la arena de moldeo

Propiedades Meses	Propiedades de la arena fuera de especificación						
	Compactabilidad	R.C.V	Permeabilidad	Humedad	Bentonita	Carbón	Temp de la Arena
Jul-03	0,00	0	0,74	0,73	2,19	21,74	43,8
Ago-03	1,41	0	0,00	1,41	0,7	2,50	48,59
Sep-03	0,72	0	0,00	0	0	0,00	37,68
Oct-03	1,18	0	0,00	0	0,59	0,00	21,89
Nov-03	1,42	0	0,00	0	0	0,00	46,81
Dic-03	6,00	1	1,01	0	51	6,67	40
Ene-04	0,99	1	8,11	2,97	6,93	18,18	59,41
Feb-04	7,55	0	47,83	0	11,32	0,00	92,45
Mar-04	4,71	0	10,13	0	50,59	14,29	22,35
Abr-04	5,49	0	0,00	0	16,48	20,00	26,37
May-04	2,00	0	0,00	0	1	20,00	22
Jun-04	1,94	0	0,00	0	0	31,82	33,01

La tabla 4.4, representa las principales propiedades de la arena de moldeo realizadas por la Empresa, se observa que la compactabilidad y la temperatura de la arena son las propiedades que mas se encuentra fuera de especificación siguiéndole el carbón y la bentonita y en menores casos la permeabilidad.

La compactabilidad generalmente se encontró por encima del rango de trabajo

La bentonita estaba por debajo del límite inferior lo que pudo causar que la acción aglomerante disminuyera, ocasionando que los granos de arena no se encuentren unidos entre sí.

El carbón se encontró por debajo de 2.7 (límite inferior) este aditivo se agrega para reducir la penetración de metal al molde y a mejorar el acabado superficial, lo que pudo favorecer que la arena se incrustara en la pieza.

La permeabilidad en pocos casos se encontró por debajo de 90 lo que pudo ocasionar que los gases generados se quedaran atrapados en las piezas, debido a que no pueden atravesar el molde.

La temperatura de la arena de moldeo, es la que tiene mayores valores fuera de especificación, es decir, debido a que la arena verde recircula y el silicio es un excelente aislante, existe la tendencia de incrementarse la temperatura de la arena, lo que causa problemas como arena pegada a la tolva, cinta transportadora, y difícil control de la humedad en el molino por lo tanto perdida de las propiedades de la arena preparada.

De acuerdo a lo antes expuesto la arena de moldeo pudo ser otra de las posibles causas que influyo directamente en la aparición de los defectos en estudio.

En la figura 4.4 Se puede observar los porcentajes fuera de especificación de todas las propiedades antes mencionadas y su respectivo comportamiento.

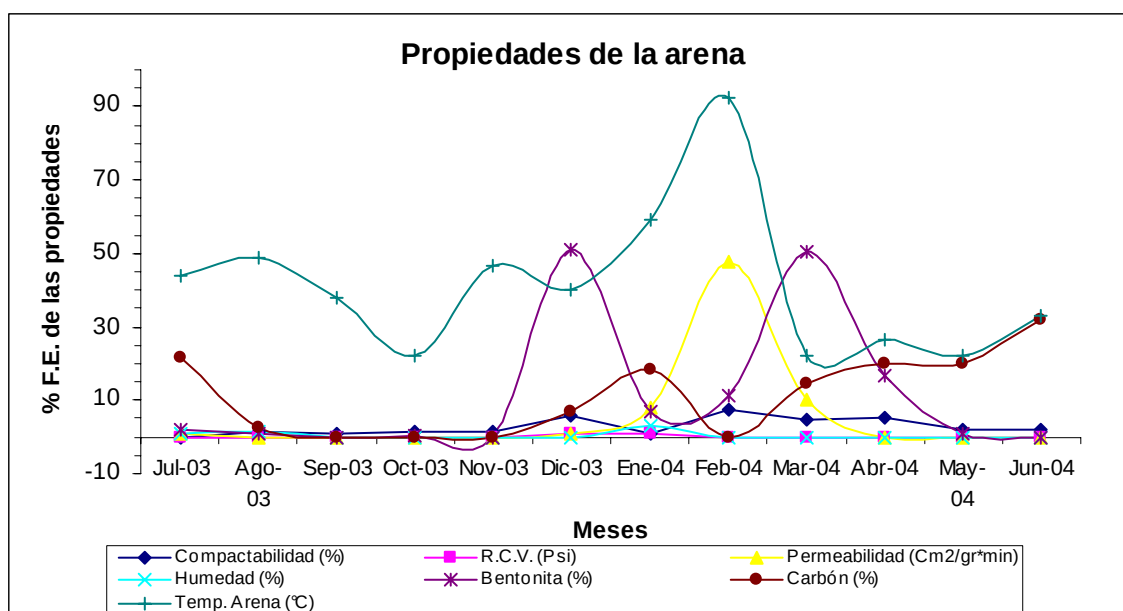


Figura 4. 4 Comportamiento de los porcentajes fuera de especificación de las propiedades de la arena

4.2 Localización de los defectos y Diagrama Causa- Efecto. Diagrama de Pareto

En vista de los resultados obtenidos en la etapa I, se decidió trabajar con los diagramas causa-efecto y el diagrama de pareto, afín de estudiar los defectos de sopladuras y arrastre de arena por separado; con la finalidad de encontrar las causas mas frecuente generadas durante el proceso de fabricación de las piezas. Pero antes de realizar dichos diagramas se inspecciono las zonas de rechazo (Scrap) para verificar que los defectos mencionados en las estadísticas son los predominantes, además de observar su ubicación en la pieza.

Tabla 4. 5 Ubicación de los defectos predominante en la empresa.

Área	Defecto de fundición		Localización de los defectos
Terminación	Superficiales	Hierro frío	En la parte superior por los venteos
		Molde roto	Cualquier parte del piezas
		Calcinación	Orificio de las piezas con ventilación
		Cavidades	En la superficie desde el centro hasta los venteos
		Rechupe	En la superficie desde el centro hasta los venteos
Mecanizado	Sub-superficiales	Cavidades:	
		Gas atrapado (sopladuras)	Cualquier extremo de la periferia de la pieza
		Contracción	Cualquier extremo de la periferia de la pieza
		Microporosidades	Generalmente en el centro de la pieza
		Dif. De espesor	En todo la periferia de las piezas
		Junta fría	Extremo superior de la pieza
		Arrastre de arena	En la cara de los disco en la parte baja y cercana a los ataque

La tabla 4.5, representa la ubicación de los defectos encontrados en la Empresa en dos áreas distintas. En el área de terminación los defectos encontrados son superficiales, y evidentes a la vista; siendo los más comunes molde roto, rechupe y hierro frío. Ninguno de los defectos antes mencionados no son de interés para nuestro estudio.

En el área de mecanizado los defectos encontrados son sub-superficiales, es decir, son observados a simple vista, una vez que la pieza es mecanizada. Los defectos más comunes

son el arrastre de arena, las sopladuras y otros que no son de interés. Aunque en la Empresa llaman a todas las cavidades sopladuras, se evidencio que existen tres tipos de cavidades distintas entre ellas, la primera cavidad es formada debido a gases ya que son esféricas, con paredes lisas (limpia) y se localiza en la superficie de la parte superior de la pieza o cerca de ella. La segunda cavidad es generada por la contracción del metal y aunque esta también se encuentra en la superficie de la pieza se diferencian por ser angulares, quizás con ramas de dendritas penetrando de ellos y la tercera son la microporosidades generadas por gases diferenciándose por ser pequeños grupos esféricos y generalmente se localizan en la superficie y en el centro de la pieza. De estas tres cavidades las que tienen mayor incidencia son las formadas por gases atrapados tal es el caso de las sopladuras y las microporosidades.

