

ELIMINACION DE GASES EN EL CANAL DE ALIMENTACION PARA LA FABRICACION DE BOLA DE 3"

Ángel Josué Agreda Sanguinetti . Unidad Producción Bolas, Metalúrgica Peruana S.A

RESUMEN

La Unidad de Producción Bolas recibe el acero líquido del área de Acería en cucharas, luego el acero es vaciado a la tornamesa donde ocurrirá la solidificación de los racimos de bolas de 3", la tornamesa consta de 40 brazos, en cada brazo se obtienen 2 racimos de bolas haciendo un total de 80 racimos de bolas por una vuelta que da la tornamesa. Por lo que se considera que es una línea de alta producción ya que opera las 24 horas del día.

Se evalúa primeramente el estado interior de una bola de 3" para determinar si el defecto es producido por rechupe, una vez descartada ésta posibilidad, se realizaron 3 pruebas experimentales de manera artesanal, que consistió en modificar el sistema de alimentación de las almas de arena para bolas de 3". En la primera modificación del alma, la alimentación es por el fondo y por el lado lateral del molde; en la segunda modificación del sistema de alimentación, se aislaron las bolas de la parte superior; y en la tercera y última modificación del sistema de alimentación de bolas de 3" se continuó aislando las bolas de la parte superior, además se hizo un sistema de alimentación central con 2 salidas inclinadas para los dos alimentadores.

En cada prueba realizada se inspeccionó visualmente los muñecos y se inspeccionó las bolas. En el área de bolas el sistema de alimentación luego de solidificar recibe el nombre de "muñecos". Además se tomaron placas radiográficas para evaluar el estado final de las bolas, y evaluar el comportamiento de los alimentadores.

Palabras claves: racimos de bolas, rechupe, almas de arena, placas radiográficas, sistema de alimentación, tornamesa.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	1
2.1 Consideraciones previas.	
2.2 Sistema de alimentación.	
2.3 Principios de mecánica de fluidos.	
2.3.1 La ley de continuidad.	
2.3.2 Principio de Bernoulli.	
2.3.3 Ecuación de Torricelli.	
2.4 Número de Reynolds.	
2.5 Tipos de flujo.	
2.6 Capa límite.	
2.7 Radiografía de metales:	
3. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	4
3.1 Primera prueba.	
3.2 Segunda prueba.	
3.3 Tercera prueba.	
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	7
4.1 Primer análisis.	
4.2 Segundo análisis.	
4.3 Tercer análisis.	
4.4 Primer resultado.	
4.5 Segundo resultado.	
5. CONCLUSIONES.....	10
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	10
7. ANEXOS.....	11

1. INTRODUCCIÓN

En la fabricación de bolas fundidas uno de los problemas más relevantes son “los defectos internos”, y el gas atrapado es el problema más grande en las bolas fundidas de mayor diámetro. Por muchos años en la empresa Metalúrgica Peruana S.A, en la Unidad de Producción Bolas se ha utilizado un sistema de alimentación por la parte superior, el cual se acomoda a las condiciones de producción continua de la Tornamesa, pero en todo ese tiempo se han venido generando problemas de gas atrapado en las bolas fundidas.

Debido a este antecedente y realidad persistente, la Unidad de Producción Bolas se ve en la necesidad de realizar algunas pruebas experimentales modificando el sistema de alimentación en las almas de bolas de 3”, teniendo como objetivo eliminar la turbulencia generada en la alimentación, la cual provoca la formación de gases atrapados en el interior de las bolas. Logrando este objetivo se obtendrían bolas fundidas de buena calidad, lo que queremos decir es que se obtendrían bolas sólidamente compactas.

Antes de realizar las pruebas experimentales en la línea de producción continua, se tuvieron ciertas consideraciones como: no alterar la producción (comportamiento en todas las etapas de la línea productiva), no alterar el porcentaje de eficiencia de producción de la bola de 3”, no alterar la ergonomía del trabajador, y mantener constantes los costos de producción.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Consideraciones previas

Cuando los metales puros ó aleaciones solidifican dentro de la cavidad del molde, lo hacen formando una piel sólida que progresa hacia adentro hasta que toda la pieza este sólida. Los metales y aleaciones fundidas (a excepción del Bi y la fundición gris) se contraen en tres diferentes etapas, pasan por una contracción líquida al enfriarse desde la temperatura de colada a la de solidificación; por una contracción de solidificación al solidificarse; y por una contracción sólida al enfriarse la pieza ya sólida hasta la temperatura ambiente.

