



Universidad de Holguín
"Oscar Lucero Moya"
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Mecánica



Trabajo de Diploma

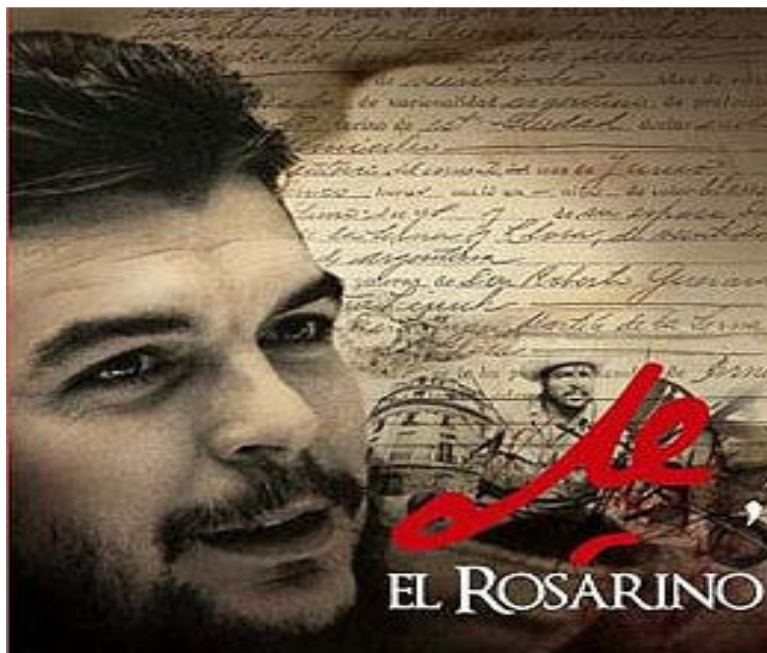
Tema: Reducción de las mazarotas en las piezas fundidas de acero aplicando cargas dinámicas.

Autor: Adriel Torres García

**Tutores: MSc. Rigoberto Pastor Sánchez Figueredo
Ing. Alexis Ronda Oro**

Curso: 2008- 2009.

PENSAMIENTO



" En la tierra hace falta personas que trabajen más y critiquen menos, que construyan más y destruyan menos, que prometan menos y resuelvan más, que esperen recibir menos y dar más, que digan mejor ahora que mañana".

Che

AGRADECIMIENTO:

Para toda mi familia, compañeros y compañeras que me apoyaron en los momentos más difíciles de mi carrera y que estuvieron en los más alegres días de la etapa universitaria.

DIDICATORIA:

Este trabajo de diploma se la dedico a mis padres y hermano por apoyarme en los momentos cruciales de mi carrera, por no faltarme nunca su comprensión y cariño.

Mis segundos padres y hermanos de Holguín que cumplieron con la misión de guiarme, aconsejarme como si fueran mis padres durante el tiempo que estuve con ellos.

Para todos ellos muchas gracias.

RESUMEN

El objetivo de este Trabajo de Diploma es disminuir el volumen de la mazarota en las fundiciones de acero y obtener las mismas cantidades de piezas netas disminuyendo el volumen de las piezas en bruto. Aquí se muestra los distintos métodos de vertido, el estático y dinámico, donde se demuestra la ventaja del dinámico. Este problema se presenta debido a que este material exhibe una característica principal que es el surgimiento del rechupe y la contracción en el momento de solidificarse la pieza donde la mazarota ocupa el 50% de la pieza en bruto. Para la disminución del volumen de la mazarota se ha ideado utilizar la tecnología del vertido dinámico con un vibrador mecánico con una frecuencia de 100Hz; todo este trabajo se realizaría antes de la solidificación y se logra a través del diseño de la rampa vibratoria. Con esta innovación se demuestra que con el vertido dinámico se puede reducir en $\frac{3}{7}$ el volumen de la mazarota con lo cual se aumentaría el Rendimiento Metálico que es proporcional al Rendimiento Tecnológico General, lo cual hace más competitivos la producción de fundidos ya que se disminuirían los costos de producción en la Empresa de Fundiciones Acero-Hierro de Holguín.

SUMMARY

The objective of this Work of Diploma is to diminish the volume of the feeder in the steel foundries and to obtain the same quantities of net pieces diminishing the volume of the rough pieces. Here it is shown the different methods of having poured, the static and dynamic, where the advantage of the dynamic one is demonstrated. This problem shows up because this material exhibits a main characteristic that is the emergence of the suction and the contraction in the moment to solidify the piece where the feeder occupies 50% of the rough piece. For the decrease of the volume of the feeder it has been devised to use the technology of the one poured dynamic with a mechanical vibrator with a frequency of 100Hz; this whole work would be carried out before the solidification and it is achieved through the design of the vibratory ramp. With this innovation it is demonstrated that with the one poured dynamic it can decrease in $\frac{3}{7}$ the volume of the feeder with that which you would increase the Metallic Yield that is proportional to the Technological General Yield, that which makes more competitive the production of having fused since would diminish the production costs in the Company of Foundries Steel-iron of Holguín.

INDICE.....	PÁG.
INTRODUCCIÓN.....	7
CAPÍTULO I: CÁLCULOS DE LA MAZAROTA Y DETALLES	
INVESTIGATIVOS DE LA RAMPA VIBRATORIA.	15
1.1 Cálculo racional de las mazarotas en piezas de acero fundido.	15
1.2 Otros cálculos sobre las mazarotas.	20
1.2.1 Mazarotas de piezas cilíndricas. (Tma-5, A)	20
1.2.2 Mazarotas de piezas de sección rectangular (Tma-5, B)	21
1.2.3 Mazarotas para los nudos de la pieza con sección en T (Tma-6)	21
1.2.4 Mazarotas para nudos de piezas en formas de anillo (Tma-7, A)	22
1.2.5 Mazarotas para nudos térmicos de la pieza con sección en forma de cruz (Tma-7, B).	23
1.2.6 Mazarotas para los nudos de piezas cilíndricas con sección en forma de cruz (Tma-7, a).....	23
1.3 Función de las mazarotas.....	24
1.3.1 Tipos de mazarota.	25
1.3.2 Camisas exotérmicas.....	27
1.3.3 Contracción volumétrica de aleaciones fundidas. Rechupe y poros de contracción en las piezas fundidas.	28
1.4 Diseño de mulles.	36
1.4.1 Características de los Aceros para muelles.	36
1.4.2 Tratamientos Térmicos de los Aceros para Muelles.	39
1.5 Vigas.....	41
1.6 Vibraciones mecánicas.....	41
1.6.1 Vibraciones libres y forzadas.	42
1.6.2 Aplicación de las vibraciones.	44
1.7 Conclusiones	46
2. CAPÍTULO II. RAMPA VIBRATORIA PARA APLICAR LAS CARGAS	
DINÁMICAS Y DISMINUIR LA MAZAROTA.	47
2.1 Caracterización de la empresa.	47

2.2 Características del muelle.	48
2.2.1 Cálculos para el diseño de los muelles Acero-65 al manganeso.	48
2.2.2 Tratamiento Térmico del acero-65r.	55
2.2.3 Algunos fracasos que ocurren en la fabricación de muelles.	55
2.3 Selección de la Viga Ct-3. Aceros para estructuras.....	56
2.3.1 Cálculo de Resistencia de las vigas.	59
2.3.2 Tratamiento Térmico del Ct-3.....	59
2.4 Selección de la Plancha de Acero con bajo carbono.....	60
2.4.1 Tratamiento Térmico de la plancha Acero de bajo carbono.....	61
2.6 Logros de la investigación a través de la carga dinámica.....	64
2.7 Discusión de resultados y valoración socio económica.	65
2.8Conclusiones	67
CONCLUSIONES	68
RECOMENDACIONES.....	69
BIBLIOGRAFÍA.....	70
ANEXOS.....	78

INTRODUCCIÓN

El mundo actual depende de la ciencia pues cada vez se vive un desarrollo en aumento, por lo que es de vital importancia seguir innovando, pero reduciendo su costo. Es aquí donde comienza el papel fundamental de la investigación y el cual genera un problema, se formulan hipótesis, se afirman teorías que enfrentan directamente los problemas. En la Empresa de Fundiciones Acero-Hierro de Holguín tiene un similar desafío pues para el progreso del país es necesaria la calidad del proceso de fundición de aceros donde se obtienen las piezas necesarias para seguir su impulso.

Los aceros conforman una amplia escala de materiales los cuales se pueden clasificar de varias formas ya sea por su estructura que por su composición química. Una de las más aceptadas, tanto por su utilidad como su perspectiva económica, son los aceros al carbono, aceros aleados, etc., estas no son más que aleaciones hierro-carbono con un porcentaje de carbono 0.04 hasta al 2.14%, adicionando otros elementos como vanadio, manganeso, cromo y níquel para darle una característica determinada o las llamadas impurezas las cuales hay que reducirlas lo más mínimo. Las fundiciones se clasifican por su composición química en fundiciones grises y fundiciones aleadas.

Las propiedades físicas del acero y su comportamiento a distintas temperaturas varían según la cantidad de carbono y su distribución en el hierro. Antes del tratamiento térmico, la mayor parte de los aceros son una mezcla de tres sustancias: la ferrita, blanda y dúctil; la cementita, dura y frágil; y la perlita, una mezcla de ambas y de propiedades intermedias. Cuanto mayor es el contenido en carbono de un acero, menor es la cantidad de ferrita y mayor la de perlita: cuando el acero tiene un 0,8% de carbono, está compuesto por perlita. El acero con cantidades de carbono aún mayores es una mezcla de perlita y cementita. Al elevar la temperatura del acero, la ferrita y la perlita se transforman en austenita, que tiene la propiedad de disolver todo el carbono libre presente en el metal. Si el acero se enfría

espacio, la austenita vuelve a convertirse en ferrita y en perlita, pero si el enfriamiento es repentino, la austenita se convierte en martensita, de dureza similar a la ferrita, pero con carbono en disolución sólida.

Según las características de este material se realiza la investigación de la reducción de la mazarota, su aplicación en la Empresa de Fundiciones Acero-Hierro de Holguín, el estudio y desarrollo científico que se ven agravados por raíz de las características de la empresa, para darle solución al problema es lo que trata la tesis de diploma.

Para el perfeccionamiento del trabajo de investigación “Reducción de las mazarotas en las piezas fundidas de acero aplicando cargas dinámicas bajo las circunstancias de la Empresa de Fundición en Cuba”, línea de Investigación de Recuperación de piezas que se desarrolla en el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Holguín “Oscar Lucero Moya” está científicamente demostrado que es de gran importancia para el ascenso de un país el desarrollo de la construcción de maquinarias. Dentro de esta escala de la industria, lo que se describe a la producción de artículos metálicos ocupa un lugar preponderante y su producción por técnicas de fundición tienen gran aplicación debido a que se crean piezas y materiales sin el manejo de herramientas de corte, esto se ejecuta aprovechando la fusibilidad de los materiales que no es más que la propiedad de un metal de pasar del estado sólido a líquido al elevar la temperatura; una vez fundido el metal se introduce en un molde el cual tiene la forma del artículo que se desea obtener, cuando este metal se solidifica toma la forma del mismo.

Los procesos de fundición tienen grandes aspiraciones pues ésta permite la elaboración de productos con la configuración, las dimensiones y masa exigida directamente a partir del metal fundido con menor consumo de energía, materiales y trabajo. También admite la obtención de piezas de cualquier composición química, el valor de la masa puede ser desde unos pocos gramos hasta varias toneladas con dimensiones de hasta 10 metros y

altas propiedades de aplicación y la fabricación de artículos de las aleaciones no ferrosas por procesos de fundición son hoy en día un punto clave del impulso.

Unas de las grandes pérdidas en la fundición se producen por el tamaño de las mazarotas pues el 50% de la pieza depende de la mazarota, pues ella es la indicada para evitar el rechupe en la pieza que se quiere obtener, por lo que reduciendo la mazarota a través del vertido dinámico se ahorraría gran cantidad de material, lo cual traería un gran beneficio a la economía, ya que con este proceso se obtienen piezas para diferentes empresas, ya sea para piezas de repuesto como para estructuras. Nuestro país no tiene gran desarrollo en esta rama y para obtener claridad en lo que se quiere hacer hay que pasar por disímiles problemas para darle solución.

El acero tiene mayor costo que otros materiales por lo que es de vital importancia el ahorro de este material y se ha convertido en objetivo mundial. La Empresa de Fundición Acero-Hierro de Holguín es una de las tantas identidades que tiene como objetivo la reducción de la mazarota por vertido dinámico, la misma está ubicada en la carretera de San Germán km. 3 ½, Holguín, fue fundada en julio de 1980. La misma tiene como misión producir piezas fundidas de acero y de hierro así como lingotes de plomo, cobre, bronce y aluminio, de forma tal que contribuye a satisfacer la demanda en el mercado de la fundición artística y la carpintería de madera destinada a la ambientación de instalaciones turísticas.

En la fábrica de producciones de acero con un horno de cuba alta discontinuo de 700mm de diámetro interior. La capacidad calculada del mencionado taller es de 360 toneladas al año. Se originan piezas especialmente para la Industria Mecánica, el MINAZ, el MINTUR, el MINBAS, entre otras.