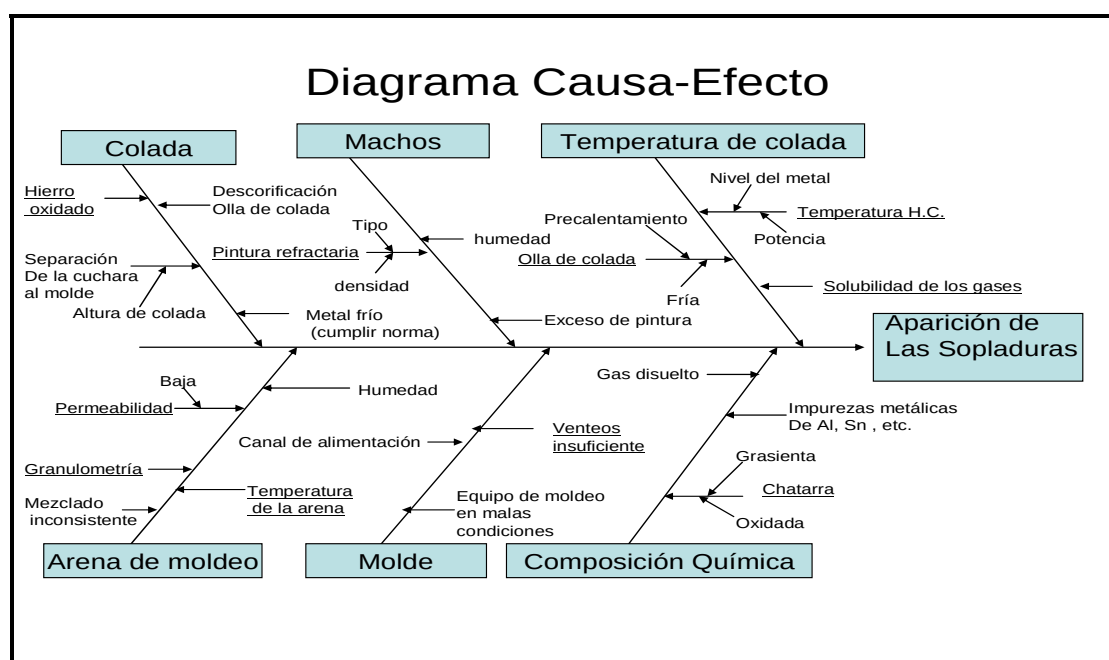


Figura 4. 5 Diagrama causa-efecto de la aparición de las sopladuras.

La figura 4.5, representa el diagrama causa-efecto de la aparición de las sopladuras, donde se observó que existen seis causas principales que pueden influir en la formación de dicho defecto. A su vez existen causas secundarias que afectan a estas, además se puede evidenciar que hay algunas causas que se encuentran subrayadas en el diagrama porque ejercen mayor influencia sobre el defecto.

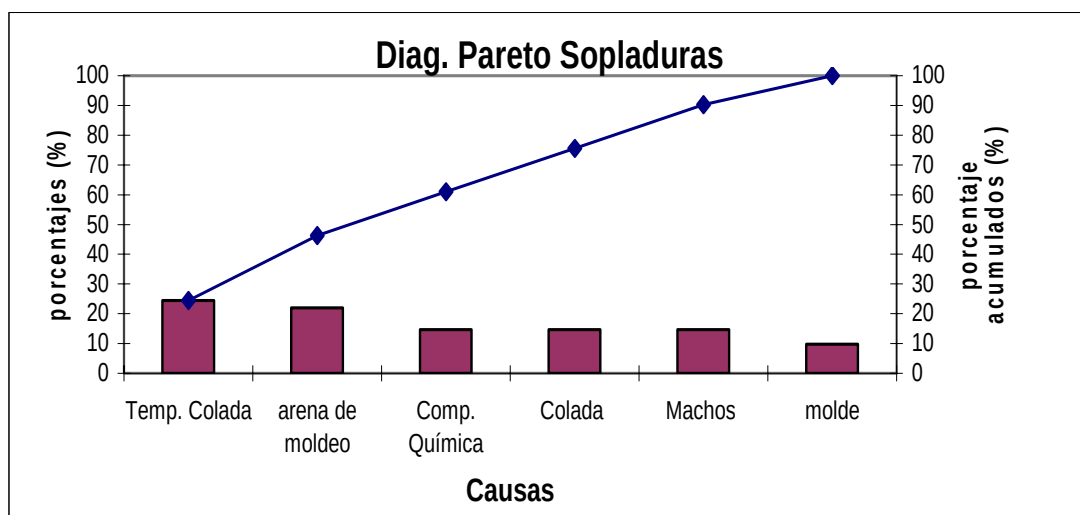


Figura 4. 6 Diagrama de Pareto de la aparición de las sopladuras.

La figura 4.6, representa el diagrama de pareto de las sopladuras, donde se pueden observar los porcentajes de incidencia que tienen las causas antes mencionadas. Donde la temperatura de colada representa el 24,4 % seguido de la arena de moldeo con un 22 %, lo que representa entre las dos un 46,4 % considerándose las causas principales de la formación de este defecto en la Empresa,

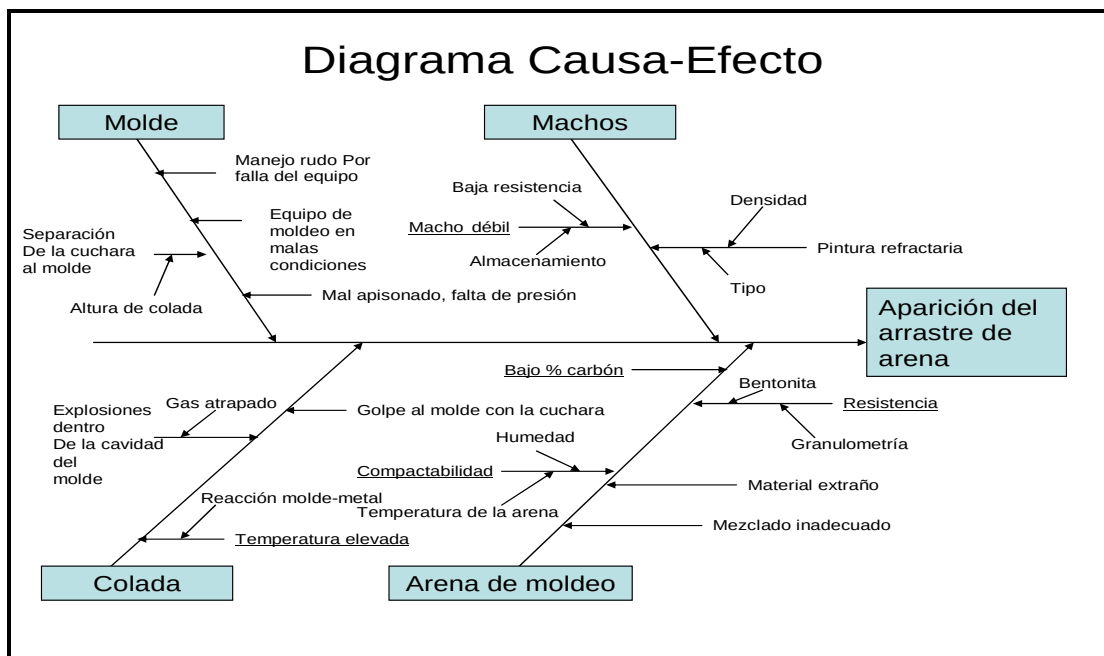


Figura 4. 7 Diagrama causa-efecto de la aparición del arrastre de arena.

La figura 4.7, representa el diagrama causa- efecto de la aparición del arrastre de arena. En esta se observo que existen cuatro causas principales que a su vez también son afectadas por otras causas secundarias, aunque son las misma que afectan en la figura 4.5 sus causas secundarias necesariamente no son las misma y al igual que en el diagrama anterior hay alguna causas que ejercen mayor influencia en la formación de este defecto, por eso se encuentran subrayadas en el diagrama.

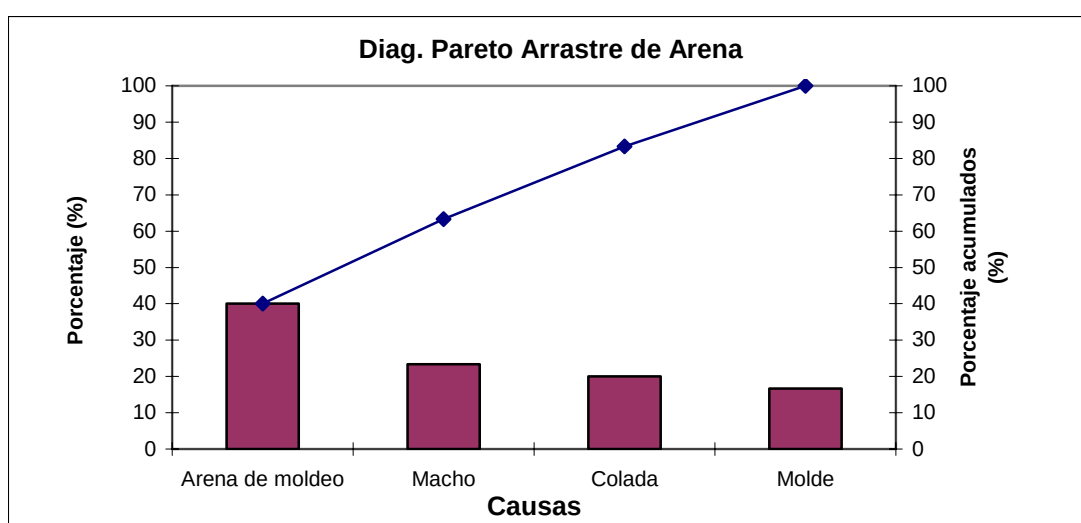


Figura 4. 8 Diagrama de pareto del arrastre de arena.