2.2 Sistema de alimentación

El sistema de alimentación comprende todos los canales por los cuales fluye el metal fundido, para llenar la cavidad del molde y obtener una pieza fundida sin defectos.

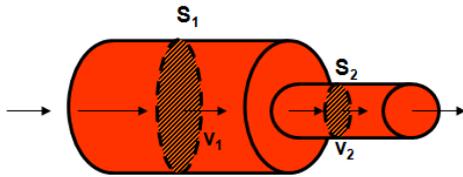
Cumple diversas funciones como:

- a) Permitir la entrada del metal dentro del molde, con la mínima turbulencia posible para evitar la absorción de gases y la erosión del molde.
- b) Llenar completamente la cavidad del molde.
- c) Actuar como un alimentador.

2.3 Principios de mecánica de fluidos

Es necesario tener en cuenta algunos principios de mecánica de fluidos, como por ejemplo:

2.3.1 La ley de la continuidad: esta ley expresa que la cantidad de fluido que pasa por cada sección en un instante debe ser constante.



$$Q = S \times v \quad Q_1 = Q_2$$

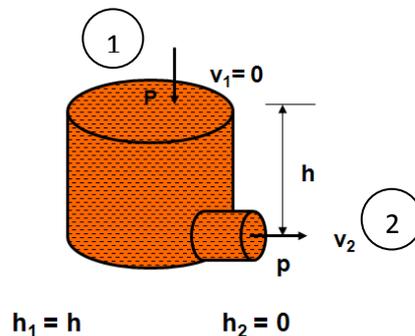
$$Q = S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$$

2.3.2 Principio de Bernoulli: expresa que en un fluido ideal (sin viscosidad, ni rozamiento) en régimen de circulación por un conducto cerrado, la energía que posee el fluido permanece constante a lo largo de su recorrido. La energía de un fluido en cualquier momento consta de tres componentes:

- Cinética: es la energía debida a la velocidad que posea el fluido.
- Potencial gravitacional: es la energía debido a la altitud que un fluido posea.
- Energía de flujo: es la energía que un fluido contiene debido a la presión que posee.

También se debe considerar en nuestro caso en particular, que al descender el metal por el canal del sistema de alimentación, su velocidad aumenta debido a la aceleración de la gravedad; esto quiere decir que la elevada velocidad de descenso del metal provoca gran turbulencia.

2.3.3 Ecuación de Torricelli: la velocidad de vaciado (ó de llenado) de un estanque depende sólo de la diferencia de elevación entre la superficie libre del fluido y la salida donde se encuentra ubicado el orificio de descarga. Así, entre los puntos 1 y 2:



$$h_1 = h$$

$$h_2 = 0$$

Aplicando la ecuación de Bernoulli:
$$\frac{P}{\rho} + \frac{0}{2g} + h = \frac{P}{\rho} + \frac{v_2^2}{2g} + 0$$

Considerando que la superficie del líquido está en reposo $V_1=0$, y que las presiones manométricas en los puntos 1 y 2 es la misma (ya que en ambos puntos el fluido está en contacto con la atmósfera).

Se puede demostrar que la velocidad de salida del líquido está dada por:
$$v_2 = \sqrt{2g \cdot h}$$

Los problemas de contaminación con gas, escorias, óxidos y aspiración de gas están unidos al ingreso del metal, es decir al tipo de flujo, laminar o turbulento expresado por el Número de Reynolds.

2.4 Número de Reynolds

El número de Reynolds es quizá uno de los números adimensionales más utilizados. Éste número relaciona la densidad, viscosidad, velocidad y dimensión típica de un flujo en una expresión adimensional, que interviene en numerosos problemas de dinámica de fluidos.

Dicho número aparece en muchos casos relacionado con el hecho de que el flujo pueda considerarse laminar o turbulento. Desde un punto de vista matemático el número de Reynolds se define por medio de la siguiente fórmula:

$$Re = \frac{v \cdot D_H}{\mu}$$

v = Velocidad del fluido (metal líquido) (cm / s)

D_H = Diámetro del canal (cm)

μ = Velocidad cinemática del fluido (metal líquido) (cm²/s)

Para aceros al carbono $\mu \approx 0.01$ cm²/s

2.5 Tipos de flujo

Al movimiento de un fluido se le llama flujo. El flujo de un fluido puede clasificarse de muchas maneras.