El moldeo en nuestras empresas es casi todo en verde y es escaso el empleo de métodos avanzados de obtener el molde, lo que hace imprescindible el uso de cajas para este paso tecnológico. Esto dificulta y

encarece la construcción de dispositivos para la obtención del acero por vías conocidas en el mundo, pero, por sus exigencias constructivas, se hace imprescindible la aplicación de inversiones y la necesidad de automatizar los cálculos de estos parámetros en busca de la agilidad, competitividad, sostenibilidad y sustentabilidad.

En el año 2008 el Especialista Sánchez Figueredo R. P., instituye un análisis y los procedimientos para la reducción de mazarota a través del vertido dinámico bajo las condiciones específicas de la industria en Cuba, la cual no ha podido ser realizada en la Empresa de Fundición de Acero-Hierro debido a las condiciones tecnológicas.

Estas condiciones se caracteriza por no disponer para el caso de las producciones de acero, de una rampa vibratoria con vibrador mecánico de 100Hz de frecuencia y una mesa capaz de recibir 1 000kg de acero líquido, esta mesa tiene una dimensión de 4 000mm de largo y ancho con 4mm de espesor, la mesa esta reforzada por 6 vigas de CT-3, para ayudar a las vibraciones del vibrador presenta 12 muelles que sirven como base. Como en el acero experimenta mayor contracción que otros materiales es necesario el cálculo de la mazarota y la tecnología para su reducción.

Necesidad: Elaborar los procedimientos que aseguren la reducción de la mazarota en los artículos de acero por la técnica de “vertido dinámico” de una forma precisa y adaptable a las condiciones actuales de la industria en Cuba.

Estos rasgos de nuestra empresa ha incitado el surgimiento de un **Problema:** Cómo disminuir el volumen de la mazarota a través del vertido dinámico en las fundiciones de acero.

Objeto de Estudio: Cálculo de mazarotas.

Campo de acción: Métodos de vertido en el proceso de fundición de las mazarotas.

Hipótesis: Si se aplican cargas dinámicas durante el vertido, se reduciría el tamaño de la mazarota en los artículos fundidos de acero, aumentando el

Rendimiento Tecnológico General y se lograrían producciones competitivas, sostenibles y sustentables.

Objetivo general del trabajo:

Disminuir el volumen de la mazarota y aumentar el Rendimiento Metálico con el empleo del método de vertido dinámico.

Objetivo Específicos:

1. Ajustar los procedimientos existentes para el cálculo de mazarotas y su estado real de aplicación en las empresas involucradas con el proceso en el mundo y el país.
2. Acreditar, con la ejecución del método de “vertido dinámico” la reducción de la mazarota, de forma tal que presente habilidades para su acomodamiento a las condiciones de Cuba sobre la base de la síntesis del estudio realizado.
3. Confeccionar un diseño que responda la correcta organización del procedimiento para la obtención de fundidos de acero, reduciendo su mazarota.
4. Detallar de forma experimental, matemática y analítica la atribución de los diferentes parámetros y relaciones que intervienen sobre el método de “vertido dinámico” bajo las condiciones actuales de la industria en Cuba para la reducción de la mazarota.

Tareas a ejecutar para el cumplimiento de los objetivos.

1. Realizar un estudio estadístico de la disminución de la mazarota en la Empresa de Fundición de Acero-Hierro de Holguín, Fundición Planta Mecánica de santa Clara “Fabric Aguilar Noriega” con el fin de determinar la perspectiva de producir artículos de aceros por el método de “vertido dinámico”.
2. Seleccionar a partir del método de obtención elegido, cual es la variación de frecuencia y tiempo de vibración necesarios

tecnológicamente para la reducción de la mazarota y si son más posibles de utilizar de acuerdo a las condiciones de vertido de la empresa.

3. Elegir el vibrador más adecuado.
4. Determinar, según la frecuencia elegida, el tiempo de vibración aplicable a la misma, así como la temperatura de vertido más eficiente.
5. Determinar la influencia de la magnitud de la vibración en la microestructura y propiedades mecánicas del acero.

Posteriormente se exponen los **métodos de investigación** fundamentales utilizados en la investigación:

Los métodos científicos afirman una función fundamental en el desarrollo de la ciencia, ya que aprueban obtener nuevos conocimientos sobre el fenómeno que se estudia y ejecutan un papel importante en la construcción y desarrollo de la teoría científica.

Se puede precisar el método científico como el conjunto de procedimientos o reglas generales por medio de las cuales se investiga el objeto de estudio de las ciencias.

Se emplean en las ciencias una diversidad de métodos teóricos, dentro de ellos están: el método de análisis y la síntesis, el hipotético-deductivo, el análisis histórico y el lógico, el de tránsito de lo abstracto a lo concreto, la modelación y el enfoque de sistema. Cada uno cumple funciones gnoseológicas determinadas, por lo que en el proceso de realización de una investigación científica se complementan entre sí. A continuación se exponen los métodos utilizados en la investigación desarrollada, estos son:

Método histórico-lógico: Este se aplica para establecer el estado del arte del tema de Investigación, como marco teórico referencial, permitiendo conocer que se ha investigado sobre el tema objeto de estudio y que leyes o aspectos generales que se abordan en el fenómeno que se estudia.

Método de inducción-deducción: A partir del estudio de diferentes casos particulares se llega a establecer aspectos que son generales y leyes empíricas, que constituyen puntos de partida para inferir o confirmar formulaciones teóricas, de las cuales se deducen nuevas conclusiones lógicas que son sometidas a prueba de acuerdo con las generalizaciones empíricas. Se aplica para la evaluación de la relación que existe entre las diferentes magnitudes de frecuencias de vibración aplicadas y la altura de disminución de la mazarota, determinar sus ventajas y desventajas, bajo las condiciones específicas de la industria metalúrgica cubana.

Método de análisis y síntesis: Se aplica para identificar los factores principales -y sus características- que influyen en el fenómeno que se estudia, así como su interrelación. Se aplica para identificar las relaciones de la frecuencia y tiempo de vibración aplicados durante el método de “vertido dinámico” y caracterizarlas, estableciendo la relación entre ellas y así definir la formulación tecnológica necesaria para la reducción de la mazarota.

Método computacional: Se utiliza para la simulación de la Rampa vibratoria un diseño a través del SolidWorks donde se realiza un estudio de resistencia de los materiales seleccionado.

Métodos empíricos: La consulta a profesores, la búsqueda de bibliografías a libros referentes al tema; la observación a diferentes métodos científicos completaron el ciclo de un estudio para desarrollar y dar solución al problema.

Como **novedad**, la investigación logra por primera vez en las condiciones de la industria Metal-Mecánica en Cuba, la disminución de la mazarota aplicando el método de vertido dinámico logrando el aumento del Rendimiento Tecnológico General.

La investigación identifica como **aportes**:

- Establecer una metodología de cálculo de la mazarota con la aplicación del vertido dinámico para la reducción de la mazarota, bajo las condiciones cubanas.
- Lograr un diseño simulado de la Rampa Vibratoria a través del SolidWords para aumentar el Rendimiento Tecnológico General.

El informe de tesis la se **estructura** en la siguiente forma:

Introducción.

Capítulo 1. CALCULOS DE LA MAZAROTA Y DETALLES INVESTIGATIVOS DE LA RAMPA VIBRATORIA.

En este capítulo se realiza un estudio de los antecedentes y el estado actual de las mazarotas y cálculos de ellas, también la utilización de las vibraciones en varios sectores.

Capítulo 2. RAMPA VIBRATORIA PARA APLICAR LAS CARGAS DINÁMICAS Y DISMINUIR LA MAZAROTA.

En este capítulo se expone en detalles las partes de la rampa vibratoria, las selecciones de cada elemento y los cálculos realizados para obtener la diferencia de las cargas dinámicas y estática.

Conclusiones.

Recomendaciones.

Bibliografía y anexos.

CAPÍTULO I: CÁLCULOS DE LA MAZAROTA Y DETALLES INVESTIGATIVOS DE LA RAMPA VIBRATORIA.

1.1 Cálculo racional de las mazarotas en piezas de acero fundido. (5, 50, 56)

La mazarota es un exceso tecnológico de metal no previsto en el plano de pieza, añadida a la superficie de la pieza fundida para que solidifique posteriormente a las paredes en las que han sido adicionadas y garanticen que el metal líquido contenido en ellas pueda alimentar ininterrumpidamente a las partes en proceso de solidificación compensado de esta forma la disminución del volumen del metal durante la solidificación.

Es correcto recordar que se aplican las mazarotas en las piezas de acero, se utiliza muy poco en el hierro por presentar un bajo rechazo pero aun así se aplica en hierro blanco, hierro nodular, hierro con bajo porcentaje de carbono, hierros grises con paredes gruesas, hierros altamente aleados y piezas de aleaciones no ferrosas.

Al cálculo de las mazarotas se le concede gran importancia por el gran significado económico que ello representa y la gran incidencia que tiene en la obtención de piezas sin cavidades ni porosidades de contracción que motivan el descarte de la pieza, que significa la pérdida de todo invertido, o la recuperación, en caso de ser posible, encareciendo el producto y complicando el proceso productivo.

Al revisar las propiedades de fundición de las aleaciones, se puede observar que desde la temperatura de vertido hasta la temperatura ambiente, durante todo el transcurso de la solidificación y enfriamiento, ocurre la disminución del volumen llamada contracción volumétrica y es la causante de cavidades, poros, microporosidad, la correspondencia de las dimensiones de las piezas, tensiones de las piezas, tensiones internas, grietas, si no se toman las medidas adecuadas para evitar estos efectos negativos.

Para el estudio de la contracción que transcurre en las aleaciones durante el enfriamiento, desde la temperatura del estado líquido hasta la temperatura ambiente, la contracción total se divide en tres etapas.

La contracción volumétrica en el periodo de enfriamiento de la aleación líquida desde la temperatura de sobrecalentamiento (temperatura de vertido) hasta la temperatura de líquidos se determina por la formula:

$$\xi V_{sc} = \alpha V_{sc} (T_{sc} - T_{liq}) (cm^3)$$

Donde: ξV_{sc} - contracción volumétrica de sobrecalentamiento.

αV_{sc} - coeficiente promedio de contracción de sobrecalentamiento.

T_{sc} - temperatura de sobrecalentamiento.

T_{liq} - temperatura de líquidos.

La contracción volumétrica en el periodo de solidificación de la aleación desde la temperatura de líquidos hasta la temperatura de sólido se define por la formula:

$$\xi V_{sol} = \alpha V_{sol} (V_{liq} - V_{sol}) (cm^3)$$

ξV_{sol} - contracción volumétrica de solidificación.

αV_{sol} - coeficiente promedio de contracción de solidificación.

T_{sol} - temperatura de sólido.

La contracción volumétrica de post-solidificación de la aleación desde la temperatura de sólido hasta la temperatura ambiente se define la formula:

$$\xi V_{ps} = \alpha V_{ps} (T_{sol} - T_{am}) (cm^3)$$

Donde: ξV_{ps} - contracción volumétrica de post-solidificación.

αV_{ps} - coeficiente promedio de contracción de post-solidificación.

T_{am} -temperatura ambiente.

De tal forma, consideramos que la contracción volumétrica total será igual a:

$$\xi_{vt} = \xi V_{sc} + \xi V_{sol} + \xi V_{ps} (cm^3)$$

Debemos puntualizar que la contracción volumétrica de post-solidificación es la llamada contracción (L) y la solución a los problemas dimensionales que ocasiona se resuelve considerando la contracción en la plantilla y que las

contracciones sumadas se les denomina comúnmente contracciones volumétricas. Estas contracciones se representan lineal (L) y volumétrica (V), en la práctica como relativas en por ciento correspondientes a la disminución del volumen (V) o la longitud (L).

$$\xi V = \frac{V_{mol} - V_p}{V_p} * 100\% (cm^3)$$

$$\xi L = \frac{L_{mol} - L_p}{L_p} * 100\% (cm^3)$$

Donde: V_{mol} - volumen o longitud inicial de la pieza en el molde.

V_p - volumen o longitud final obtenida en la pieza.

De lo anterior veríamos claramente que para determinar la magnitud de las mazarotas es necesario conocer y aplicar eficientemente el criterio de la contracción volumétrica, lo que depende exclusivamente de la composición química y la temperatura del metal y que puede ser calculada, acorde a los resultados prácticos y teóricos obtenidos por Erickson, Benedickse, y Ketheryho o definida cada fabrica para las aleaciones que se produzcan. Como no es nuestro objetivo no nos detendremos en estos pormenores, pero debemos tener como criterio básico partir de una correcta definición del porcentaje de contracción volumétrica.

Otro concepto fundamental en el cálculo de mazarotas, cabezas, manguitos, o como la definan en diferentes lugares, lo constituyen la definición del volumen del rechupe y el volumen máximo que se puede alimentar con determinada mazarota y para ello definiremos que V_r (volumen de rechupe) se determina por la formula:

$$V_r = (V_p + V_{maz}) * \frac{\xi V}{100} (cm^3)$$

Donde: V_{maz} - volumen de la mazarota.

V_p - volumen de la pieza.