La figura 4.8, representa el diagrama de pareto del arrastre de arena, donde se observo que la causa que tiene mayor influencia es la arena de moldeo con un porcentaje de incidencia del 40%, considerándose la causa principal de la formación de este defecto en la empresa.

Cabe destacar que los resultados obtenidos en los diagramas de pareto son muy subjetivos debido a que los valores asignados son cualitativos, ya que se calcularon los porcentajes asumiendo desde un punto de vista que todas las causas tenían un valor de un punto excepto aquellas que presentan mayor influencia a la cual se le asigno dos punto. De acuerdo a lo obtenido por los diagramas se hizo un mayor énfasis en la temperatura de colada y la arena de moldeo, sin embargo, no se descarta las otras causas planteadas.

4.3 Determinación de la composición química de la fundición gris

Tabla 4. 6 Porcentaje fuera de especificación de los elementos de la composición química de la fundición gris

Elementos	%C	%Si	%P	%Mn	%S	%Cu	%Cr	%Al	%Sn
Medidas realizadas	46	46	46	46	46	46	46	46	46
Medidas F.E.	2	7	2	3	3	5	6	2	1
% F.E	4,35	15,22	4,35	6,52	6,52	10,87	13,04	4,35	2,17

La tabla 4.6, representa la composición química realizada durante nuestro estudio, se pudo observar que los elementos que constituyen la composición química de la fundición gris presento un comportamiento en la mayoría de los casos dentro de especificación, sin embargo al igual que en las estadísticas hay elementos fuera de ellas tales como el silicio 10.85 %, el cobre 8.69 % y el cromo 8.69 %. Que son los mismos que se encontraron en el análisis estadístico y no ejercen influencia sobre la aparición de las sopladuras y arrastre de arena. Los otros elementos restantes son capaces de producir cavidades por contracción, sin embargo no son objeto de estudio.

4.4 Análisis de las propiedades de la arena de moldeo

Tabla 4. 7 Porcentaje fuera de especificación de las propiedades de la arena de moldeo.

	Porcentaje fuera de especificación de la arena de moldeo						
Propiedades	Compactabilidad	R.C.V.	Permeabilidad	Humedad	Bentonita	Carbón	Temp. Arena
Medidas totales	46	46	46	46	46	46	46
Medidas F.E	2	2	10	9	2	13	20
% F.E.	4,35	4,35	21,74	19,57	4,35	28,26	43,48

La tabla 4.7, representa las propiedades de la arena de moldeo obtenida durante nuestro estudio, observándose que las propiedades que se encuentran fuera de especificación con mas frecuencia son el carbón con 37,84 % por debajo del limite inferior, la temperatura de la arena de moldeo con 43.5 % por encima del limite superior la permeabilidad con 27,03 %, por debajo del límite inferior.

Con respecto al porcentaje fuera de especificación del carbón se puede decir que no hay un estricto control en la adición del mismo al molino, ya que muchas veces no hay carbón en la tolva. La falta de este elemento perjudica a las piezas debido a que se produce la reacción molde-metal permitiendo la penetración del metal y disminuyendo el acabado superficial de las piezas.

Referente a la temperatura de la arena de moldeo los valores se encuentran cerca o mayor al límite superior de trabajo a pesar de que se cuenta con un equipo de enfriamiento para la arena, provocando problemas en el mezclado y además de que no se logre controlar la cantidad de agua requerida durante el mezclado, causando en muchas ocasiones pérdida de humedad o exceso de la misma, a su vez impide propiedades homogénea en la arena entre una molienda y otra.

Con respecto a la permeabilidad se puede observar que se encuentra por debajo del límite inferior las causas probables son debido a la incorporación de los finos al sistema de preparación de la arena por la recirculación de la misma a una humedad excesiva donde los intersticios de los granos son ocupado por el agua o también por un gran apisonado del equipo de moldeo.

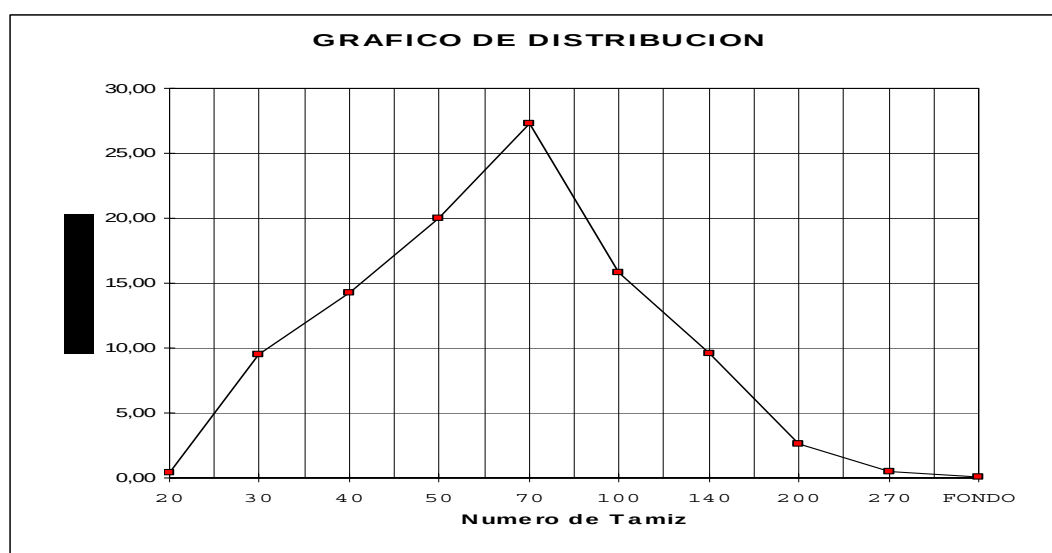
Tabla 4. 8 Análisis granulométrico de la arena de moldeo

MEDIDAS	MALLA	PESO	PESO	PESO	PESO	FACTOR	PRODUCTO
Milímetros		Unitario	Unitario	Acumulado	Acumulado		
		(grs)	(%)	(grs)	(%)		
0,85	20	1,03	0,40	1,03	0,40	10	4,0
0,6	30	24,00	9,48	25,03	9,89	20	189,6
0,425	40	36,13	14,27	61,15	24,16	30	428,1
0,3	50	50,65	20,01	111,80	44,16	40	800,3
0,21	70	69,00	27,26	180,80	71,42	50	1362,8
0,149	100	39,98	15,79	220,78	87,21	70	1105,4
0,104	140	24,30	9,60	245,08	96,81	100	959,9
0,075	200	6,60	2,61	251,68	99,42	140	365,0
0,063	270	1,28	0,50	252,95	99,92	200	100,7
	FONDO	0,20	0,08	253,15	100,00	300	23,7

Tabla 4. 9 Índice de fineza y distribución de la arena de moldeo

PESO DE LA MUESTRA	251.95 gr	PARAMETRO
INDICE DE FINEZA A.F.S.	53.40	44 – 55
INDICE DE DISTRIBUCION:	83.81 %	80 % mín.
TOTAL DE FINOS-MALLA 200	3.19 %	3 % máx.

La tabla 4.8 y 4.9, representan el análisis granulométrico e índice de fineza respectivamente, en el cual se observan los valores obtenidos de la granulometría de la arena de moldeo que se encuentra en el sistema (arena usada). Donde el índice de distribución o fracción mayoritaria es de 83.81 % y el índice de fineza A.F.S es de 53.40 % y la cantidad de finos o fracción fina es de 3.19 %. Tanto el índice de fineza como la fracción mayoritaria se encuentra dentro de rango pero la fracción fina se encuentra levemente por encima, lo que significa que esta arena para este momento puede ser usada para la elaboración de los molde sin embargo las propiedades de la misma se verán afectadas, y una forma de recuperarla es añadir arena nueva.

**Figura 4. 9** Distribución granulométrica de la arena de moldeo

En la figura 4.9 se visualiza la distribución granulométrica de la arena del sistema de moldeo de la Empresa donde se observa que en la malla 70 se encuentra el mayor porcentaje además el comportamiento de la misma es adecuado porque favorece el empaquetamiento de los granos de arena.

4.5 Propiedades de la arena Shell.

Tabla 4. 10 Ensavo de tracción en caliente (arena shell) v Dureza de los machos

242	Rango de trabajo Tracción en caliente: 290 ± 50 (Psi) Dureza de macho: 90 ± 2 (Mpi)	90
245		91
311		89
321		90
320		92
320		91
322		90
300		90
290		89
250		92
260		92
260		91
269		90
256		90
300		88
311		91
311		89
280		90
290		87
290		82
300		91
310		92
320		92
296		90
335		94
299		92
300		90
260		89
310		86
289		86
300		86
280		90
320		91
320		91
300		92
299		93
290		90
298		90
290		95
256		90
256		91
250		92
290		92
290		92
299		89
300		90

Las tabla 4.10, representan los valores referentes a los ensayos de tracción y dureza de los machos elaborados con arena shell. Observando que dichos valores rara vez se encuentran fuera de las especificaciones de la Empresa, y unas de las causas es que el rango utilizado es bastante amplio.