2.5.1 Flujo turbulento: es el más frecuente en las aplicaciones prácticas de ingeniería, en esta clase de flujo las partículas del fluido se mueven siguiendo trayectorias muy irregulares, originando un intercambio de cantidad de movimiento de una porción del fluido a otra. En este tipo de flujo se origina una mayor tensión de cortadura en el fluido y es la causa de que una mayor proporción de energía mecánica se convierte en térmica.

El flujo es enteramente turbulento cuando el N° de Reynolds está entre 2000 a 20 000.

El flujo es severamente turbulento cuando el N° de Reynolds es mayor a 20 000.

2.5.1 Flujo laminar: en este tipo de flujo las partículas del fluido se mueven a lo largo de trayectorias uniformes en capas ó láminas deslizándose una capa sobre la adyacente. Cierta tendencia hacia la inestabilidad y la turbulencia es frenada por las fuerzas de cortadura viscosas que resisten los movimientos relativos de las capas fluidas adyacentes.

El flujo es laminar cuando el N° de Reynolds igual o menor a 2000.

2.6 Capa límite

La capa de fluido en la inmediata vecindad de una pared sólida se llama capa límite y el fluido de su interior debe considerarse como un fluido real, es decir poseyendo una viscosidad. Existe una tensión de cortadura en la capa límite y se origina una conversión de energía mecánica en energía térmica.

2.7 Radiografía de metales:

La radiografía de metales se puede realizar mediante rayos X o rayos gamma, son rayos electromagnéticos de longitud de onda corta capaces de atravesar espesores de metal relativamente grandes. Los rayos gamma se pueden obtener ya sea de un material radioactivo natural (como el Ra) o de un isótopo radiactivo (Co 60); en este caso se emplea el cobalto 60.

La radiografía es una fotografía sombreada de un material más o menos transparente a la radiación, los rayos oscurecen la película, es así que las regiones de menor densidad que permiten fácilmente la penetración de éstos aparecen oscuras en el negativo; es así que el defecto gas se observa como un área más oscura.

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

El proceso de producción de bolas de 3" empieza desde la selección de chatarra, las cuales son cortadas con equipos de oxicorte a un tamaño máximo de 2 pies, para luego ser transportadas en vagones hacia el área de Acería; la fusión del acero se lleva a cabo en un horno de arco eléctrico de 3 fases llamado Horno 5, cuya capacidad es de 18 toneladas.

Una colada del horno 5 es equivalente a dos cucharas, las cuales son transportadas a la U.P Bolas; las cucharas son vaciadas a un Horno Holding de 30 TM, éste es un horno eléctrico de arco indirecto, tiene dos electrodos y es regulable en sentido horizontal hasta que entre sus puntas se forme un arco que no estará nunca en contacto con el metal. El Holding alimenta en forma continua a la tornamesa (rueda de vaciado), en donde el metal ingresa a los moldes prearmados con almas adoptando la forma de bolas. La temperatura en que ingresa el acero líquido al horno Holding es de 1550°C; el Holding tiene la finalidad de mantener el acero a la temperatura adecuada para el vaciado.

Una vez que el primer chorro de acero líquido es vaciado a la tornamesa, el primer racimo de bolas es desmoldeado en un intervalo de 18 minutos, tiempo en que la tornamesa completa una revolución. Ver anexo 1 para ver los parámetros de velocidad de la tornamesa.

Una primera observación en las bolas es la porosidad que puede deberse a contracciones, presencia de gases o, ambos. Figura 1.

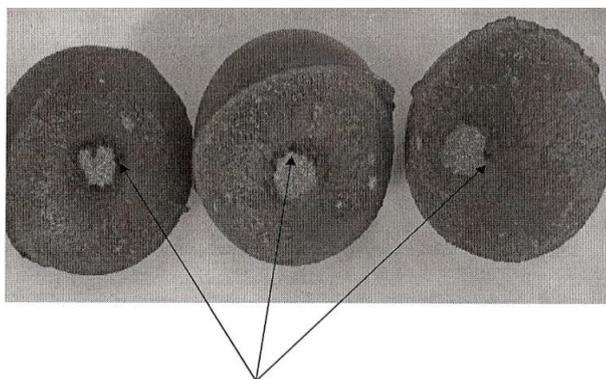


Fig. 1. Pequeñas porosidades en la parte externa de las bolas advierten la presencia del defecto.