Basado en esta fórmula obtenemos que el volumen de la pieza será igual a:

$$V_p = \frac{100V_r - \xi V * V_{maz}}{\xi V} (cm^3)$$

Una mazarota para piezas de acero de concepción normal disminuye al solidificar su volumen en un 17% y es capaz de alimentar como máximo el 14% de su volumen entonces esto significa que:

$$V_r = 0.14 V_{maz}$$

lo que implica que el volumen máximo de la pieza o parte de la misma, que es capaz de alimentar la mazarota será igual a:

$$V_{p \max} = V_{maz} * \frac{14 - \xi V}{\xi V} (cm^3)$$

Basado en estos criterios se han desarrollado diferentes métodos para garantizar que las mazarotas sean realmente efectivas y el rechupe se localiza en ellas, quedando la pieza libre de tales defectos, lógicamente todo está estrechamente vinculado al proceso de solidificación, ya bien sea solidificación simultánea o la solidificación dirigida que por ser generalmente la más compleja, para garantizarla en la práctica se recurre a cinco fundamentos o pilares que sostiene todo lo relacionado con las mazarotas:

1. El empleo de métodos en el sistema de alimentación y mazarota que realmente favorezcan el gradiente de temperatura durante el vertido y las etapas posteriores.
2. El empleo de márgenes tecnológicos (ensanchamientos cónicos en las paredes bajo las mazarotas).
3. El empleo de mazarotas con diseño y efectividad óptima.
4. El uso de enfriadores.
5. El empleo de los materiales de moldeo con diferentes propiedades termofísicas para las diferentes partes de la pieza.

Ampliando brevemente lo expuesto hasta aquí, se debería significar que tanto la pieza como las mazarotas pierden su calor, desde la temperatura de sobrecalentamiento hasta la temperatura ambiente, mediante tres formas de transferencia de calor, o sea, por conducción, convección y radiación. Esto

está condicionado al empleo de los diferentes materiales de moldeo y a la concepción tecnológica aplicada en cada caso específico.

Basado en lo anterior se establece la lucha por lograr que la extracción del calor de las piezas facilite el gradiente deseado y que el calor de las mazarotas sea retenido el mayor tiempo posible e incluso aumentarlo para que su actuación sea prolongada y garantice compensar el metal solicitado por la pieza durante su contracción.

Producto de todo lo expuesto ante, podemos plantear que el personal dedicado a la fundición en el mundo ha dispensado una gran atención a la aplicación de métodos que permitan incrementar el aprovechamiento total útil e incrementar el número de piezas sanas obtenidas con el mínimo de metal posible.

Se desprende de todo eso, casi sin tener que comentarlo, la importancia que reviste efectuar el cálculo racional de las mazarotas y elevar el aprovechamiento útil del total de metal que obtenemos en los hornos. Para ello, debemos plantear sintetizadamente, que los objetivos a alcanzar son los de lograr:

- La forma geométrica adecuada de las mazarotas que permitan una prolongada alimentación de la pieza. Ejemplo: esférica, cilíndricas, cónicas y variadas.
- Lograr con el mínimo de mazarota, incrementar V_{pmax} alimentar. Ejemplo: vertido inclinado y vertido a través de mazarota única.
- Disminuir el tamaño de las mazarotas, garantizando igual o mayor eficiencia que las grandes. Ejemplo: el empleo de materiales termoaislantes y exotérmicos.
- Aplicar métodos forzados de acción de la mazarota que garanticen el funcionamiento de mazarotas pequeñas. Ejemplos: machos

atmosféricos, machos a presión, inyectado de aire, calentamiento con llamas o arco eléctrico en las mazarotas abiertas.

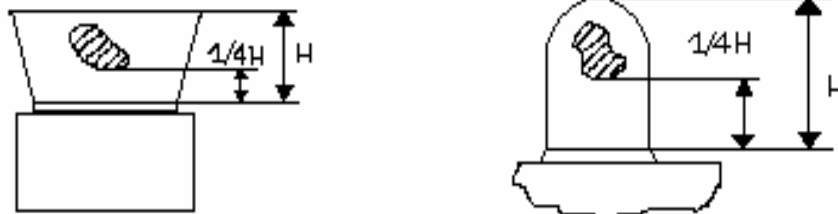
En esencia pretendemos que cuando se fundan 1000 toneladas de acero, logramos convertir 700 u 800 en piezas y con ello lograr un salto productivo con plena garantía de calidad.

1.2 Otros cálculos sobre las mazarotas. (1, 64)

Las condiciones iniciales para el cálculo de la mazarota son las siguientes:

1. La mazarota debe de solidificarse en último orden.
2. El rechupe debe de estar completamente en la mazarota, por lo tanto, la parte inferior del mismo debe encontrarse a una altura por encima de la base de la mazarota de $1/4H$.

Figura



2

1.2.1 Mazarotas de piezas cilíndricas. (Tma-5, A)

Dimensiones de la pieza: Diámetro= D ; Altura= H ; Volumen= V

Entonces:

$v = \frac{\pi * D^2}{4} H$; el volumen del metal para compensar la contracción es

$V_0 = 0.043$ $V = 0.034D^2H$, por lo que V sería la contracción volumétrica del acero con 0.45%C.

El diámetro de la esfera del metal necesario para compensar la contracción:

$$d_0 = \sqrt[3]{0.065D^2H} \approx 0.040\sqrt[3]{D^2H} \text{ (mm)}$$

El valor dado en función del diámetro de la pieza D y de la Altura H se da en (Tma-5, B)

1.2.2 Mazarotas de piezas de sección rectangular (Tma-5, B)

Dimensiones de la pieza: Espesor=b; Longitud=L; Altura=H

$$\text{Área de la sección } S=H*b$$

Área de la sección del metal de compensación S_0 :

$$S_0=0.043 \quad S=0.043H*B$$

Diámetro de la circunferencia del metal de compensación d_0 :

$$d_0 = \sqrt{0.054H * b} \approx 0.22\sqrt{H * b} \text{ (mm)}$$

Los valores d_0 en función del espesor de la pieza b y en dependencia de la altura H se dan (Tma-5, B)

1.2.3 Mazarotas para los nudos de la pieza con sección en T (Tma-6)

Dimensiones de la pieza: Espesor=b; Altura=H; Radio de empalme=R

$$\text{Espesor del nervio}=a$$

El valor del Radio en la unión se toma:

$$R = \frac{(a+b)}{4} \text{ (mm)}$$

El diámetro de la circunferencia inscrita en la unión de la pared de la pieza con el nervio:

$$d = b + \left(\frac{\frac{a}{2} + R}{b + 2R} \right)^2 \approx b + \frac{(3a+b)^2}{8(a+b)} \text{ (mm)}$$

Los valores de d_0 en función del espesor para diferentes valores de (a), se dan (Tma-6, b).

Hallemos la magnitud de la sección de la mazarota:

$$B = d + 0.4H * \text{tg } 30 \approx d + 0.02H \text{ (mm)}$$

Para calcular el área de sección, tomamos la suma de las áreas de las paredes vertical y horizontal; la longitud de la pared horizontal para el cálculo la tomaremos igual a $2a$.

El diámetro para el metal de compensación:

$$d_0 = 0.2\sqrt{H * b + 2a^2} \text{ (mm)}$$

En (Tma-6, c) se dan los valores de d_0 en función del producto $H*b$ y en dependencia del espesor del nervio (a), el diámetro de la mazarota en el caso dado será:

$$D_m = b + d_0 \text{ (mm)}$$

1.2.4 Mazarotas para nudos de piezas en formas de anillo (Tma-7, A)

Dimensiones del nudo de la pieza:

Diámetro interior= D_0 ; Diámetro exterior= D ; Radio de acoplamiento= R

Altura= H ; Espesor de la pared horizontal= a .

Calculo se efectúa análogamente al caso anterior

El diámetro de la circunferencia inscrita:

$$d = \frac{D - D_0}{2} + \frac{\left[3a + \frac{D - D_0}{2}\right]^2}{8\left[a + \frac{3}{2}(D - D_0)\right]} \text{ (mm)}$$

En correspondencia a la (Tma-6, b) es necesario tomar en lugar del valor b la diferencia $\frac{D - D_0}{2}$, en este caso $B = D + 0.02H$

$$d_0 = 0.22\sqrt{H \frac{D - D_0}{2} + 2a^2} \text{ (mm)}$$

Cuando al calcular el diámetro de la sección superior del macho ($D-2B$) y es menor de 30mm la mazarota es cerrada diámetro= D y la altura $H+h$, donde h es igual a la altura del macho, este ultimo entra en la mazarota.

1.2.5 Mazarotas para nudos térmicos de la pieza con sección en forma de cruz (Tma-7, B).

Dimensión del nudo de la pieza: Espesor de la pared vertical= b

Espesor de la pared horizontal que la atraviesa= a

Altura de la pared vertical= H

Radio de acoplamiento= R

Esta sección no es muy recomendable para obtener buena pieza fundida pues en ambos lados en punto de conjugación de las paredes verticales y horizontales, existen nudos térmicos en los cuales el proceso de solidificación es el ultimo en efectuarse.

Calcular el diámetro de la circunferencia inscrita (d) cuando R es: $R = \frac{a+b}{4}$

$$d = \sqrt{\frac{5a^2 + 6ab + b^2}{2} - \frac{a+b}{2}} (mm)$$

$$S \approx H \frac{b+B}{2} + 4a^2 (mm)$$

$$d_0 = 0.22 \sqrt{H \frac{b+B}{2} + 4a^2} (mm)$$

1.2.6 Mazarotas para los nudos de piezas cilíndricas con sección en forma de cruz (Tma-7, a).

Los nudos de las piezas exigen un aumento del diámetro en la parte superior, mas arriba del nervio.

$$d = \sqrt{\frac{5a^2 + 6aD + 5D^2}{2} - \frac{a+D}{2}} (mm)$$

El volumen de la parte alimentada, en la pieza será:

$$V = \frac{\pi}{4} \left[(D^2 + D_1^2) * \left(\frac{H-a}{2} \right) + a(D_1 + 4a)^2 \right] (cm^3)$$

$$d = 0.4 \sqrt{(D^2 + D_1^2) * \frac{H-a}{2} + a(D_1 + 4a)^2} (mm)$$

El calculo de la mazarota, se basa en la generalización de los datos experimentales. La disposición de la mazarota y su cantidad se determina

por los resultados de los estudios realizados sobre los límites de alimentación de las mazarotas.

1.3 Función de las mazarotas. (2, 5, 23, 26, 50, 56)

Durante la solidificación de las piezas de grafito esferoidal tiene lugar a cuatro fases:

- Expansión global debido a la solidificación rápida que se produce a lo largo las paredes de molde.
- Contracción del líquido interior.
- Expansión imputable a la solidificación simultanea de una gran parte del molde.
- Rechupe que acompaña la última fase de solidificación.

En la práctica es necesario aprovechar los fenómenos de autoalimentación de la fundición, lo ideal sería prescindir de mazarotas: lo cual se cumple fácilmente en las piezas que presentan gruesos las paredes o menos uniformes. Pero, con frecuencias, las paredes tienen formas complejas y poseen paredes delgadas y gruesas, las cuales se unen entre sí. Como es lógico las paredes delgadas se solidifican antes que las gruesas y se alimentan de estas que tienen metal líquido. Por este motivo las partes gruesas sufren la sustracción del metal líquido. La función de las mazarotas es conservar para las partes gruesas la cantidad de metal líquido que las partes finas le sustraen.

Las mazarotas dejan de desempeñar su función si se solidifica antes que las partes delgadas de las piezas, para evitar hay que tener en cuenta algunas indicaciones:

- Mejor rendimiento se obtiene utilizando mazarotas sección circular.
- Una mazarota de diámetro igual o ligeramente superior al mayor espesor del molde resulta ser suficiente.

- La distancia entre la pieza propiamente dicha y la mazarota oscila, en general, entre el diámetro y un tercio de esta.
- La unión de la mazarota con la pieza debe de ser lo más cercana posible a la parte donde la pieza se solidifica ultimo.

Cuando las partes estrechas totalicen un volumen importante, se puede alimentar la pieza a través de la mazarota.

1.3.1 Tipos de mazarota.

Teóricamente, la mazarota debe compensar la contracción volumétrica y contener el metal líquido hasta la total solidificación de la pieza. En los cálculos teóricos se toma en cuenta el volumen mínimo de contracción del metal líquido.

Los principales tipos de mazarotas se clasifican según:

- Lugar donde se coloquen, donde las mazarotas son superiores y laterales.
- Configuración y forma geométrica, y pueden ser planas, cónicas, semicirculares y circulares.
- Principio de funcionamiento y construcción, aquí se definen como abierta y cerrada; de acción simple, calentadas y exotérmicas por presión atmosférica o por presión de gas.
- Métodos de separación de la pieza, las cuales son trozadas, golpeadas y de fácil desprendimiento.
- Método de vertimiento, en el sistema y de acción independiente.

Las mazarotas superiores (rectas) se colocan directamente en los nudos térmicos de las piezas, pueden ser abiertas y cerradas.

Las abiertas sirven a la vez, como respiraderos, ya que se utilizan para la salida de los gases y aires del molde, y señalan cuando el molde esta lleno.

El inconveniente de las mazarotas abiertas, esta en el aumento del gasto del metal, su altura tiene relación con la altura de la tapa superior y es frecuente que se aumente injustificadamente. La plantilla de la mazarota separable se

elabora aparte de la plantilla de la pieza y se extrae del molde como la plantilla del tragadero.