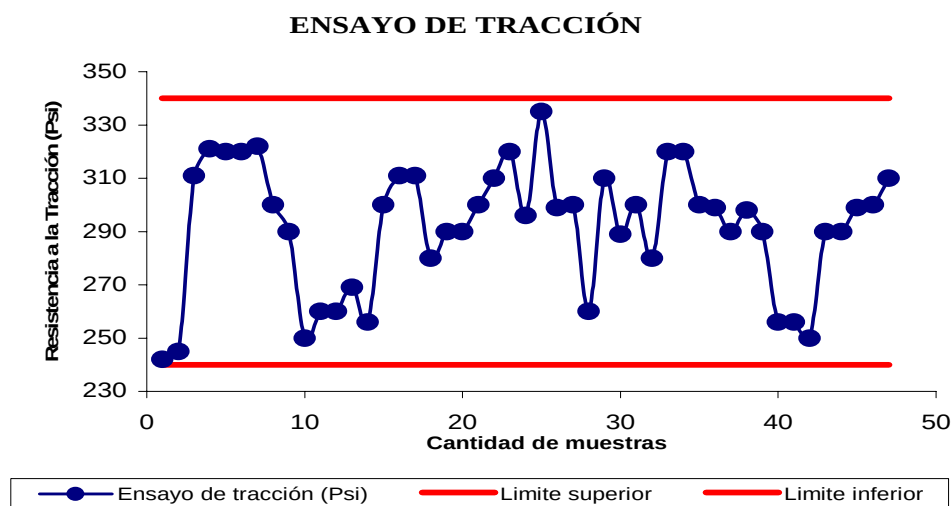


Figura 4. 10 Ensayo de tracción realizado a la arena Shell para la fabricación de machos.

La figura 4.10, representa la resistencia a la tracción en caliente de la arena de shell, observándose que dichos valores representan un comportamiento que no es lineal, pero que se mantiene relativamente estable dentro de su rango de trabajo.

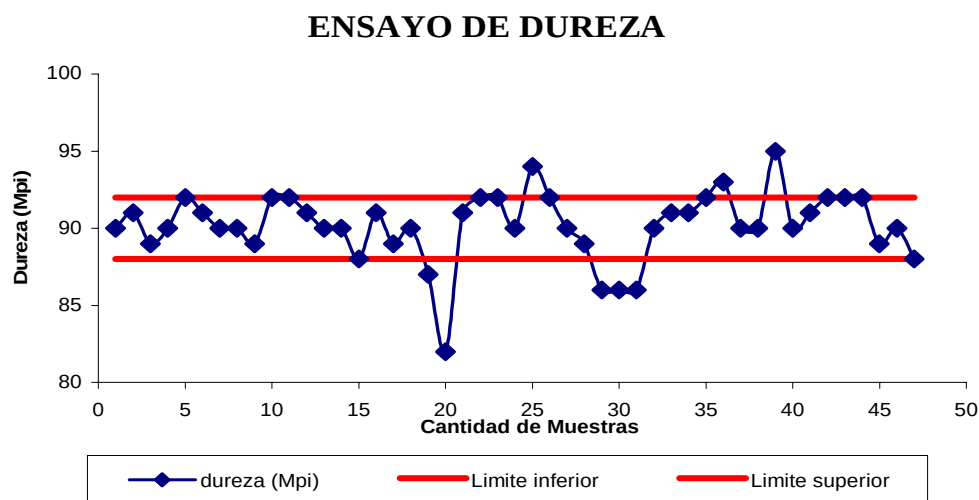


Figura 4. 11 Ensayo de dureza en los machos o noyos.

La figura 4.11, representa la dureza de los macho una vez elaborados. Observándose que estos valores presentan fluctuaciones que varia entre 82 a 95, sin embargo son pocos los valores que se salen fuera de especificación.

Tabla 4. 11: Densidad de la pintura refractaria usada para pintar los machos (Baume)

Densidad (Be°)	Densidad (Be°)	Densidad (Be°)
30	29	31
28	30	30
33	28	30
29	32	31
31	32	28
30	29	33
29	31	30
32	30	30
33	30	30
31	30	31
30	29	30
28	33	30
28	32	31
29	30	28
33	31	33
32	28	--

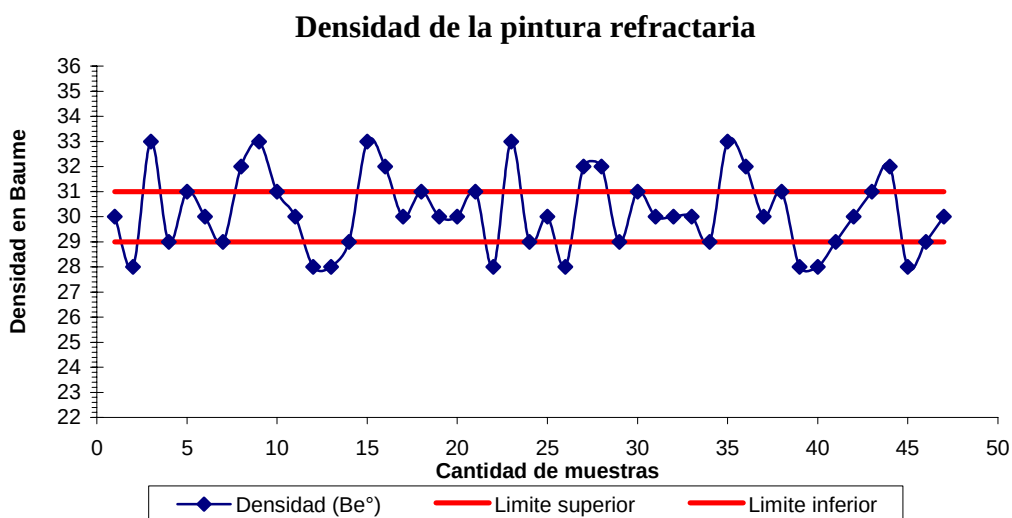


Figura 4. 12 Densidad de la pintura refractaria utilizada para pintar machos o noyos

La tabla 11 y la figura 4.12, se observa el comportamiento de la densidad de la pintura refractaria usada para pintar los machos, y aunque existen fluctuaciones su incidencia no es

grave pero se debe estar claro que si la capa que recubre es menos densa, o sea muy delgada ocasiona mayor interacción entre el macho y el metal. Y en caso de ser muy densa o gruesa la capa de pintura puede afecta la formación de las sopladuras debido a que necesitara mas tiempo de secado para perder la humedad a pesar de que se pase por el horno de secado.

Tabla 4. 12 Porcentajes de humedad de los machos o noyos

Machos sin pintar	Machos pintados y secados	Machos pintados sin secar
0,19	1,22	4,2
0,24	1,33	4
0,15	1,86	3,9
0,14	1,89	5,08
0,23	1,89	4,72
0,19	1,43	4,56
0,09	3,23	4,44
0,14	1,37	3,86
0,09	2,4	3,86
0,14	1,42	3,92
0,1	1,52	4,05
0,13	1,15	4,2
0,14	1,22	3,95
0,1	1,9	5,02
0,09	2,2	5,15
0,1	3,12	4,78
0,12	2,51	4,46
0,18	2,15	4,35
0,15	2,32	3,9
0,18	1,92	5,02
0,12	1,5	5,23
0,22	1,62	3,99
0,21	1,44	4,62
0,2	2,31	4,26
0,17	2,6	4,35
0,1	1,88	4,86
0,12	1,65	4,91
0,15	2,13	5,06
0,2	2,21	3,99
0,21	3,15	3,89

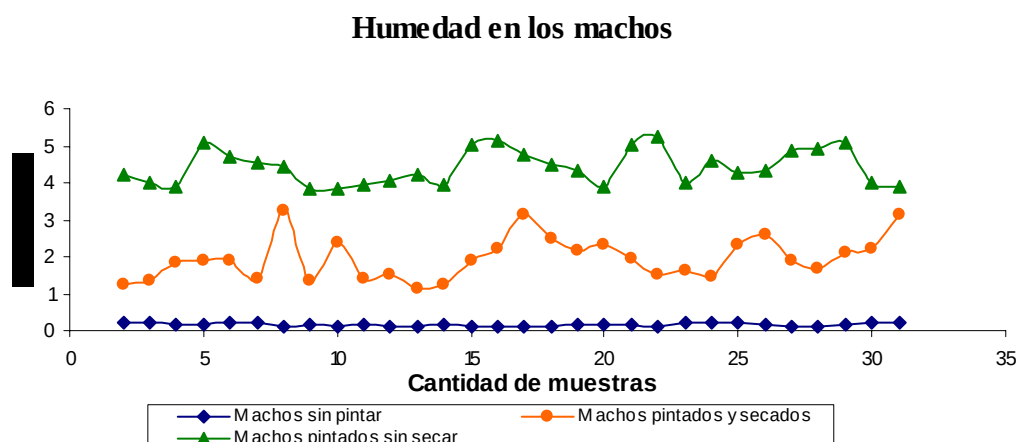


Figura 4. 13 Determinación de la humedad de los machos o noyos.