Realizamos un corte transversal de las bolas para evaluar los defectos que presenta, como se observa en la figura 2.

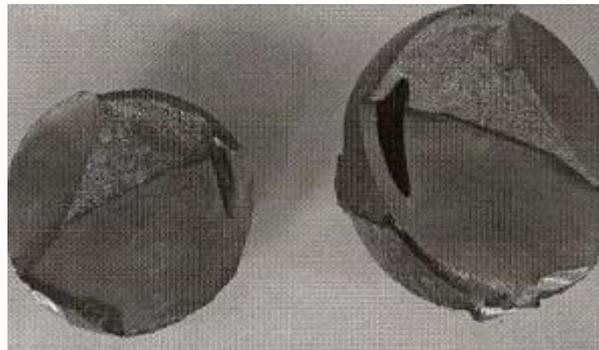


Fig. 2. Bolas cortadas para evaluar los defectos.

- El defecto no presenta formación dendrítica lo cual descarta el defecto por rechupe.
- Por lo general el defecto se aloja en la parte superior a los topos de alimentación (del alma).
- El defecto siempre se encuentra en la unión de la cavidad del alma y la cabida del molde de coquilla.
- Se observa la forma del defecto, es paralelo a la superficie de la bola.
- Por la forma y ubicación del defecto nos confirma la formación de gas atrapado en el interior de las bolas.

3.1 Primera Prueba

Se realiza un primer cambio para la fundición de bolas de 3", se modifica el alma de arena de manera artesanal, se implementó una alimentación por el fondo, por el lado lateral del molde, en este caso el alma lo permitía. Ver figura 3.

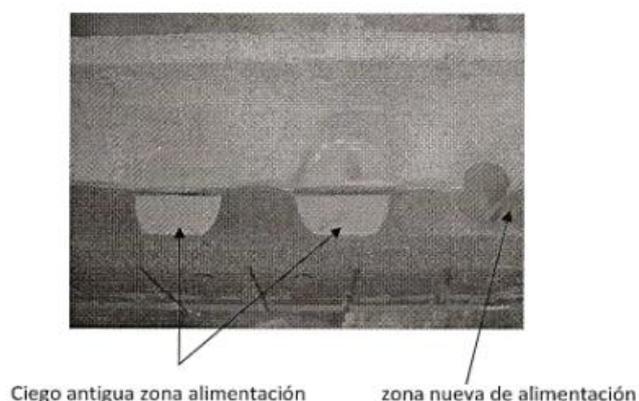


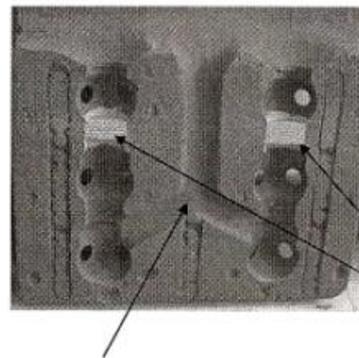
Fig. 3. Primera modificación en alma de 3". Alimentación por el fondo y lado lateral lateral.

Luego de realizar la fundición en la tornamesa se tomaron placas radiográficas al racimo de bolas.

3.2 Segunda Prueba

Se realiza una segunda prueba con modificaciones en el alma de arena muy diferentes a la primera, como se puede observar en la figura 4. En la zona aislada se utilizó pequeños retazos de la misma alma, debidamente adaptada, cortada y pegada. Estas modificaciones no alteran el ciclo de la tornamesa, ni obligan al operario a realizar más movimientos de los acostumbrados, el tiempo es el mismo, los parámetros se mantienen constantes.

Fig. 4. Segunda modificación en alma de 3". Aislamiento de las bolas superiores, y un canal central.



Zona aislada de la parte inferior

Zona de alimentación central para bolas de la 1ra y 2da fila

3.3 Tercera Prueba

Se realiza una nueva modificación después de observar los resultados obtenidos en las placas radiográficas, se guardan ciertas características similares en el alma de arena con respecto a la segunda prueba pero con un cambio determinante. Ver figura 5.