Las mazarotas cerradas permiten disminuir el gasto del metal en ellas, siendo más económicas. Estas garantizan una alimentación intensiva de la pieza, especialmente cuando utilizan la presión atmosférica o por presión de gas en el metal líquido, se utilizan cuando el moldeo es a máquina y también en aquellos caso, cuando la caja superior es grande.

Son preferibles por su forma mazarotas circulares ya que estas, en comparación con las abiertas, hay una relación mínima de la superficie exterior de la mazarota con el área de su sección. Estas deben tener protector de mazarotas cuyo radio debe ser igual a la mitad a la mitad del radio de la mazarota.

Las mazarotas laterales alimentan la pieza considerablemente menos, deben colocarse mas arriba del nudo alimentado, y el cuello que une la mazarota con el nudo de alimentación, debe ser corto y tener una sección con una superficie mínima de enfriamiento.

Estas se deben utilizar en casos extremo y se recomienda acelerar su acción por medio de presión atmosférica. En la mazarota cerrada después del vertido de molde y durante la solidificación de la pieza, se forma una capa endurecida de metal, lo cual aísla la mazarota de la atmósfera.

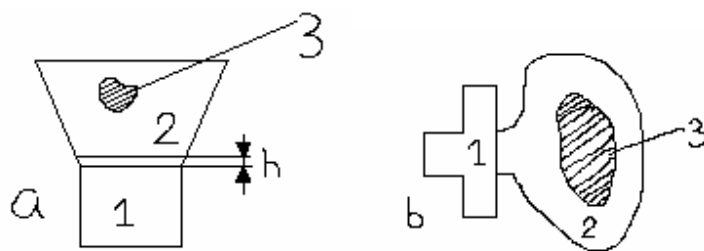


Figura 1 a) Directas

b) Laterales

1. pieza
2. mazarota
3. rechupe

h-sobremedida para eliminar la mazarota por oxicorte.

1.3.2 Camisas exotérmicas.

Para una correcta fundición además de las mazarotas se utilizan con el las camisas exotérmicas, la firma MOLDFEEDDEX da algunos datos sobre su función, características pues es un compuesto que contiene productos químicos que se queman al contacto con un metal fundido, y que al desarrollar un calor intenso forma un aislante eficiente. Además contiene agentes aglutinantes por lo que puede moldearse fácilmente en diferentes formas tales como cilindros huecos, camisas o manguitos que se colocan en las mazarotas de las piezas.

Durante la colada, cuando el metal que llena el molde llega a las mazarotas, se produce una reacción exotérmica que mantiene el metal líquido, aumentando o manteniendo su temperatura durante un prolongado período de tiempo, disminuyendo gradualmente la misma, lo que favorece la solidificación direccional de la pieza.

Esta presenta algunas ventajas las cuales les daremos referencia debido a que aumenta la eficacia de la alimentación y el rendimiento de todos los metales.

Debido a la reducción del tamaño de la mazarota se obtiene:

1. Más piezas con la misma cantidad de metal.
2. Reducción en los costos de fundición para una producción determinada.
3. Las piezas, cuyas mazarotas son difíciles por su configuración, se obtienen sanas y libres de rechupes de contracción.
4. Se reducen los gastos de acabado.
5. Para lograr el tiempo de enfriamiento del metal, se colocan cuñas o placas de MOLDFEEDDEX en sitios adecuados de los moldes.

6. Cuando se trata de grandes piezas de acero, generalmente se pincha con una barra la superficie de las mazarotas para evitar que se forme una costra, esto se evita con el uso de MOLDFEEDEX.

1.3.3 Contracción volumétrica de aleaciones fundidas. Rechupe y poros de contracción en las piezas fundidas.

Contracción volumétrica son todos los cambios volumétricos que ocurren en la pieza desde el momento de vertido del fundido en el molde y durante su enfriamiento hasta la temperatura ambiente. Esto significa que la contracción volumétrica completa ($\epsilon_{v\text{comp}}$) ocurre a partir de la contracción del fundido durante su enfriamiento desde la temperatura de vertido hasta la temperatura de cristalización Tlíq. (ϵ_{vl}), la contracción en el período de solidificación (ϵ_{vs}) y la contracción durante el enfriamiento y solidificación de la pieza desde T_s hasta la temperatura ambiente (ϵ_{vt}). Figura 3.

$$(\epsilon_{v\text{com}}) = (\epsilon_{vl}) + (\epsilon_{vs}) + (\epsilon_{vt})$$

Para las piezas generalmente se determina la contracción relativa $\epsilon_{vr} \%$.

$$\epsilon_{vr} = \frac{V_m - V_p}{V_p} * 100\%$$

Donde V_m y V_p : volumen del modelo a partir del cual se hizo el molde y volumen de la pieza a temperatura ambiente respectivamente.

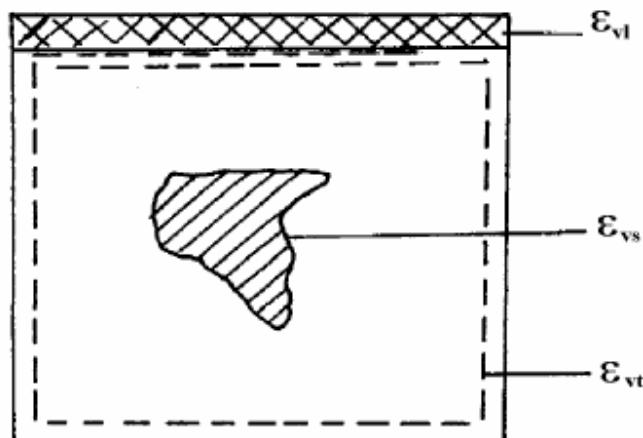


Figura 3. Esquema de los cambios volumétricos durante el enfriamiento.

La contracción volumétrica en las piezas aparece en forma de concentración de rechupes o vacíos de contracción. Esta se puede determinar en dependencia de la posición de la aleación en el diagrama de estado y la velocidad de solidificación (figura 4).

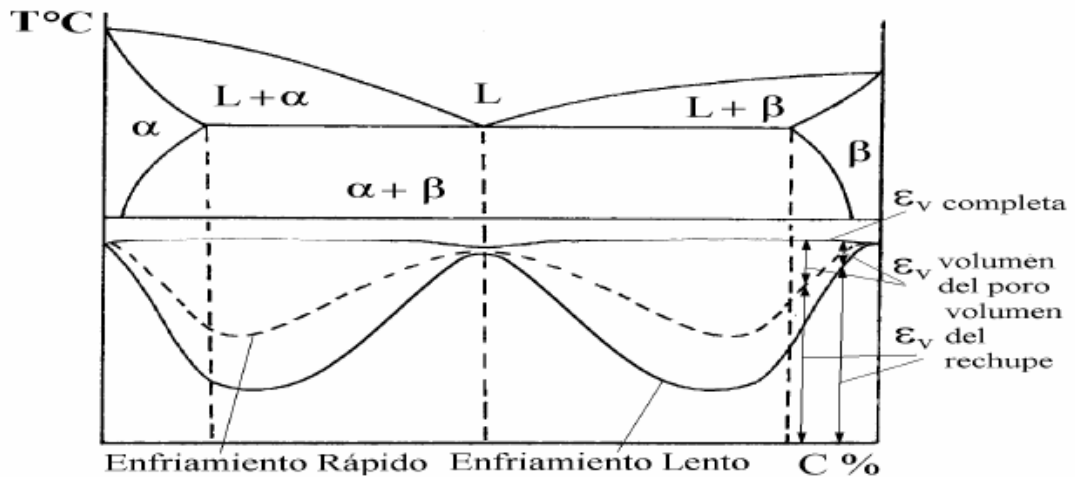


Figura 4. Enlace entre el volumen de los rechupes y los poros de contracción con la posición en el diagrama de Estado y la velocidad de solidificación.

Los metales puros y las eutécticas que se solidifican en las condiciones de solidificación ordenada, a cualquier velocidad de enfriamiento producen una concentración de rechupe, el mecanismo de su formación se observa en la figura 5. Después del vertido de la aleación en el molde, al principio en la superficie se forma una corteza sólida, en el interior de la cual se encuentra encerrado todo el metal líquido restante. A medida que el coeficiente de cambios volumétricos es mayor para la aleación líquida, $\epsilon_{v l}$ es mayor que para el sólido $\epsilon_{v s}$, entonces en el proceso de solidificación cada nivel siguiente va produciendo una corteza sólida acompañada de la disminución del volumen de la aleación, lo que al final produce la formación de concentraciones de contracción.

El aumento de la velocidad de enfriamiento sin cambio en la temperatura de vertido trae en este caso el aumento del volumen del rechupe, pues la corteza exterior se forma más rápidamente. La disminución de la velocidad de enfriamiento, al contrario, va a disminuir el volumen de los rechupes, pues

la corteza dura se forma un poco más tarde (cuando la temperatura del fundido sea mucho menor y los cambios volumétricos en la solidificación sean menores). El aumento en la temperatura de vertido sin cambios en las propiedades termo físicas del molde trae como consecuencia al comienzo algún crecimiento en el volumen de los rechupes concentrados (cuando los cambios volumétricos relacionados con el crecimiento de la temperatura del metal fundido y el tiempo de aparición de la corteza dura, después del vertido cambió poco), después disminuye el volumen de los rechupes, pues en el proceso de eliminación del calor, el sobrecalentamiento de la capa de metal es grande, por lo que la corteza dura se forma más tarde.

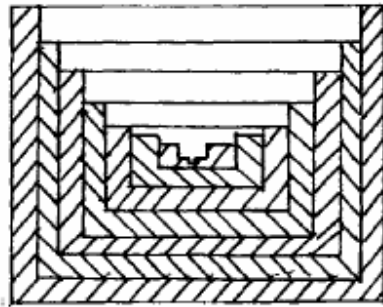


Figura 5. Esquema de formación del rechupe durante la solidificación ordenada.

Los rechupes pueden ser abiertos (figura 5) y cerrados (figura 6). Cuando se forman los rechupes cerrados después de la formación de la corteza exterior (puente) con la siguiente disminución en el nivel del fundido (por la contracción) en el rechupe se va a formar un semivacío, por lo cual la superficie exterior se va a flexionar (figura 6) y la alimentación de las capas centrales de cristalización se dificultará. A partir de ese punto de vista es preferible que se logre un rechupe abierto.

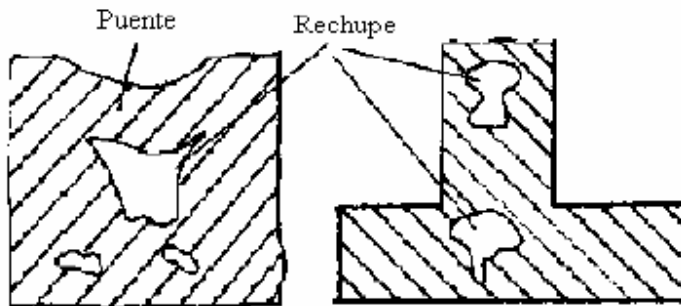


Figura 6. Esquema de rechupes cerrados.

Teniendo en cuenta que los rechupes en el cuerpo de las piezas no se permiten, entonces para la producción de piezas de estas aleaciones sobre las partes más masivas de estas piezas se colocan las mazarotas, las que son una reserva de aleación líquida que se solidifica más lentamente y esta aleación compensa el rechupe en la pieza (figura 7). Esto trae como consecuencia que el rechupe ocurra en la mazarota y luego se separa la misma de la pieza.

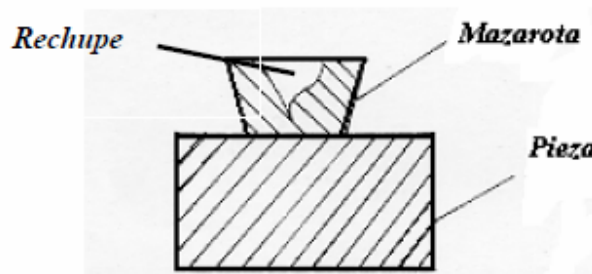


Figura 7. Pieza con mazarota.

La tecnología de elaboración de una pieza en este caso es necesario realizarla teniendo en cuenta el principio de la solidificación dirigida que garantiza que el metal más caliente llegue a la mazarota ubicada en la parte más masiva de la pieza.

Solidificación dirigida es aquel proceso cuando en primer orden se solidifica la parte más alejada de la mazarota, luego la menos alejada, después la parte que se encuentra por debajo de la mazarota y por último la mazarota.

/50/

Para mejorar el trabajo de la mazarota se utilizan diferentes materiales termoaislantes, que se colocan en la superficie del metal. La formación de la superficie lateral termoaislante o exotérmica se hace con mezclas especiales, las que provocan por diferentes métodos una presión excesiva en la región donde se formará el rechupe en el período de cristalización (figura 8).