La tabla 4.12 y el figura 4.13, representan la humedad presente en los machos en tres condiciones diferentes, observando que los noyos sin pintar tienen una humedad promedio de 0.15 %, los machos pintados a densidad de 30 Baume y secados 1.95 % y los pintados sin secar 4.42%. Los machos sin pintar a pesar de que tienen una baja humedad no se pueden usar directamente debido a los defectos que produciría la interacción de la arena del macho con el metal. Quedando las otras dos condiciones que evidencia la necesidad de que la pintura seque bien a fin de evitar que la humedad sea transformada en vapor y quede atrapada durante la colada

4.6 Medición de la temperatura

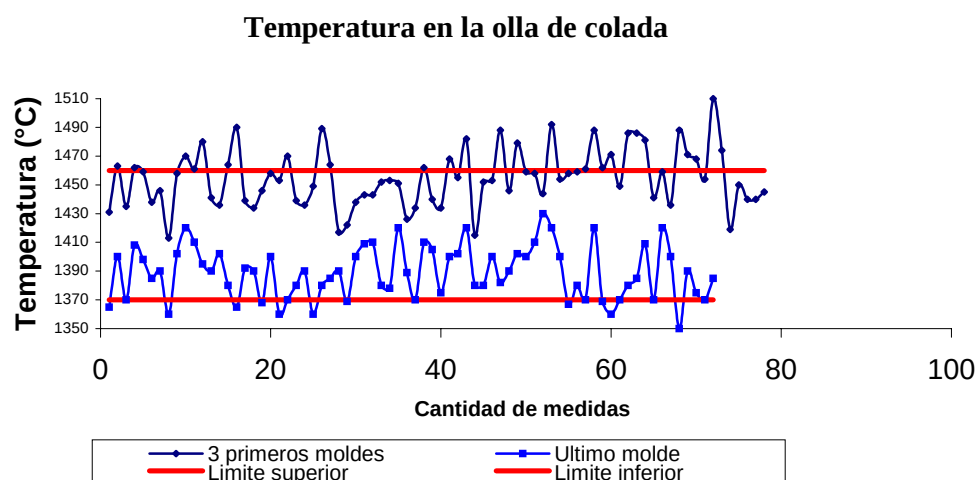


Figura 4. 14 Comportamiento de la temperatura en la olla de colada durante el vaciado

La figura 4.14, representa el comportamiento de la temperatura en la olla de colada para los tres primeros molde como para el último molde. Aquí se pudo observar que las temperaturas no cumplen con los rangos de trabajo y generalmente se encuentran por encima, debido al difícil control de las variables que influyen en esta operación. Entre estas se encuentra la temperatura con que viene del horno crisol .y los parámetros de trabajo del horno de mantenimiento (potencia, nivel del horno, etc.) que generalmente aumenta la temperatura por encima del límite superior; además la olla de colada también ejerce influencia sobre la temperatura, ya que la disminuye si el precalentamiento de la misma no es efectivo. Por otra parte, la Empresa usa un método para reducir la temperatura de colada que consiste en agregar discos rechazados. El cual no tiene un procedimiento adecuado que indique la pérdida de grados centígrados por disco agregado.

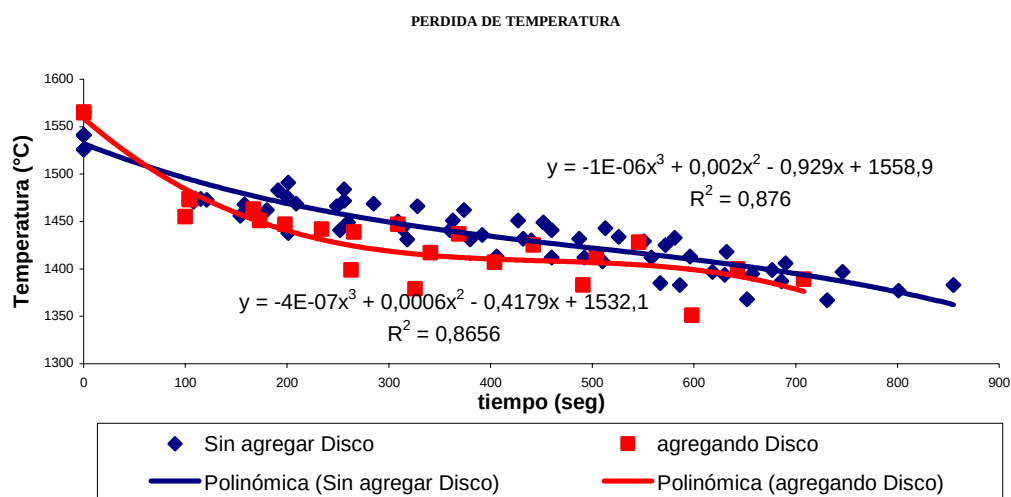


Figura 4. 15 Comportamiento de la pérdida de temperatura desde el horno de mantenimiento hasta el último molde colado.

En la figura 4.15, se observa el comportamiento de pérdida de temperatura desde el horno de mantenimiento hasta el último molde colado, comparando la temperatura cuando se adiciona disco a la olla y cuando no se le agrega. Se puede observar que la olla a la cual no se le adiciona disco reduce su temperatura más lentamente que la otra. Este comportamiento ocurre en pocas ocasiones, sobre todo cuando el nivel del horno de mantenimiento es máximo y se tiene una potencia adecuada, pero al disminuir el nivel del horno ocasiona que la temperatura se eleve debido a que hay menor masa con la misma potencia dando como consecuencia el segundo comportamiento

4.7 Comparación de la temperatura y la Compactabilidad

Tabla 4. 13: Ensayos adicionales de compactabilidad Vs temperatura de la arena.

Compactabilidad	Temp. Arena	Compactabilidad	Temp. Arena	Compactabilidad	Temp. Arena
39	42	38	48	37	46
46	42	55	45	34	45,1
42	43	50	43	44	49,8
46	42	50	44	43	47,2
45	42,6	45	43	49	47,6
46	43	50	44	50	46,5
49	42,8	43	43	46	50,5
49	42,9	52	43,1	45	46,7
45	43	44	42,8	43	47,6
47	42,6	45	43	38	48,3
41	42,5	44	46,6	30	53,8
43	42,3	48	44,1	38	51
44	42	47	44,8	35	50
48	44	50	46,7	41	47,5
47	43,5	43	43	51	47,9
52	42,9	44	45,6	50	46
51	44,3	44	46	49	45
49	44,5	49	45	50	44,5
46	44,3	51	43	47	44,2
45	44,6	48	45,8	49	42,8
50	44	38	45,7	42	44,8
52	44	43	45,3	41	45
38	44,5	50	43	47	43,8
43	43	43	43	42	46,3
40	42	48	43	40	48,1
48	44	42	45,5	49	45,3
40	43,2	37	47	46	43,6
49	43	40	44	48	44
41	42	46	44,6	47	45,2
44	43,2	44	45,5	42	43,5
42	43,6	44	46,1	38	48
46	44,8	53	47,4	48	44
55	45	48	45	43	46
46	44	47	44,2	53	46,2
51	45	44	44,2	44	46,5
40	44	43	44,5	45	47
38	45	42	46,2	42	47,9
50	44,5	42	46	47	45
44	42,5	42	44,2	46	44
47	44	42	45,9	49	45
47	43,6	40	46	50	43,1
42	43,5	50	44	46	44,6
38	44,2	45	44,5	37	45,5
41	43	45	46,2	49	48,4
40	42	49	46,7	44	44,5
44	42	40	45,6	43	44
48	44	44	46	42	43
54	45	45	47,6	44	43,5
42	47,6	39	45,3	47	44
40	50,1	44	46	39	43,5
36	49,6	42	45,4	44	44
40	48,9	41	44,6	47	45,5
41	47,8	45	48	37	47
42	47	40	51,2	41	45,7
41	48,5	40	47,7		

Por ultimo la tabla 4.13, representa ensayos adicionales realizados a la arena de moldeo, buscando la mejora en el mezclado, aumentando el tiempo de molienda y además se trabajo con la compactabilidad por encima de su límite superior. Esta iniciativa se tomo con la finalidad de disminuir la incidencia del arrastre de arena en la pieza colada, ya que durante el recorrido desde el molino hasta la Disamatic se reduce propiedades como la humedad, resistencia y compactabilidad. Con esta prueba se obtuvo buenos resultados en las piezas coladas porque mejoro el acabado superficial y disminuyo la incidencia del arrastre de arena. Cabe destacar que la temperatura de la arena influye mucho en la formación de los defectos estudiados “A temperatura por encima de 49 °C la arena de moldeo pierde consistencia durante el mezclado provocando una perdida constante de la compactabilidad”¹