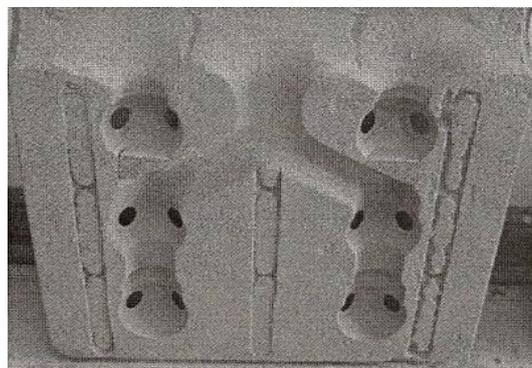


Fig. 5. Tercera modificación en alma de 3". Aislamiento a las bolas superiores, y un nuevo canal central.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Primer análisis

Respecto a la **primera prueba** se evaluaron los defectos internos de acuerdo a la siguiente placa radiográfica. Ver figura 6.



Fig. 6. Placa radiográfica de bolas de 3" (primera prueba), defectos en la parte superior.

- Se muestran defectos sólo en las bolas de la parte superior como se muestra en la placa.
- Las bolas situadas en las posiciones media e inferior están completamente sólidas
- Repetidas muestras de racimos de bolas tuvieron el mismo comportamiento.

4.2 Segundo análisis

En la primera experiencia se observó que el defecto se concentraba en la parte superior, por lo que en la **segunda prueba** se decidió modificar el sistema de alimentación, se adoptó un sistema aislado para las bolas de la parte superior, respecto a las bolas de la parte inferior se implementa canales de alimentación aislados. Ver figura 4.

Se evalúan los defectos internos según como se muestra en la placa. Figura 7.

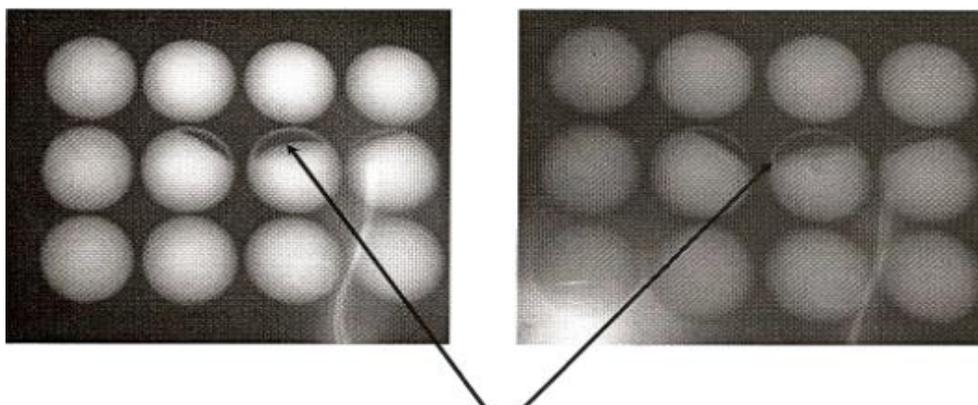


Fig. 7. Placa radiográfica de bolas de 3" (segunda prueba). Se observan defectos muy similares en la misma posición en todas las placas.

4.3 Tercer análisis

Luego de analizar los resultados de las pruebas anteriores, se presentó un nuevo sistema de alimentación, conservando el sistema aislado para las bolas de la parte superior el cual trabajó muy bien en todas las pruebas. También se hizo un sistema de alimentación central con 2 salidas inclinadas para los 2 alimentadores, con el fin de que este alimentador central absorba la turbulencia del chorro de acero, y luego el acero sea desviado para ambos lados de los alimentadores (muñecos) en forma calmada como se observa en la figura 5.

En la **tercera prueba** se fundieron 4 racimos de bolas de 3" con las almas modificadas, tomando placas a dos racimos con un resultado de 0% en defectos internos en ambas placas. Ver figura 8.

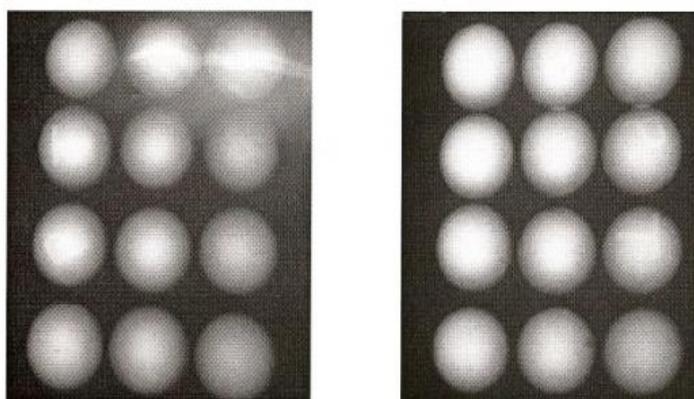


Fig. 8. Placa radiográfica de bolas de 3" (segunda prueba). No se aprecia el defecto interno gas atrapado.