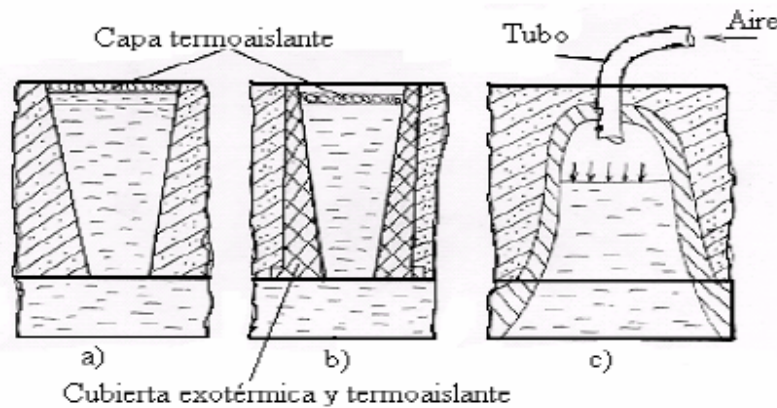


Figura 8. Algunas variantes para mejorar el trabajo de las mazarotas.

- Utilizando una capa termoaislante
- Utilizando un recubrimiento exotérmico y termoaislante y la capa superior termoaislante
- Utilizando presión exterior, soplando en la región del rechupe aire a una presión de 5-7 atmósferas.

Para las aleaciones que se solidifican con intervalos de temperatura, junto con el rechupe se forman también los poros de contracción, los cuales por su forma son microrrechupes (ver figura 9). Está establecido que los poros aparecen en condiciones de cristalización volumétrica.

Los cristales de la aleación ininterrumpidamente crecen a medida que disminuye la temperatura en el intervalo sólido-líquido (ver figura 4), y llega el momento en que estos cristales chocan entre sí y aparecen partes del metal líquido sin solidificarse, como al formarse el microporo. Al mismo tiempo ocurre el proceso de disminución de la solubilidad de los gases, los gases liberados se difunden entre estos microporos, crean una presión

considerable, deforman los mismos, y aparece un defecto que se nombra no sólo poros de contracción sino también porosidad de contracción gaseosa.

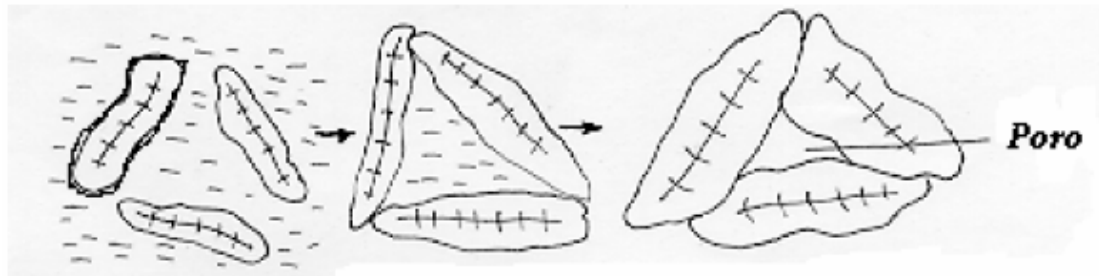


Figura 9. Orden de las etapas de formación de los microporos cuando la cristalización es volumétrica.

Como se observa en la figura 10, a mayor intervalo de temperatura de cristalización de las aleaciones y entre más lento se enfrían, en menor grado se obtiene una concentración volumétrica de rechupes y mayor volumen en los poros de contracción. Si los poros se distribuyen por todo el volumen de la pieza, entonces se llama porosidad volumétrica. Cuando se producen piezas de estas aleaciones colocar una mazarota para aumentar su densidad no tiene sentido, pues en las condiciones de cristalización volumétrica la porosidad en igual nivel aparece tanto en la pieza como en la mazarota. La tecnología para la preparación de estos tipos de piezas es necesario elaborarla bajo el principio de solidificación simultánea de las diferentes partes de la pieza con la caída del metal en su parte más fina. En estos casos las partes finas del molde se recalientan más (durante el vertido a través de estas partes pasa mayor cantidad de metal líquido) y la velocidad de solidificación en las partes finas y masivas se iguala.

Las piezas hechas con este tipo de aleaciones no se pueden utilizar en condiciones donde se necesite hermeticidad. Si existe esta necesidad, entonces es necesario utilizar la cristalización bajo una alta presión externa. Además, como se deduce de la figura 10, cuando se funden estas aleaciones el aumento de la velocidad de enfriamiento trae como consecuencia el

aumento del rechupe concentrado, los poros van a ocupar toda la parte estrecha y central de la pieza (esta porosidad se llama de eje, ver figura 10).

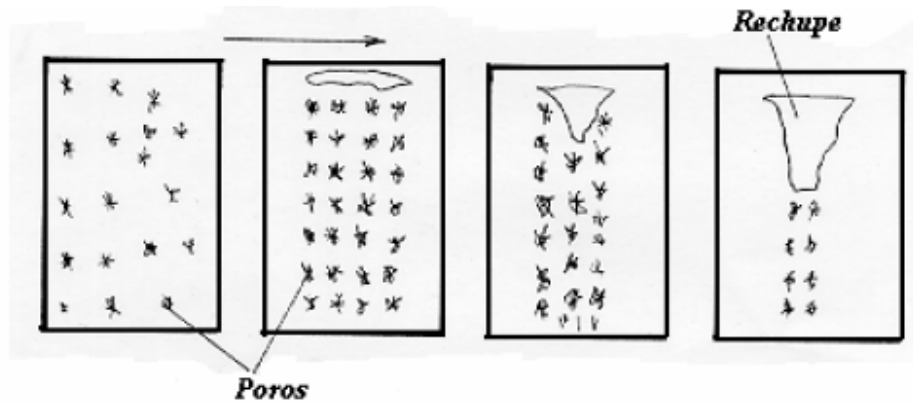


Figura 10. Esquema que indica la influencia de la velocidad de cristalización para las aleaciones con gran intervalo de cristalización en el cambio de la relación entre el rechupe y la porosidad de contracción.

Lo mismo ocurre para aleaciones con intervalo y si disminuimos el intervalo de cristalización (con la misma velocidad de enfriamiento), con la disminución de la temperatura del metal fundido, si se forman los rechupes, entonces es obligatoria la colocación de las mazarotas, y la tecnología de producción de estas piezas es necesario elaborarla bajo el principio de solidificación dirigida y con la entrada del metal por las partes masivas de las piezas.

La porosidad de eje es un tipo de la llamada porosidad zonal, la que contiene en sí la porosidad de las paredes gruesas y de las zonas de sobrecalentamientos locales donde caen los alimentadores.

En casos aislados la porosidad de eje ocurre en las aleaciones sin intervalo de cristalización que se solidifican ordenadamente cuando existe un puente de cristalización dendrítica. En este caso, las dendritas que crecen, el encuentro entre ellas en el centro de la pieza y sus espacios interdendríticos van a formar porciones aisladas de aleación líquida y durante la solidificación se forma la porosidad de eje.

Para valorar la tendencia de diferentes aleaciones a la formación de defectos por contracción se utilizan diferentes ensayos tecnológicos (figura 11.a cilíndricas, figura 11.b escalonada), que se usan en su mayoría para valorar

la tendencia de las aleaciones a formar rechupes centrados. El volumen de estos en los ensayos se determina, por ejemplo, por el método de vertido en ellos de una cantidad de gasolina que llene todo su volumen (la gasolina se vierte a través de un agujero que se abre en el puente hasta el rechupe), luego en dependencia del volumen de la gasolina vertida se calcula el volumen del rechupe. También se puede cortar la probeta por el centro en dos partes iguales y con la gasolina determinar el volumen. El ensayo que se observa en la figura 11.c, sirve tanto para determinar el volumen de los rechupes concentrados (como en los ejemplos a y b), así como el volumen de los poros. Esto se calcula por el método de pesado hidrostático. Primero se calcula la densidad de la pieza que contiene los poros (ρ_p), luego se determina la densidad de una sección horizontal (1) que se considera sin poros (ρ_{h0}) y se utiliza esta como la densidad de la aleación. El volumen de poros en % se determina por la fórmula:

$$\xi_{\text{poros}} = \frac{\rho_p - \rho_{h0}}{\rho_{h0}} * 100$$

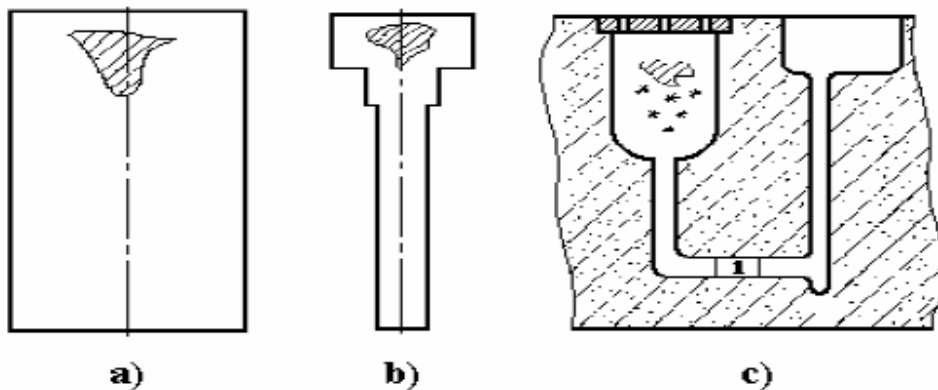


Figura 11. Ensayos tecnológicos para valorar la tendencia de diferentes aleaciones a la formación de defectos por contracción.

1.4 Diseño de muelles. (4, 31, 61)

En una gran cantidad de maquinaria y en muchas aplicaciones, en las cuales se reciben una gran cantidad de esfuerzos, es necesario que esos esfuerzos sean absorbidos y que esta energía asimilada no afecte el material ni el desempeño de esta maquinaria.

Para ello existen los muelles, que son elementos mecánicos fabricados de distintos materiales, capaces de soportar altos esfuerzos y con una gran capacidad de deformación elástica. Es importante mencionar que uno de los materiales de mayor utilización en los muelles es el acero y todas sus aleaciones.

Existen distintos tipos de muelles para distintas aplicaciones:

Los muelles de flexión, o también denominados muelles de ballesta, que poseen una configuración de una serie de laminas con igual espesor y ancho, pero de distinta longitud; muy utilizada en la industria del automóvil y ferrocarriles.

Los muelles de torsión, en donde encontramos los de tipo de eje rectilíneo y los de hélice cilíndrica; consiguen en los sistemas de suspensión, su mercado natural.

Los muelles cónicos helicoidales, que tienen como característica principal que su resistencia aumenta al aplicársele un mayor esfuerzo, muy utilizado en los vehículos ferroviarios y en las prensas

Y por último los muelles de goma, que aunque no está hecho de acero, tiene cada vez mayor aceptación, actúan como amortiguadores y con bajos desplazamientos elásticos, utilizados en parachoques, aparatos vibrantes, etc.

1.4.1 Características de los Aceros para muelles.

1. Es indispensable que los aceros posean un alto límite elástico, es decir, que el coeficiente de trabajo no sobrepase el límite de elasticidad.

2. En la práctica industrial, el límite de elasticidad a la tracción suele oscilar entre $8,83 \cdot 10^8 \text{Pa}$ y $1,77 \cdot 10^9 \text{Pa}$, dependiendo del uso y de las características de dimensión, composición, etc.
3. Para que un muelle funcione normalmente, el valor del límite de elasticidad debe ser muy elevado y próximo a las cifras antes señaladas, y como la resistencia a la rotura suele oscilar de un 10 a un 40% superior al límite elástico, es decir, de $9,81 \cdot 10^8 \text{Pa}$ y $2,35 \cdot 10^8 \text{Pa}$.
4. Es importante que los muelles, posean resistencia a la fatiga, pues muchos de los muelles, en vida útil, reciben los esfuerzos en forma cíclica y repetitiva.
5. Es necesario evitar la descarburación de los muelles en sus procesos térmicos y de fabricación, pues esto cataliza el proceso de fatiga, porque la descarburación, se produce inicialmente en la periferia, y es por la periferia donde el muelle tiende a comenzar su falla. Igualmente hay que cuidar la presencia de grietas, defectos que pueda tener el muelle.

COMPOSICIÓN DE LOS ACEROS PARA MUELLES

Composición en %						
P<0,03 S<0,03						
#	C	Mn	Si	Cr	V	W
Aceros al Carbono						
1	0,45 - 0,60	0,60 - 0,80	0,20 - 0,30	-	-	-
2	0,60 - 0,80	0,60 - 0,80	0,20 - 0,30	-	-	-
3	0,80 - 1,00	0,50 - 0,70	0,20 - 0,30	-	-	-
Mangano-Siliciosos						
4	0,42 - 0,52	0,60 - 0,90	1,70 - 2,00	-	-	-
5	0,50 - 0,60	0,70 - 1,00	1,70 - 2,00	-	-	-
Al Manganeso						
6	0,50 - 0,70	0,80 - 1,20	-	-	-	-
Cromo-Manganeso						
7	0,40 - 0,50	0,60 - 0,80	-	0,90 - 1,10	-	-
8	0,45 - 0,55	0,60 - 0,80	-	0,90 - 1,10	-	-
Cromo-Silicio						
9	0,40 - 0,60	0,50	0,90 - 1,10	0,90 - 1,10	-	-
Cromo-Manganeso-Vanadio						
10	0,45	0,60 - 0,80	-	0,90 - 1,10	0,20	-
11	0,55	0,60 - 0,80	-	0,90 - 1,10	0,20	-
Para muelles que trabajan en caliente						
12	0,50	0,30	0,30	1,50	0,30	2,00
13	0,60	0,90	1,95	-	0,35	Mo 0,50
14	0,55	1,15	1,95	-	0,35	Mo 1,30

La composición, por economía, también va a depender del tipo de temple que se le vaya aplicar, se sugiere que se realice el temple por aceite, pues se evita tener un cambio tan brusco de temperatura, como se produce con el agua (el punto de ebullición del aceite es mayor). Mientras el temple sea más agresivo, más posibilidades han de generar grietas, deformaciones o temples imperfectos. Como también, al templar en aceite no se afecta tanto la calidad de los muelles; cuando el aspecto calidad es determinante en el diseño. Igualmente dependerá del espesor del muelle, traerá como consecuencia que se elija uno otro tipo de acero.