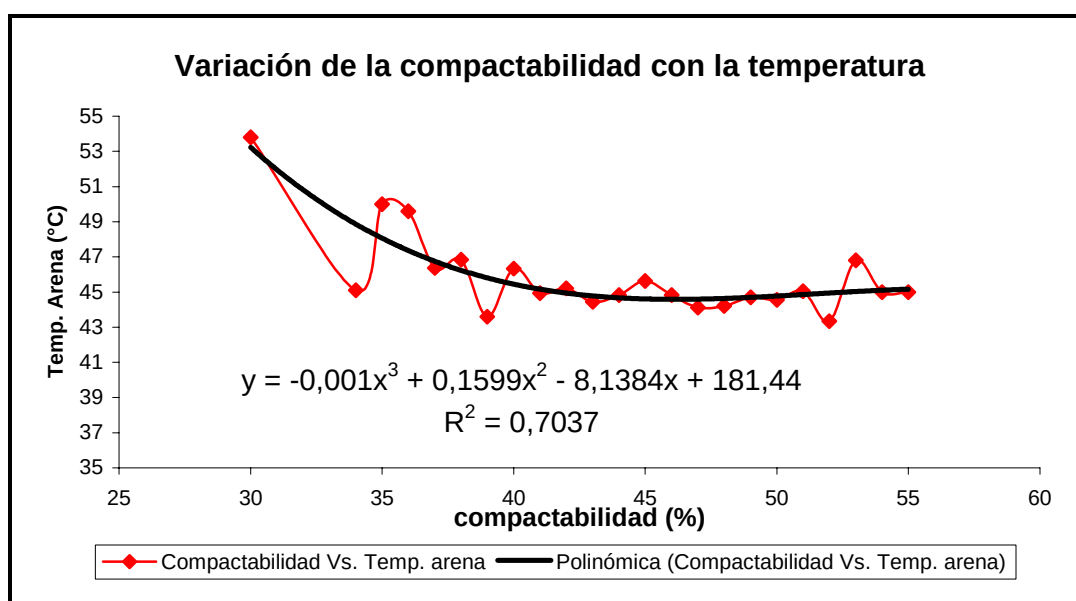


Figura 4. 16 Variación de la compactabilidad con la temperatura de la arena.

La figura 4.16, que representa la variación de la Compactabilidad con la temperatura de la arena se puede apreciar que este comportamiento es variable. Observándose que mientras la temperatura de la arena aumenta la Compactabilidad disminuye y viceversa. Esto es debido a que la arena que recircula no se le esta removiendo su energía calorica adsorbida durante

el vaciado lo suficiente, lo que ocasiona que aumente la temperatura de la arena. Esto ocurre porque el equipo enfriamiento (Multi cooler) no esta cumpliendo sus funciones.

CAPITULO V. CONCLUSIONES

1. Los defectos de sopladuras y arrastre de arena son los que tienen mayor incidencia en la empresa, como se determino a través de los registros estadísticos y la inspección realizada a las zonas de rechazos.
2. La temperatura de colada y la arena de moldeo con 46.4 % representan las causas principales en la formación de sopladuras vista en el diagrama de pareto y solo la arena de moldeo representa el 40 % de incidencia en el arrastre de arena.
3. Los elementos de la composición química se encuentran fuera de especificación, sin embargo no se encontró la manera de relacionarlo con los defectos estudiados.
4. Las propiedades de la arena de moldeo representa una de las causas principales de la formación de los defectos estudiados, debido al descontrol de las misma siendo la temperatura de la arena la mas problemática.
5. Las características de la arena shell tiene un comportamiento regular, sin embargo la humedad debe ser considerada al realizar la colada porque influyen en la formación de las sopladuras.
6. la temperatura de colada es otra de la causas principal en la formación de las sopladuras debido al descontrol de la misma. El método de control no es muy confiable porque no se tiene relación entre la temperatura perdida en grados centígrados con los discos agregados.
7. La perdida de temperatura no es lineal como se maneja en la empresa, más bien depende del tiempo transcurrido y de cuan homogéneo sea la temperatura del baño.

8. El aumento de la temperatura de la arena provoca una pérdida constante en la compactabilidad y en algunos casos pérdida en el control del sistema de preparación de la arena en el molino.

RECOMENDACIONES

Realizar un manual de control de calidad donde se identifique los defectos que afectan y dársele a conocer a las personas encargadas de rechazar las piezas con la finalidad de conocer con certeza cual defecto es.

Instalar un dispositivo de medición de la temperatura en la olla de colada que no dependa del procesista, y que además avise cuando la temperatura se encuentra fuera de los límites de trabajo.

Mejorar la molienda en la preparación de la arena de moldeo, pre-mezclando primero la arena sílice con los aditivo y luego mezclar con el agua. Para garantizar que la bentonita cubra todos los granos de arena, con la finalidad de mejorar las propiedades aglomerante y en consecuencia las propiedades de la arena.

Optimizar los parámetros del equipo de enfriamiento (Multi-Cooler) para que el enfriamiento de la arena de moldeo sea mas efectivo.

Dictarles curso al personal que labora en planta para que conozcan mejor el proceso y se familiaricen más con la empresa, esto con la finalidad de que haya mas comunicación y entre todos puedan solucionar cualquier problemas que se presente en especial el scrap.

Realizar pruebas a las variables del proceso, una por una, con la finalidad de saber si lo que se realiza o modifica genera buenos resultados, además de realizar un seguimiento apropiado a las pruebas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Schumacher, Green, y otros. (1974-1975). "Porqué la arena caliente causa problemas", Parte 1 y 2, AFS Transactions, [Revista en línea] Disponible: <http://www.moderncasting.com/archive/MCAdRedir.asp?url> [Consulta: 2004, Julio 7]
2. Schumacher J.S., (1983) "El problema de las arenas calientes", AFS Transactions, [Revista en línea] Disponible: http://www.conveyordynamicscorp.com/&image=/images/ads/didion_ad.gif [Consulta: 2004, Julio 7]
3. Morillo y Machado, (1993) "Optimización del balance de premezclado y variables del molino de la línea de moldeo para piezas automotrices de S.H. FUNDICIONES C.A." [Resumen en línea] , Tesis, Universidad Central de Venezuela [Consulta: 2004, Julio 20]
4. Howard T. (1962) Fundición para Ingenieros, 2^{da} ed. México: Compañía editorial Continental, S.A , Pág. 27-61.
5. http://www.infoacero.cl/print/p_hornos.htm
6. Apraiz J. (1986) Fundiciones, 3^{ra} ed. España: Editorial Dossat, S.A., Pág. 32-34; 58-59.
7. Howard E. (1962) Tratado Práctico de Fundición, Madrid: Editorial Aguilar, Pág. 217-223.
8. <http://www.metal-technologies.com/gray.asp>

9. <http://www.metal-technologies.com/disa.asp>
10. Vansberr, I. (1978) Automatización del proceso de moldeo mediante el sistema de moldeo vertical sin caja, de alta presión. Disponible: [Memorias del primer seminario andino de fundición ferrosa], Pág. 170
11. Anselman, G. y otros (1972), Manual de Defectos de La Fundición, American Foundrymen's Society, Inc., U.S.A. Pág. 33-40; 55-67.
12. <http://www.afsinc.org/>