Para ratificar el resultado obtenido, una semana después se funden 10 racimos de bolas de 3" con el nuevo sistema de alimentación modificado, y se tomaron seis placas con resultados iguales de 0%. Figura 9.

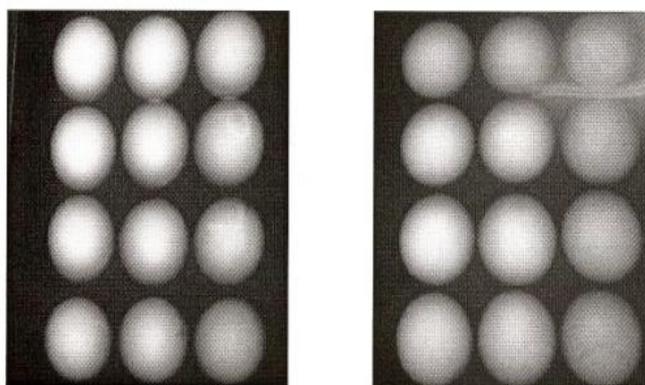


Fig. 9. Radiografía de bolas de 3", sin presencia de gas atrapado.

También se evaluó el comportamiento de trabajo de los alimentadores (muñecos), tomando las siguientes placas. Figura 10.

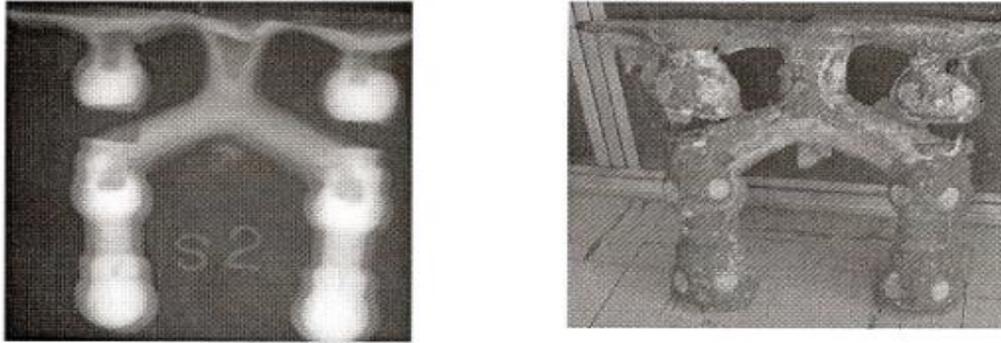


Figura 10. Radiografía de los muñecos (sistema de alimentación)

Se ve claramente como el defecto se aloja en el alimentador y no en la bola.

4.4 Primer resultado

Luego de evaluar las placas radiográficas de las bolas de 3" modificadas con otras anteriores y de acuerdo a la metodología de evaluación empleada por el área de Control de Calidad; se obtiene una reducción de defectos internos de 8% a 0%.

4.5 Segundo resultado

Luego de haber realizado la tercera modificación como se aprecia en la figura 5, se obtiene una relación de colada entre el canal central (modificado manualmente) y los orificios (topes) que permiten la entrada del acero. Resultando ser un "sistema no presurizado".

Sistema no presurizado: relación de colada

$$\frac{\text{Área del canal central}}{\sum \text{área de los 4 topes}} = \frac{1}{1.5}$$