Por ejemplo se tienen distintos aceros como los aceros al manganeso, cromo-manganeso, cromo-silicio, que a diferencia de los mangano-siliciosos, poseen una mayor aptitud al temple.

El problema de los mangano-siliciosos es que tienen a descarburarse cuando son sometidos a tratamientos térmicos. Los aceros mangano-siliciosos han sido muy usados en la fabricación de ballestas, aunque en la actualidad están siendo desplazados con aceros de otras características que soporten mejor los tratamientos térmicos.

Los aceros cromo-manganeso son más frecuentes ver uso, junto con los de cromo - vanadio en la fabricación de hojas maestras de ballestas a ser utilizadas en ferrocarriles, automóviles, etc. Entre ellos encontramos aceros al manganeso de 0,5% a 0,7% de carbono y de 0,8% a 1,2% de manganeso.

1.4.2 Tratamientos Térmicos de los Aceros para Muelles.

RECOCIDO.

El recocido de los aceros para muelles exige ciertas precauciones especiales, que a veces puede inutilizar el material por efectuarse mal esta operación. El recocido tiene por objeto ablandar el acero, quitarles tensiones que se han originado en la laminación y trefilado y hacer posible el enrollado. En este proceso debe evitarse que el material se descarbure, pues luego en las zonas descarburadas se inician fácilmente grietas de fatiga durante el trabajo del muelle y además, con la descarburación, se disminuye la sección transversal útil de muelle, ya que el comportamiento elástico de la zona descarburada es muy bajo. Sobre todo ha que tener especial precaución con los aceros mangano-siliciosos, que se descarburan con mucha mayor facilidad que los demás. Para evitar este contratiempo, se pueden hacer los recocidos en cajas cerradas con bastante cantidad de viruta de fundición exenta de humedad o en hornos de atmósfera controlada, procurando no

elevar demasiado la temperatura, siendo preferible, a veces, obtener durezas no muy bajas y tener seguridad de que no hay descarburaciones.

El recocido se suele efectuar a temperaturas comprendidas entre 750° y 800° y luego se enfría lentamente en el horno a los 600°. De esa forma quedan los aceros con durezas comprendidas entre 170° y 220° unidades Brinell.

TEMPLE.

Se realiza a temperaturas variables de 800° a 900° y no exige precauciones muy especiales. Se obtienen muy buenos trabajos realizando el calentamiento en hornos de sales, ya que de esa forma empleando sales de cianuro ligeramente carburantes no solo se evita la descarburación, sino se consigue una ligera carburación superficial que es muy beneficiosa. Además se evita la oxidación superficial y la presentación es muy buena. El enfriamiento se hará rápidamente en agua o aceite, según el tipo de acero. Los aceros al carbono y de baja aleación se templean en agua y los aceros cromo-vanadio y algunos otros aleados, en aceite. El temple en aceite tiene la ventaja de que produce menos deformaciones que el temple en agua, pero solo se puede emplear para los aceros aleados o perfiles delgados de aceros de baja aleación.

La mejor forma de conocer si los aceros para muelles deben ser templados en agua o aceite, es el estudio de las curvas de Jominy. En ellas se ven diferencias importantes a pesar de ser el contenido en carbono de todos estos aceros casi el mismo.

REVENIDO.

Se suele efectuar a temperaturas variables desde 200° a 500°, según el proceso de fabricación, y luego se enfrían al aire. En algunos talleres que no tienen buenos aparatos para la medida de la temperatura, al revenir los muelles gruesos y ballestas, para comprobar si el acero tiene la temperatura conveniente, suele utilizar como pirómetro un trozo de madera. Es un procedimiento muy clásico, poniendo una madera en contacto con el acero a

400° aproximadamente, desliza suavemente, a 450° la madera comienza a quemar y a 500° se quema y aparecen pequeñas llamas.

1.5 Vigas. (19, 31)

En ingeniería y arquitectura se denomina **viga** a un elemento constructivo lineal que trabaja principalmente a flexión. En las vigas la longitud predomina sobre las otras dos dimensiones y suele ser horizontal.

El esfuerzo de flexión provoca tensiones de tracción y compresión, produciéndose las máximas en el cordón inferior y en el cordón superior respectivamente, las cuales se calculan relacionando el momento flector y el segundo momento de inercia. En las zonas cercanas a los apoyos se producen esfuerzos cortantes o punzonamiento. También pueden producirse tensiones por torsión, sobre todo en las vigas que forman el perímetro exterior de un forjado. Estructuralmente el comportamiento de una viga se estudia mediante un modelo de prisma mecánico.

La teoría de vigas es una parte de la resistencia de materiales que permite el cálculo de esfuerzos y deformaciones en vigas. Si bien las vigas reales son sólidos deformables, en teoría de vigas se hacen ciertas simplificaciones gracias a las que se pueden calcular aproximadamente las tensiones, desplazamientos y esfuerzos en las vigas como si fueran elementos unidimensionales.

1.6 Vibraciones mecánicas. (27, 33, 36, 37, 49, 50)

La teoría de las vibraciones mecánicas estudia un conjunto de fenómenos que han atraído la atención no sólo del técnico y del científico, sino incluso de cualquier hombre que en su vida corriente haya encontrado alguna de las muy diversas manifestaciones de los mismos.

Los sistemas mecánicos, al sufrir un choque, o al ser sometidos a la acción de fuerzas variables con el tiempo, principalmente periódicas, responden

variando sus estados de equilibrio y, consecuentemente, presentan cambios de configuración que perturban su normal funcionamiento, resultan molestos para el personal que se encuentra en su presencia y acortan su vida útil a causa del daño producido al material por efecto de la fatiga y de las sobrecargas.

Una característica muy significativa de dichos fenómenos, cuando la excitación tiene unas frecuencias particulares, para cada sistema dado, son los cambios de configuración que alcanzan amplitudes notables y ocasionan generalmente un fallo estructural del material sometido a esfuerzos de rotura. Este riesgo existe incluso cuando las intensidades de las acciones excitadoras son muy pequeñas.

Sin embargo, no conviene olvidar que estos fenómenos de efectos perniciosos, que suponen una primera preocupación del técnico y son los más conocidos del profano, presentan, por el contrario, un aspecto enormemente positivo, derivado de la posibilidad de obtener con estímulos insignificantes efectos notables, que, canalizados convenientemente por la técnica, ha llevado a muchas aplicaciones provechosas, también familiares para el profano, tanto en fenómenos mecánicos, objeto de nuestro estudio, como en otros fenómenos análogos que se presentan en los campos electromagnético, acústico, térmico, etc.

Cualquier proyecto industrial de una estructura que haya de estar sometida a acciones periódicas de este tipo, debe necesariamente ser elaborado sin prescindir del conocimiento de esta materia, cuyo olvido conduce a fallos lamentables, de los que ha habido muchos y contundentes ejemplos en la historia de las realizaciones técnicas.

1.6.1 Vibraciones libres y forzadas.

Hablaremos de vibraciones libres, cuando se producen por algún desequilibrio inicial del sistema, que cesa inmediatamente, y sin la acción de fuerzas o momentos excitadores exteriores a lo largo del tiempo. Las

vibraciones forzadas se producen bajo la acción de fuerzas o momentos excitadores exteriores variables con el tiempo.

En el primer caso el movimiento tiene su origen solamente en la perturbación inicial (campos vectoriales de desplazamientos y velocidades iniciales), mientras que, en el segundo, se superpone a esta causa un permanente estímulo de fuerzas o momentos claramente determinados, funciones del tiempo y que, generalmente, no dependen del movimiento del sistema.

Vibraciones autoexcitadas. Es un caso particularmente interesante, que no encaja rigurosamente en ninguna de las dos clases de vibraciones definidas. Se trata de vibraciones que tienen su origen en propio movimiento del sistema, es decir, que son funciones de los vectores posición, velocidad, e incluso aceleración del mismo, en cada instante.

Si no existe perturbación inicial, el sistema permanece en su posición de equilibrio, pero al presentarse alguna perturbación, el movimiento que se inicia origina fuerzas excitadoras de vibraciones. A pesar de la existencia de excitación y debido al especial carácter de la misma, estas vibraciones tienen más afinidad con las vibraciones libres que con las forzadas.

Choques. Se debe resaltar la relación que pueden presentar los choques con las vibraciones, que consiste simplemente en el hecho de que aquellos originan una perturbación inicial de la posición de equilibrio del sistema, que generalmente conduce a subsiguientes vibraciones libres, o bien, en algunos casos, forzadas (sí durante el movimiento que sigue al choque actúan fuerzas o momentos directamente aplicados).

En el momento del choque, es decir, al someter el sistema durante un tiempo considerablemente pequeño a fuerzas considerablemente grandes (lo que se entiende por someterlo a percusiones o impulsiones), su posición cambia considerablemente poco, pero su campo de velocidades adquiere altos valores, que hacen que el momento final del choque se presente como momento inicial de un proceso vibratorio.

1.6.2 Aplicación de las vibraciones.

Las vibraciones tienen un amplio margen de aplicación pues son utilizados en varios lugares. La utilización de las vibraciones mecánicas en el mundo del deporte y del fitness está teniendo un desarrollo importante. Desde el comienzo de su utilización allá por los años 60 con astronautas, el avance en el conocimiento de las repercusiones del uso de plataformas vibratorias ha sido imparable, principalmente en los últimos años en los que diferentes grupos de investigación están analizando los efectos que sobre el sistema neuromuscular, el sistema hormonal, el sistema nervioso, tiene el entrenamiento vibratorio.



En la actualidad se están utilizando las plataformas vibratorias con los siguientes objetivos:

- Mejora de la flexibilidad general, y en función del tipo de ejercicio realizado, incremento significativo y específico del rango de movimiento articular.
- Aumento de la densidad ósea, con lo que supone un tratamiento preventivo de la osteoporosis y de sus consecuencias más llamativas como son las fracturas óseas.
- Aumento de la fuerza muscular, con mejora de la potencia y del salto vertical.

- Incremento de hormonas de corte anabólico y disminución de las hormonas catabólicas. Como consecuencia del entrenamiento sobre plataformas vibratorias, se han objetivado aumentos en los niveles de Hormona de Crecimiento y Testosterona, y disminución de los valores de Cortisol. Ello da lugar a una mejor asimilación de la carga de entrenamiento y una recuperación acelerada.
- 
- Tratamiento de la lumbalgia. A pesar de que las vibraciones mecánicas (como las que se generan en el ambiente laboral) son generadoras de lesiones, las propias vibraciones mecánicas en un rango determinado de frecuencia y amplitud se han mostrado eficaces en el tratamiento de la lumbalgia.
 - Disminución del dolor. La utilización de vibraciones mecánicas a baja frecuencia (en torno a los 20 Hz) o a frecuencias muy elevadas (en torno a los 100 Hz) dan lugar a modificaciones en el umbral del dolor, con lo que hay una disminución de la sensación dolorosa.
 - Mejora de la circulación periférica. Gracias al uso del doppler, se ha demostrado un aumento del flujo sanguíneo periférico mediante la utilización de plataformas vibratorias.
 - Favorece la lipólisis y la disminución de la obesidad. Las vibraciones mecánicas consiguen aumentar la lipólisis, con lo que supone un adyuvante en el tratamiento de la obesidad.

También se aplica en la medicina para las mezclas de varias sustancias para formar una nueva sustancia con características superiores a las otras.

1.7 Conclusiones

Se demuestra que las vibraciones no han tenido utilidad en la empresa de fundiciones para la reducción de las mazarotas, por lo que se toma como objetivo la aplicación de las cargas dinámicas para la disminución del volumen de la mazarota y así aumentar el Rendimiento Metálico con lo cual se aumentaría el Rendimiento Tecnológico General. Aplicándose estas cargas obtendríamos una mayor competencia en el Mercado con un menor costo de producción.

CAPÍTULO II. RAMPA VIBRATORIA PARA APLICAR LAS CARGAS DINÁMICAS Y DISMINUIR LA MAZAROTA.

Introducción.

La rampa vibratoria para la disminución del volumen de la mazarota es necesaria la correcta utilización de los materiales, por lo que se simulara su función en el SolidWorks y el COSMOSWorks pues esta rampa soportara 1000kg de peso más los movimientos bruscos que producirá el vibrador mecánico que oscilara de 65Hz a 100Hz donde intervendrán la inercia y la resonancia, la cual para ayudar en las vibraciones y soportar la magnitud de tal peso es apoyado por 12 muelles en la parte inferior de la mesa, todo estas condiciones son necesarias para la reducción de la mazarotas. La rampa estará reforzada por 6 vigas cuatro de ellas estarán alrededor de la rampa y dos en el interior de ella. En este capítulo hablaremos de la selección de cada uno de los elementos y cómo es posible la disminución de la mazarota aplicando un vertido dinámico lo cual implican los resultados económicos.