APENDICE A

A.1. Composición química de la fundición gris

%C	%Si	%P	%Mn	%S	%Cu	%Cr	%Al	%Sn
3,39	2,25	0,09	0,45	0,08	0,23	0,15	0,01	0,1
3,4	2,28	0,07	0,45	0,085	0,25	0,16	0,009	0,009
3,42	2,2	0,069	0,46	0,07	0,28	0,13	0,09	0,12
3,44	2,26	0,1	0,48	0,1	0,2	0,1	0,009	0,01
3,4	2,3	0,085	0,46	0,14	0,29	0,15	0,08	0,015
3,38	2,27	0,1	0,5	0,09	0,24	0,17	0,01	0,018
3,43	2,25	0,09	0,45	0,1	0,22	0,15	0,01	0,1
3,44	2,2	0,1	0,46	0,09	0,25	0,18	0,01	0,13
3,45	2,30	0,1	0,45	0,094	0,32	0,2	0,008	0,1
3,4	2,29	0,08	0,47	0,08	0,28	0,17	0,008	0,011
3,46	2,35	0,1	0,46	0,09	0,3	0,14	0,009	0,008
3,41	2,25	0,06	0,47	0,1	0,31	0,09	0,09	0,013
3,39	2,3	0,07	0,45	0,12	0,2	0,12	0,007	0,008
3,42	2,38	0,1	0,45	0,15	0,24	0,11	0,015	0,12
3,44	2,25	0,1	0,44	0,07	0,15	0,23	0,005	0,11
3,39	2,25	0,09	0,45	0,09	0,11	0,1	0,01	0,1
3,42	2,40	0,08	0,46	0,07	0,22	0,09	0,09	0,11
3,4	2,15	0,09	0,47	0,09	0,1	0,23	0,007	0,09
3,45	2,35	0,07	0,43	0,1	0,25	0,17	0,0006	0,008
3,42	2,3	0,1	0,46	0,12	0,32	0,15	0,0005	0,12
3,46	2,28	0,09	0,45	0,13	0,26	0,2	0,012	0,001
3,38	2,27	0,12	0,46	0,094	0,24	0,14	0,01	0,007
3,36	2,2	0,08	0,5	0,075	0,2	0,1	0,009	0,1
3,46	2,22	0,15	0,53	0,086	0,33	0,15	0,01	0,12
3,44	2,3	0,1	0,49	0,1	0,22	0,21	0,0009	0,11
3,38	2,4	0,08	0,47	0,08	0,15	0,12	0,0006	0,012
3,35	2,2	0,1	0,45	0,09	0,29	0,15	0,009	0,12
3,48	2,3	0,08	0,43	0,11	0,13	0,19	0,01	0,08
3,39	2,25	0,07	0,46	0,08	0,25	0,11	0,009	0,12
3,38	2,26	0,1	0,5	0,09	0,32	0,15	0,008	0,11
3,44	2,3	0,069	0,48	0,1	0,26	0,09	0,006	0,009
3,38	2,2	0,09	0,45	0,12	0,29	0,1	0,01	0,006
3,4	2,3	0,085	0,45	0,085	0,18	0,13	0,009	0,1
3,4	2,35	0,1	0,46	0,09	0,15	0,12	0,01	0,10
3,45	2,25	0,1	0,46	0,1	0,12	0,14	0,007	0,008
3,38	2,2	0,08	0,45	0,06	0,13	0,10	0,005	0,08
3,46	2,23	0,08	0,46	0,07	0,09	0,10	0,01	0,06
3,48	2,29	0,1	0,51	0,09	0,24	0,11	0,006	0,05
3,41	2,21	0,1	0,45	0,08	0,25	0,15	0,009	0,09
3,45	2,3	0,09	0,46	0,069	0,25	0,13	0,009	0,06
3,42	2,23	0,08	0,46	0,01	0,3	0,11	0,06	0,012
3,39	2,2	0,1	0,45	0,12	0,19	0,09	0,01	0,013
3,46	2,26	0,083	0,47	0,11	0,14	0,09	0,01	0,12
3,45	2,21	0,09	0,45	0,09	0,3	0,12	0,009	0,09
3,35	2,20	0,09	0,47	0,09	0,2	0,1	0,008	0,1
3,46	2,39	0,1	0,46	0,1	0,25	0,08	0,006	0,012

A.2 Propiedades de la arena de moldeo.

Compactabilidad	R.C.V.	Permeabilidad	Humedad	Bentonita	Carbón	Temp. Arena
38	24,2	98	3,6	11,05	3,15	38,4
42	21,8	123	4,1	11,7	3,12	39,6
40	23,2	97	3,6	11,03	2,8	41,2
44	21,6	114	3,6	11,25	2,6	42,3
40	25,6	98	4	12,39	2,5	47
37	23	86	3,9	12,38	2,78	49,2
41	25	94	4,1	11,7	2,9	43,4
39	24,8	85	3,6	11,27	2,53	48,4
40	24,2	98	4,2	11,72	2,46	40,6
44	23	101	3,8	11,26	2,56	43,4
40	22,2	111	3,7	11,65	2,99	48
40	23,6	94	3,8	11,57	3,05	47
41	21,6	96	4,2	11,47	3,15	38
39	26	83	3,4	10,8	3,06	47,5
38	24,4	75	3,8	12	2,65	48,5
42	24,6	93	4,1	11,42	3,21	38
36	26	89	3,5	11,5	2,9	48
39	26	88	3,4	11,49	2,4	47,5
40	24	90	3,8	11,32	2,8	43,2
41	22	90	3,7	11,6	3	42
39	24	86	3,6	11,06	2,5	47
41	26	86	3,4	10,9	2,09	46
40	24	90	3,8	11,52	2,7	43,5
43	23	93	4,1	11,42	3,05	40
40	24	96	3,8	11,26	2,5	44
39	25	90	3,7	11,68	2,45	47
39	27	86	3,4	1,8	2,6	47,5
40	24	93	3,9	11,56	2,8	45
38	26	90	3,6	11,46	2,92	49
41	23	92	3,8	11,02	2,76	43
39	26	90	3,8	11	3,05	48
43	22,4	99	4,1	11,56	3,26	46
41	23	98	3,8	11,7	3,4	45
38	27	85	3,3	11	2,95	48
37	26	91	3,5	11,05	3,04	49
39	26	88	3,5	11,86	3,21	46
40	24	98	3,9	11,7	2,98	47
38	26	90	3,7	11,6	3,15	43
39	25	90	3,6	11,48	2,56	45
38	27	87	3,4	11,4	3,25	50,1
40	23	95	3,9	11,39	3,65	48
42	24	96	4,1	11,5	3,24	43
41	24	94	4	11,36	2,98	43
40	23	90	3,8	11,8	2,78	42
42	24	92	3,9	11,75	2,56	42
38	26	90	3,6	11,45	3,28	50

A.3 Comportamiento de la temperatura en la olla de colada.

Temp. 3 primeros moldes	Temp. Último molde	Observación	Temp. 3 primeros moldes	Temp. Último molde	Observación
1431	1365		1434	1370	
1463	1400		1468	1410	
1435	1370		1455	1405	
1462	1408		1482	-	1 disco
1459	1398		1415	1375	Después de agregar el disco
1438	1385		1452	1400	
1446	1390		1453	1402	
1413	1360		1488	1420	Agrego 1 disco
1458	1402		1446	1380	1 disco sin medir
1470	1420	No agrego disco	1479	-	1 disk
1461	1410		1459	1380	Después de agregar el disco
1480	-	Agrego 1 disco	1458	1400	
1441	1395	Después de agregar el disco	1444	1382	2 disk olla de transferencia
1436	1390	agrego 1 disco antes de colar	1492	-	2 disk olla de transferencia + 1 disco olla de colada
1464	1402		1454	1390	Después de agregar 3 discos
1490	-	Agrego 2 discos	1458	1402	Agrego 1 disco
1439	1380	Después de agregar 2 discos	1459	1400	
1434	1365	1 disco olla d transferencia + 1 disco olla de colada	1461	1410	
1446	1392		1488	1430	No agrego disco
1458	1390	1 disco olla d transferencia + 1 olla d colada	1462	1420	
1453	1368	Agrego 2 discos	1471	1400	Agrego 1 disco
1470	1400	Agrego 1 disco	1449	1367	
1439	1360	1 disco antes de medir	1486	1380	Agrego 2 discos
1436	1370		1486	1370	Agrego 2 discos
1449	1380		1481	1420	No agrego disco
1489	-	Agrego 2 disco	1441	1369	
1464	1390	Agrego 1 disco mas	1459	1360	2 discos
1417	1360		1436	1370	
1422	1380	1 disco antes de medir	1488	1380	2 discos
1438	1385	1 disco antes de medir	1471	1385	1 disco
1443	1390		1468	1409	no agrego disco disamatic con problema
1443	1369	Disamatic 1 lenta	1454	1370	Agrego 1 disco antes de medir
1452	1400		1510	1420	Agrego 2 discos
1453	1409		1474	1400	Agrego 2 discos
1451	1410		1419	1350	
1426	1380		1450	1390	
1434	1378		1440	1375	
1462	1420		1440	1370	
1440	1389		1445	1385	

A.4 Desviación Estandar de la composición química de la fundición gris

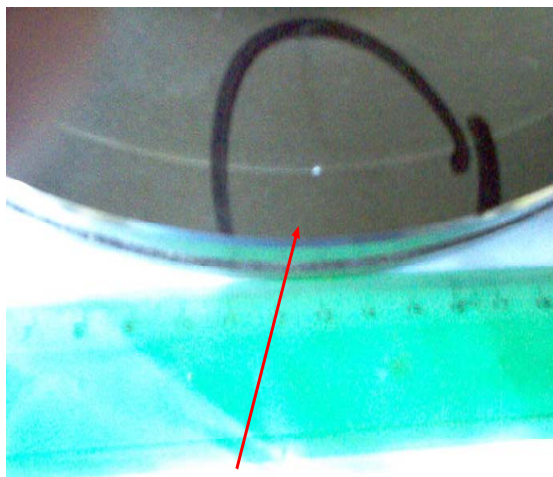
COMPOSICION QUIMICA DE LA FUNDICION GRIS									
Elementos	%C	%Si	%P	%Mn	%S	%Cu	%Cr	%Al	%Sn
Desviación Stándar	0,03	0,06	0,02	0,02	0,02	0,07	0,04	0,02	0,05

A.5 Desviación Estandar de las propiedades de la arena de moldeo en verde

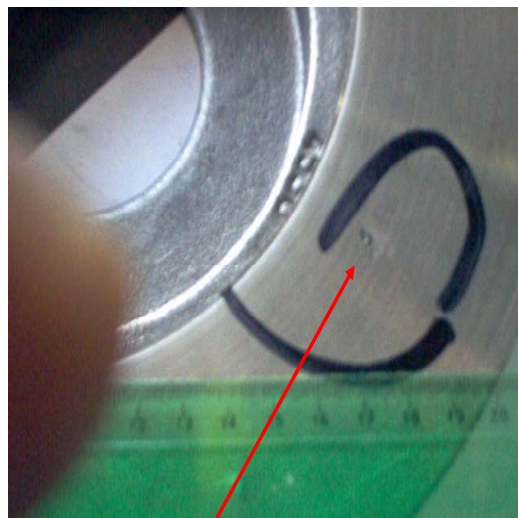
Propiedades de la arena de moldeo							
Propiedades	Compactabilidad	R.C.V.	Permeabilidad	Humedad	Bentonita	Carbón	Temp. Arena
Desviación estandar	1,78	1,52	8,18	0,25	1,50	0,31	3,20

APENDICE B

Defectos estudiados.