5. CONCLUSIONES

1. En un sistema de colada el flujo que desciende es acelerado por efecto de la gravedad, inicialmente la trayectoria del fluido en el sistema de alimentación se encuentra en su máxima altura; pero al realizar la modificación del alma en la tercera prueba como se observa en la figura 5, se llega a conseguir una interrupción en la trayectoria del flujo, lo que ocasiona que el flujo de acero llegue a la parte del fondo con una disminución en la velocidad y se reduce la turbulencia que provoca la aspiración de gases en las bolas de 3”.
2. Al realizar la última modificación del sistema de alimentación se consigue absorber en parte la turbulencia del chorro de acero, y es posible afirmar que se consigue reducir el número de Reynolds con la orientación a un flujo laminar.
3. Con esta modificación en el sistema de alimentación del alma, se resuelve el problema de calidad para bolas de 3”; también mejoramos la eficiencia de producción para este tipo de bola.
4. Se consigue una reducción de las bolas chatarra, asimismo los costos de producción son reducidos.
5. Se obtiene una reducción de defectos internos de 8% a 0%, siendo éste un resultado sostenido a lo largo del tiempo. Con los resultados obtenidos se tienen bolas sólidamente compactas que tendrán un buen desempeño de trabajo en los molinos, y a la vez los reclamos relacionados a éste tipo de defecto, por parte de los clientes dejarán de presentarse en este tipo de bola.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SYDNEY H. AVNER (Segunda Edición 1988), “Introducción a la Metalurgia Física”
2. EDOARDO CAPELLO, “Tecnología de la Fundición”, Editorial Gustavo Gili S.A
3. Ing. ROBERTO SANDOVAL SALINAS, Ing. JORGE SUAREZ CONDEZO, “Fundición”
4. Ing. SAMUEL ROSARIO FRANCIA, “Sistema de Colada de las Piezas Fundidas”
5. STREETER, “Mecánica de Fluidos”

7. ANEXOS

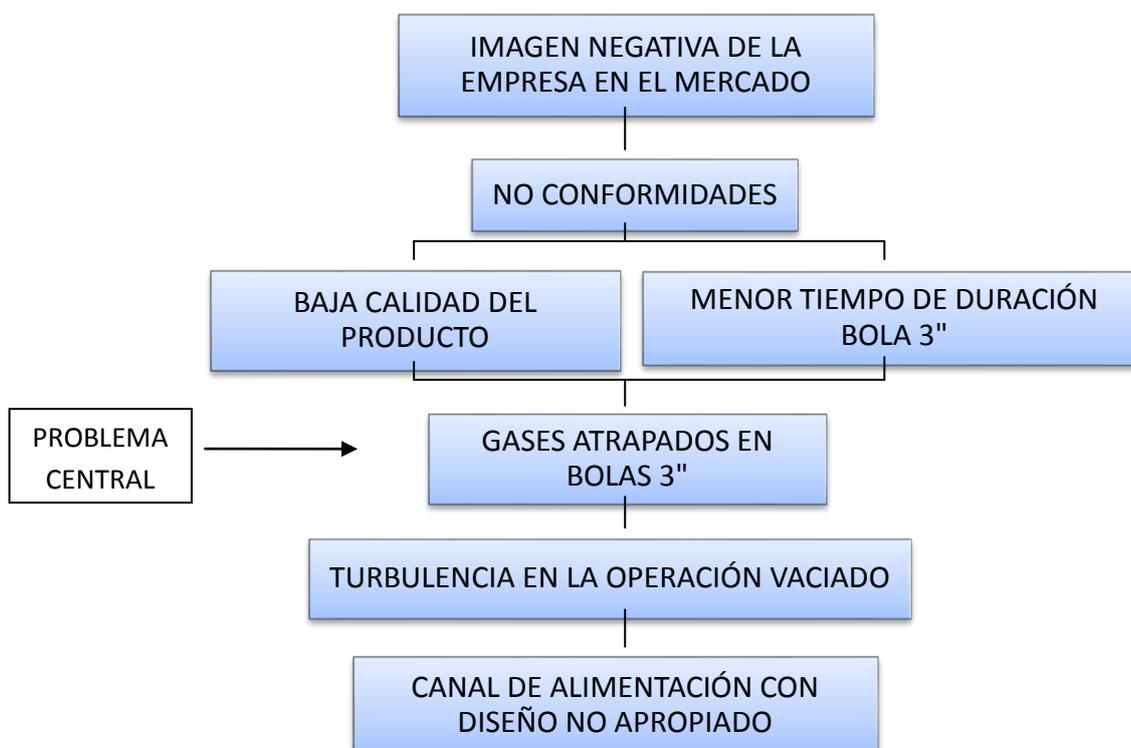
7.1 Anexo 1

PARÁMETROS DE LA TORNAMESA

Diámetro de bola (pulg)	Velocidad de la Tornamesa (Min/vuelta)	Peso de los racimos en un brazo (Kg)
1 1/2	12	67
2	13	85.5
2 1/2	16	90
3	18	115.5
3 1/2	20	146.5
4	22	147.5

7.2 Anexo 2

ÁRBOL DE PROBLEMAS



7.3 Anexo 3

ÁRBOL DE OBJETIVOS