2.1 Caracterización de la empresa.

La Empresa de Fundiciones Acero-Hierro de Holguín (EFAH), es una de las entidades que tiene dentro de sus planes de desarrollo la ejecución de una rampa vibratoria para la reducción de la mazarota, la misma está ubicada en la carretera de San Germán Km 3 ½, Holguín, fue fundada en julio de 1980 y redimensionada en el año 2003 y consta de dos talleres fundamentales para su producción. Presentan algunas misiones como son producir piezas fundidas de hierro y de aleaciones no ferrosas así como lingotes de plomo, cobre, bronce y aluminio. Satisfacer la demanda en el mercado de la fundición artística y la carpintería de madera destinada a la ambientación de instalaciones turísticas. Realizar ensayos físico- químicos y mecánicos.

Además tienen algunos proyectos para cumplir como implementar el Sistema de Gestión de la Calidad basado en la Norma ISO 9001-2000 para lograr

producciones exportables, aumentar los ingresos de forma continua y sistemática, adquirir productos que cumplan con los requisitos de compra especificados, mejorar las condiciones de vida de los trabajadores en un entorno sostenible e incorporar los resultados de la ciencia y la técnica como un estilo permanente de trabajo para el desarrollo progresivo y la mejora continua de nuestra organización.

2.2 Características del muelle. (4, 31, 61, 62)

Para este diseño se utiliza un muelle helicoidal cilíndrico, de un material que sea económico como el manganeso, el cual cumple su función con las cargas dinámicas, este muelle necesita tener una variación para las vibraciones de 3cm después de estar totalmente comprimido, lo necesario para cumplir su objetivo. El total de muelles para el apoyo de la rampa son 12 muelles, cada cual soportando como peso máximo 267kgf. Aunque no son necesarios estos muelles presentan una guía que va por el centro de los muelles, la cual no permite en caso de un derrame del metal líquido no caigan sobre los mismos y pierdan las propiedades para su función.

2.2.1 Cálculos para el diseño de los muelles Acero-65 al manganeso.

Para fijar la carga máxima y la mínima, que actuarán sobre cada resorte, se considera que la carga estática (P), aumenta o disminuye en alguna proporción durante el trabajo, debido a las fuerzas que provocan las vibraciones, durante el paso por la zona de resonancia. Esta variación se determina por (SP). La cual se fija un valor según la elasticidad deseada para el resorte a diseñar.

$$SP = 0.05$$

$$P_{est} = 250 \text{ Kgf}$$

$$T_{ao} = 50 \text{ Kgf} / \text{mm}^2$$

$$\Delta X = 3 \text{ mm}$$

Para diseñar el resorte, se debe fijar el índice del resorte, que se puede escoger en el rango siguiente ($4 \div 12$) o por la fórmula:

$$i = \frac{Dm}{da} = 4 \div 12$$

Se escoge un índice de resorte: $i = 6$

1 - Cálculo de la fuerza máxima a que será sometido el resorte.

$$P_{\max} = (1 + SP) * P_{est}$$

$$P_{\max} = (1 + 0.05) * 250Kgf$$

$$P_{\max} = (1.05) * 250Kgf$$

$$P_{\max} = 267Kgf$$

2 - Cálculo de la fuerza mínima a que será sometido el resorte.

$$P_{\min} = (1 - SP) * P_{est}$$

$$P_{\min} = (1 - 0.05) * 250Kgf$$

$$P_{\min} = (0.95) * 250Kgf$$

$$P_{\min} = 233Kgf$$

3 - Coeficiente de corrección que se tiene en cuenta para la curvatura del alambre, la inclinación de las espiras y el efecto de la fuerza cortante se obtiene de la fórmula empírica.

$$k = \frac{4 * i + 2}{4 * i - 3}$$

$$k = \frac{4 * 6 + 2}{4 * 6 - 3}$$

$$k = \frac{26}{21}$$

$$k = 1.24$$

4 - Cálculo del diámetro del alambre a utilizar para el proyecto de diseño de resorte

$$da = 1.6 \sqrt{\frac{k * P_{\max} * i}{\lambda}}$$

$$da = 1.6 \sqrt{\frac{1.238 * 267 \text{Kgf} * 6}{50 \text{Kgf} / \text{mm}^2}}$$

$$da = 1.6 \sqrt{44.6 \text{mm}^2}$$

$$da = 1.6 * 6.7 \text{mm}$$

$$da = 10.08 \text{mm}$$

$$da = 10 \text{mm}$$

5 - Cálculo del diámetro medio del resorte.

$$D_m = i * da$$

$$D_m = 6 * 11 \text{mm}$$

$$D_m = 60 \text{mm}$$

6 - Cálculo del diámetro exterior del resorte.

$$D_{\text{ext}} = D_m + da$$

$$D_{\text{ext}} = 60 \text{mm} + 10 \text{mm}$$

$$D_{\text{ext}} = 70 \text{mm}$$

7- Cálculo del diámetro interno del resorte.

$$D_{\text{int}} = D_m - da$$

$$D_{\text{int}} = 60 \text{mm} - 10 \text{mm}$$

$$D_{\text{int}} = 50 \text{mm}$$

8 - Cálculo de la variación de la elasticidad del resorte a partir de la deseada inicialmente.

$$\Delta X = A_{des} * 2$$

$$\Delta X = 6mm * 2$$

$$\Delta X = 6mm$$

9 - Cálculo del coeficiente preliminar de rigidez del resorte.

$$Kip = \frac{P_{max} - P_{min}}{\Delta X}$$

$$Kip = \frac{267Kgf - 233Kgf}{6mm}$$

$$Kip = \frac{34kgf}{6mm}$$

$$Kip = 5.66kgf / mm$$

10 - Cálculo del número de espiras de trabajo.

$$ne = \frac{G * da^4}{8 * Dm^3 * Kip}$$

$$ne = \frac{8300Kgf * (10mm)^4}{8 * (60mm)^3 * 5.6Kgf / mm}$$

$$ne = \frac{8300Kgf * 10000mm^4}{8 * 216000mm^3 * 5.6kgf / mm}$$

$$ne = \frac{83000000Kgf / mm^4}{9676800Kgf / mm^4}$$

$$ne = 8,48esp$$

$$ne = 8esp$$

11 - Recalcular la para el número de espiras seleccionadas a partir del cálculo anterior sin que me deforme grandemente la variación de elasticidad estática.

$$Kip = \frac{G * da^4}{8 * Dm^3 * ne}$$

$$Kip = \frac{8300Kgf * (10mm)^4}{8 * (60mm)^3 * 8}$$

$$Kip = \frac{8300Kgf * 10000mm^4}{8 * 216000mm^3 * 8}$$

$$Kip = \frac{83000000Kgf / mm^4}{13824000mm^3}$$

$$Kip = 6.00Kgf / mm$$

12 - Cálculo del número de espiras de trabajo. A partir de que para seleccionarlas se toma para cada lado del resorte entre 0,75 y 1 esp. Para este diseño se tomo una espira para cada lado del resorte.

$$net = ne + 2$$

$$net = 8 + 2$$

$$net = 10esp$$

13 - La deflexión estática real que sufre el resorte se obtiene a partir de la siguiente formula.

$$\Delta_{rest} = \frac{P_{est}}{Kip}$$

$$\Delta_{rest} = \frac{250Kgf}{6.00Kgf / mm}$$

$$\Delta_{rest} = 41.66mm$$

14 - Cálculo del paso preliminar del resorte sin carga esta determinado por:

$$hp = da + \frac{(1.1 \div 1.2) * \Delta X}{i}$$

$$hp = 10mm + \frac{(1.1 \div 1.2) * 6mm}{6}$$

$$hp = 10mm + (0.87 / 1)$$

$$hp = 12mm$$

15 - Ahora el paso de trabajo según el libro de Elementos de Maquina del autor Rechetov el paso de trabajo esta determinado entre $(0.3 \div 0.5)$ del diámetro medio del resorte por lo cual:

$$hpt = (0.3 \div 0.5) Dm$$

$$hpt = (0.3 \div 0.5) 60mm$$

$$hpt = 19.8mm \div 30mm$$

$$hpt = 22mm$$

16 - La longitud del resorte totalmente comprimido (hasta unir las espiras):

$$Hc = (net - 0.5) * da$$

$$Hc = (10 - 0.5) * 10mm$$

$$Hc = 9.5 * 10mm$$

$$Hc = 95mm$$

17 - Longitud del resorte totalmente descargado:

$$Hd = hc + ne * (hp - da)$$

$$Hd = 95mm + 8 * (12mm - 10mm)$$

$$Hd = 95mm + 8 * 2mm$$

$$Hd = 95mm + 16mm$$

$$Hd = 111mm$$

18 - Cálculo del coeficiente de embombamiento de resorte. Si esta relación es mayor de tres (3), se deben tomar medidas para evitar el pandeo (uso de guías). En este caso:

$$Re_{st} = \frac{Hd}{Dm}$$

$$Re_{st} = \frac{111mm}{60mm}$$

$$Re_{st} = 1.85 < 3$$

En este caso ($Re_{st} < 3$) es menor así que no ocurre pandeo en los resortes.

19 - Cálculo del ángulo de inclinación de las espiras para el resorte totalmente descargado.

$$\beta = a \tan \frac{hpt}{\pi * Dm}$$

$$\beta = a \tan \frac{22mm}{3.14 * 60mm}$$

$$\beta = a \tan 0,116$$

$$\beta = 6.66^\circ$$

20 - Longitud total del alambre.

$$La = \frac{\pi * Dm * net}{\cos \beta}$$

$$La = \frac{3.14 * 60mm * 8}{\cos 6.66}$$

$$La = \frac{1507mm}{0,993}$$

$$La = 1517,824mm$$

$$La = 1518mm$$

2.2.2 Tratamiento Térmico del acero-65r.

Como cada diseño después de realizado el calculo procedemos a efectuarle el tratamiento térmico del muelle, lo cual no se puede esquivar ningún paso para obtener una correcta calidad del material. Continuamos con el primer paso del tratamiento, el **Recocido** con objetivo de ablandar el acero, quitarles tensiones que se han originado en la laminación y trefilado y hacer posible el enrollado si este presenta un diámetro del alambre mayor de 10mm en esta parte se evita la descarburación El recocido se suele efectuar a temperaturas comprendidas entre 750° y 800° y luego se enfría lentamente en el horno a los 600°. De esa forma quedan los aceros con durezas comprendidas entre 170° y 220° unidades Brinell. Con el buen resultado de este proceso, se efectúa el **Temple** trabajando a una temperatura que oscila entre de 800° a 900° y no exige precauciones muy especiales. Este calentamiento se realiza en hornos de sales así evitamos la descarburación, consiguiendo una ligera carburación superficial y también se evita una oxidación superficial. Su enfriamiento se haría en aceite por ser un acero aleado, la cual traería una ventaja de producir menos deformaciones que el temple en agua. Finalizado este proceso estaríamos en la fase final del tratamiento, esta concluye con el **Revenido** material a temperaturas variables desde 200° a 500° para conseguir un valor adecuado de elasticidad, y luego se enfrían al aire.

2.2.3 Algunos fracasos que ocurren en la fabricación de muelles.

Con frecuencia en la fabricación de muelles se presentan contratiempos y dificultades que impiden cumplir las especificaciones que se marca en los planos y diagramas.

Las causas suelen ser:

1. El muelle está mal calculado.
- a) Se quiere exigir al material fatigas superiores a las convenidas.

b) El número de espiras útiles del muelle empleadas en el cálculo no coincide con los del plano.

c) Algún otro factor equivocado.

2. El acero es de mala calidad.

a) El acero está descarburado

b) Las barras o varilla de acero tienen grietas, pliegues u otros defectos que hacen imposible la obtención de muelles de buena calidad.

c) Los muelles se agrietan al templar.

d) El acero no es de composición apropiada.

e) No se ha llegado a conseguir con el estirado o tratamiento del alambre la resistencia conveniente.

3. El muelle está mal fabricado.

a) El muelle se rompe al enrollar.

b) Después del ensayo la longitud es inferior a la calculada.

c) El número de espiras no coincide con las del plano.

2.3 Selección de la Viga Ct-3. Aceros para estructuras. (19, 31, 59)

Para el refuerzo de la Rampa Vibratoria contamos con 6 vigas Canal de perfil 10, para que haya equivalencia en la rampa 4 de estas vigas estarán el rededor de la plancha y 2 en el interior de la misma para que no ocurra flexión en el centro de la rampa por lo cual elegimos al acero Ct-3.

Estos aceros se dedican a la construcción de puentes, gasoductos, oleoductos, armaduras, calderas, etc. Por lo general, todos los aceros-para estructuras son soldables y la soldabilidad es una de sus principales propiedades. Por esto, de acuerdo con lo dicho en el párrafo anterior, el acero para estructuras es de bajo contenido de carbono, $C < 0,22-0,25 \%$. El aumento de su resistencia se consigue aleándolo con elementos baratos, como el manganeso y el silicio. En este caso, y siendo bajo el contenido de carbono, el límite de fluencia aumenta **hasta** $40-45 \text{ kgf/mm}^2$ (y la

resistencia a la rotura hasta 50— **60 kgf/mm²**), y si se somete a tratamiento térmico, aún más.