Arrastre de Arena

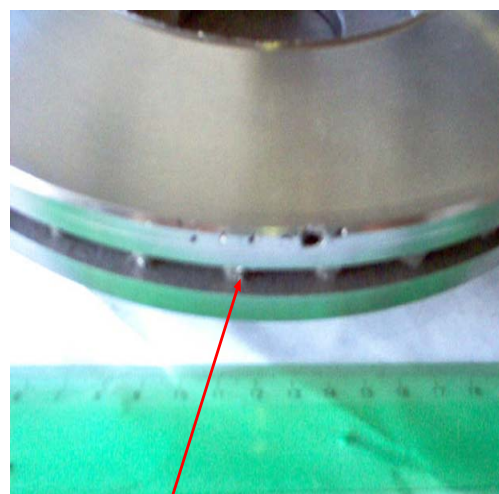


Arrastre de Arena

Figura B.1: Ubicación del arrastre de arena en los discos de freno



Sopladuras



Sopladuras

Figura B.2: Ubicación de las sopladuras en los discos de frenos

APENDICE C

C.1 Área de Noyería.

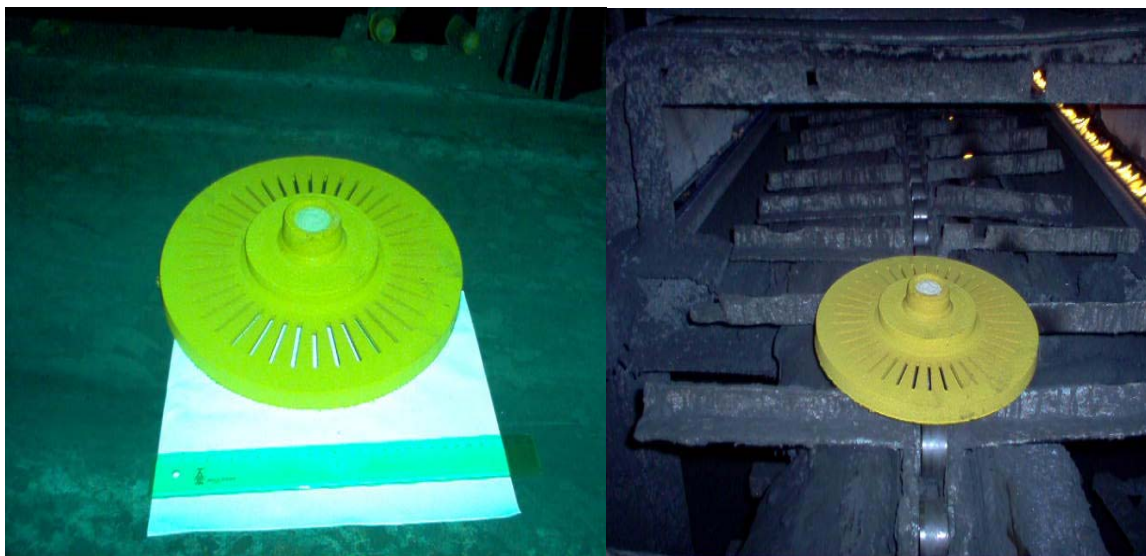


Figura C.1 Noyos y horno utilizado para el secado de los noyos

C.2 Area de moldeo y colada

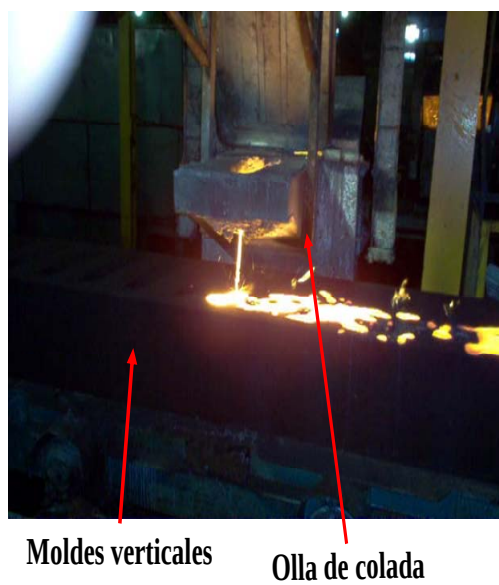


Figura C.2: Vaciado del metal en el molde

ANEXO

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Arcilla: Es un complemento formado por suelo sedimentario de buena refractariedad

Área de frenado: es la superficie del disco o tambor sobre la cual las pastillas ejercen la acción de frenado.

Arena de Moldeo en Verde: Es una mezcla que esta compuesta de arena de sílice, carbón, bentonita, y agua en la cual se obtienen excelentes propiedades físicas y mecánicas.

Arena usada: es aquella arena que interviene en el proceso de fabricación, mediante la denominación de molde, esta arena es recuperada a través de un sistema de bandas transportadoras.

Bentonita efectiva: es un aglutinante que tiene como función darle a la arena de moldeo una mayor resistencia.

Bentonita Sódica: Es un aglutinante, el cual proporciona a la arena mayor resistencia y permeabilidad

Colada: el término colada puede ser empleado para definir tanto la operación de extracción del metal del horno, como para definir la cantidad de fundición gris de composición química homogénea, obtenida mediante el vaciado parcial o total de un horno.

Defectos: son imperfecciones que presentan las piezas.

Discos para frenos: es el componente del sistema de frenos del vehículo automotor de forma circular, empleados para ejercer un esfuerzo de fricción en una superficie móvil, con el fin de reducir su marcha o llevarla al estado de reposo. La acción de frenado es realizada por medio de zapata (pastilla de freno)

Ensayo de compactabilidad: consiste en añadir la arena en verde en un tubo probetero para luego apisonarla con ayuda de un mazo de acero y un vástago, el cual es dejado caer 3 veces, para posteriormente leer el valor en la parte superior del vástago.

Ensayo de la resistencia de la compresión en verde: consiste en aplicar una presión homogénea en todo el área de una probeta cilíndrica compactada, en donde el resultado se ve expresado en unidades de Psi.

Fundición gris: es una aleación de hierro, carbono y silicio, en la cual la mayor parte del carbono se encuentra libre, formando laminas de grafito, incorporadas a una matriz ferrítica o perlítica.

Granulometría: Consiste en determinar porcentualmente la distribución y el tamaño de una muestra con forma física granular.

Permeabilidad: Propiedad que posee un cuerpo de permitir el paso de los gases a través de su estructura.

Porosidad: Es producida por el vapor o gas que atraviesa el metal líquido, aparece como pequeños agujeros y que se observa al maquinar las piezas.

R.C.V.: Es la cualidad que tiene la arena moldeada de soportar cierta cantidad de presión sin desmoronarse.

Scrap: piezas rechazadas por presentar algún defecto.

Sistema de frenos: es el mecanismo de conversión energética que permite, mediante la acción de fricción, detener un vehículo, regular su marcha o mantenerlo frenado en condiciones de estacionamiento.

Sopladuras: Son cavidades redondas, producidas por la generación o acumulación de gases o aire encerrado durante el proceso de solidificación de la pieza moldeada. Pueden presentarse como una depresión lisa y uniforme sobre los lados o en la parte superior de la pieza.

Tambor de freno. Este tipo de sistema de frenado esta constituido por cilindro de escasa altura, en el interior de los cuales dos patines (zapatas), accionados por medio de mecanismos hidráulicos, ejerce la acción de frenado.

Tamizador: Es un aparato de ensayo que consta de una gama de cerdas las cuales se encuentran ordenadas de una forma decreciente vibrado con el fin de que las partículas de la muestra descienda y sean pesadas para posteriores cálculos.