Los aceros al carbono simples para estructuras son: CT 1, CT 2 y CT 3, que se suministran de acuerdo con las normas GOST 380-71. El que mas se emplea es el CT 3, que para las estructuras soldadas debe suministrarse de acuerdo con las condiciones del grupo V ($< 0,22\% \text{ C}$; $a_{fl} = 24 \text{ kgf/mm}^2$), y para las estructuras no soldadas, de acuerdo con las del grupo A (sólo se garantiza a_n , que no debe ser inferior a 24 kgf/mm^2). De los aceros obtenidos por los tres procedimientos de desoxidación (calmado, semicalmado y efervescente), el más seguro es el calmado, que tiene el umbral de fragilidad en frío mas bajo:

Acero	Temperatura de Semifragilidad T_{10} , °°
Calmado	0
Semicalmado	10
Efervescente	20

Esto se refiere al acero laminado en caliente. El normalizado no se refleja» en las propiedades de resistencia¹), pero debido a la recristalización, la estructura ferrito-perlítica se afina y el umbral de fragilidad en frío, desciende. En mayor grado todavía mejoran las propiedades practicando el mejorado térmico (temple + revenido a 600—650 °C), en este caso no sólo se eleva algo -el límite de fluencia ($\sigma_x > 28— 30 \text{ kgf/mm}^2$), sino que también desciende considerablemente el umbral de fragilidad en frío:

Acero CT 3 en	Temperatura de Semifragilidad T_{50} °C,
Laminado en caliente	0
Normalizado	— 20
Mejorado	— 40

Por lo tanto, para las estructuras no soldadas (o para las soldadas de poca responsabilidad) debe utilizarse el acero efervescente, y para las soldadas, el acero semicalmado y calmado. Para las estructuras de responsabilidad y para construcciones que han de soportar temperaturas bajas), debe emplearse acero normalizado o mejorado térmicamente).

Los inicios de la teoría de vigas se remontan al siglo XVIII, trabajos que fueron iniciados por Leonhard Euler y Daniel Bernoulli. Para el estudio de vigas se considera un sistema de coordenadas en que el eje X es siempre tangente al eje baricéntrico de la viga, y los ejes Y y Z coincidan con los ejes principales de inercia. Los supuestos básicos de la teoría de vigas para la flexión simple de una viga que flecte en el plano XY son:

1. **Hipótesis de comportamiento elástico.** El material de la viga es elástico lineal, con módulo de Young E y coeficiente de Poisson despreciable.
2. **Hipótesis de la flecha vertical.** En cada punto el desplazamiento vertical sólo depende de x : $u_y(x, y) = w(x)$.
3. **Hipótesis de la fibra neutra.** Los puntos de la fibra neutra sólo sufren desplazamiento vertical y giro: $u_x(x, 0) = 0$.
4. La tensión perpendicular a la fibra neutra se anula: $\sigma_{yy} = 0$.
5. **Hipótesis de Bernoulli.** Las secciones planas inicialmente perpendiculares al eje de la viga, siguen siendo perpendiculares al eje de la viga una vez curvado.

Las hipótesis (1)-(4) juntas definen la teoría de vigas de Timoshenko. La teoría de Euler-Bernoulli es una simplificación de la teoría anterior, al aceptarse la última hipótesis como exacta (cuando en vigas reales es sólo aproximadamente cierta). El conjunto de hipótesis (1)-(5) lleva a la siguiente hipótesis cinemática sobre los desplazamientos:

$$u_x(x, y) = -y\theta_z(x) = -y\frac{dv}{dx} \quad u_y(x, y) = v(x)$$

2.3.1 Cálculo de Resistencia de las vigas.

En una reunión efectuada para darles solución al calculo de las vigas, los expertos de La Universidad de " Holguín Óscar Lucero Moya " como los Drc. Julio Pino Tarrago y Ramón Martínez Batista expresaron la no necesidad realizar los cálculos de resistencia de los materiales, la cual se debe a que estos aceros están diseñados para tolerar hasta 10 veces su peso y para este diseño las vigas aguantarían un peso inferior lo cual se desprecia este término. A pesar de que están sometidas cargas dinámicas se determino que no se realizaran los cálculos por la experiencia adquirida por dichos Doctores, por lo tanto se concentro en definir un material que cumplieran con las exigencias necesarias para un buen soporte y resistencia del material que se vaya a fundir en la rampa. Las resonancias producidas por el vibrador quedarían atrapadas en los muelles por cálculos ya realizados.

2.3.2 Tratamiento Térmico del Ct-3.

Para esta viga cumpla su función, es decir que sea resistente deberá seguir este tratamiento térmico el cual sería (**temple + revenido** a 600 °C) pero para elevar las propiedades de resistencia del acero CT-3, es necesario disponer de un límite de fluencia más alto, se utilizan los aceros aleados. Estos aceros suelen llamarse de baja aleación o de alta resistencia para estructuras. A diferencia de los aceros de construcción aleados, los aceros de alta resistencia para estructuras no son sometidos a tratamiento térmico por el consumidor, es decir, su estructura y características de servicio se configuran al fabricar el acero.

Cuando el revenido se hace menos de 600-650°C, la resistencia, como es natural, será más alta, pero este revenido a temperatura más baja no

asegura gran plasticidad y este endurecimiento no se conserva en la estructura soldada.

Por su seguridad y posición del umbral de fragilidad en frío se aproximan al acero marca CT 3 calmado. Los aceros con elevado contenido de silicio desmerecen en este sentido de los aceros no endurecidos con silicio.

El tratamiento térmico favorece el descenso del umbral de fragilidad en frío e influye en esta propiedad de los aceros de baja aleación del mismo modo aproximadamente que en las propiedades del acero al carbono CT-3.

2.4 Selección de la Plancha de Acero con bajo carbono. (31,59)

Nos concentramos en un acero de bajo porcentaje de carbono el cual sería el Acero-30, esta plancha tendría en los lados 4 000 mm de longitud y un espesor de 4mm. En el recaería los 1 000Kg de metal liquido y en el centro estaría el vibrador mecánico.

El acero que se utiliza para fabricar piezas de máquinas, estructuras de construcción y otras instalaciones debe poseer altas propiedades mecánicas. Al mismo tiempo el acero debe tener un gran conjunto de propiedades y no solamente un valor elevado de una propiedad determinada. El material que se destina a fabricar piezas que han de sufrir grandes cargas y, a la vez alta resistencia, debe poseer tenacidad, para poder aguantar los efectos dinámicos y de choque. En otras palabras, el material debe ser resistente y seguro.

En las piezas que experimentan cargas alternativas, el metal debe poseer una gran resistencia a la fatiga, y en las piezas que frotan, resistencia al desgaste. En muchos casos se requiere una buena resistencia a la corrosión, a la fluencia y a otras acciones constantes. Esto quiere decir que las piezas deben durar mucho. Por lo tanto, las piezas de las máquinas deben hacerse de material resistente, seguro y duradero.

De todos los materiales conocidos en la técnica, en el que mejor se combinan la resistencia, la seguridad y la duración es en el acero, por lo que el acero es el material fundamental para la fabricación de piezas importantes sometidas a grandes cargas.

Las propiedades mecánicas del acero dependen de su estructura y composición. La acción conjunta del tratamiento térmico y la aleación es un procedimiento eficaz de elevar las características mecánicas del acero.

Los procedimientos posibles para mejorar (elevar) las características mecánicas del acero son: el aumento del contenido de carbono; la aleación; la dispersión de los componentes estructurales (mediante el descenso de la temperatura de transformación austenítica en combinación con el revenido); el afinamiento del grano, y el endurecimiento por deformación en frío.

2.4.1 Tratamiento Térmico de la plancha Acero de bajo carbono.

Los aceros de construcción se someten a tratamiento térmico de dos pasos lo que da endurecimiento, es decir, un **temple+revenido**. El calentamiento para el temple se efectúa hasta una temperatura superior en 30-50⁰C al punto Ac3. Esta temperatura se encuentra cerca de los 900⁰C, estos aceros deben templarse en agua, ya que la poca estabilidad de la austenita subenfriada en la región de la descomposición perlítica cerca de los 600⁰C y hace necesario un enfriamiento rápido del temple.

El **temple** para el acero de bajo contenido de carbono para obtener martensita es la primera etapa del tratamiento térmico. La poca plasticidad y las considerables tensiones internas nos permiten utilizar el acero de construcción en estado de temple. Es necesario el **revenido** 200-250⁰C, que eleva la plasticidad y tenacidad, elimina las tensiones internas.

2.5 Selección del Vibrador Mecánico.

El vibrador presenta una frecuencia de 100Hz con un voltaje de 220v, el peso es de 40kg. La causa de esa frecuencia se debe a que con esta magnitud se logra disminuir el volumen de la mazarota y cumplir con el objetivo de la Tesis.

Zarandas Vibratorias con Motovibrador.

Modelo ZVMS/1 (Con un tamiz).

La zaranda VIBROMAQ modelo ZVMS/1, con su gran área de tamizado, ofrece una máxima separación de las partículas de materiales tales como



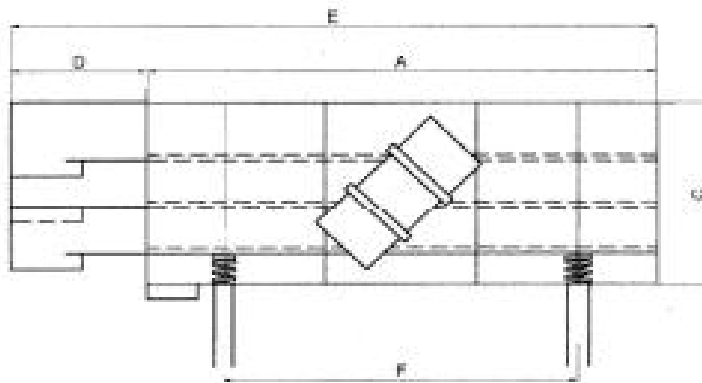
agregados, productos de la industria química, carbón y en la fundición. La zaranda esta accionada por un único motor de montaje superior y el canal pueden ser construidos en chapa de hierro o acero inoxidable, según requiera el producto, con hasta 2 tamices y 3 bocas de salida.

Se provee además de sistema de suspensión con resortes o fuelles neumáticos con apoyo construido en caño estructural.

La zaranda VIBROMAQ modelo ZVML/3 es usada en la clasificación de productos secos y húmedos, utilizando hasta 3 tamices (mallas o chapas perforadas) y 4 bocas de salida. Consta de dos motores de montaje lateral y el canal puede ser construido en chapa de hierro o acero inoxidable según requiera el producto. Se provee de sistema de suspensión con resortes y fuelles neumáticos con apoyo construido en caño estructural.

ESPECIFICACIONES

- Cantidad de Motores..... 1(dos)
- Montaje de motor..... lateral
- Alimentación..... 220V 100HZ
- Ángulo de inclinación..... 0°
- Cantidad de tamices..... 1 a 3



Dimensiones mm.	A	B	C	D	E	F
Canal 1200 x 500	1200	500	450	320	1520	850
Canal 1500 x 600	1500	600	500	320	1820	1100
Canal 2000 x 800	2000	800	550	370	2370	1400
Canal 2500 x 1000	2500	1000	600	400	2900	1750

2.6 Logros de la investigación a través de la carga dinámica.

Con la disminución de la mazarota trae consigo varios beneficios para la economía pues las mazarotas constituyen alrededor del 50% de la pieza bruta para poder evacuar el fundido neto y mantener la contracción y el rechupe en la mazarota, lo cual disminuye el Rendimiento Metálico en un 50%, disminuyendo el RTG y aumenta el costo y el precio de los fundidos de los aceros. Teniendo en cuenta esta particularidad de las piezas fundidas de aceros, se ha ideado un Vertido alternativo dinámico aplicando de 65 a 100 Hz de frecuencia al molde en el momento de ser vertido el caldo metálico, es decir antes de la solidificación, lográndose disminuir el volumen de la mazarota en 3/7.

La fórmula para el cálculo de la mazarota es:

$$V_{p \max} = V_{maz} * \frac{14 - \xi V}{\xi V} (cm^3)$$

Y nuestro aporte sería la aplicación de las vibraciones se reduce el volumen de las mazarotas 3/7 la cual generamos esta fórmula:

$$V_{p \max} = \frac{3}{7} \left(V_{maz} * \frac{14 - \xi V}{\xi V} \right) (cm^3)$$

Con la aplicación del Vertido alternativo dinámico aumentamos el Rendimiento Metálico en 3/7 logrando el aumento del RTG, lo cual hace más competitivos la producción de fundidos estableciendo un sistema de cálculo en la Empresa de Fundiciones Acero-Hierro de Holguín, basándonos en la siguiente relación:

$$RTG = RM(1 - Ir) * (1 - PM) * 100(\%)$$

$$Cp = \frac{Nc}{RTG} (\$)$$

2.7 Discusión de resultados y valoración socio económica.

Con el método del vertido a través de cargas dinámicas se refleja una disminución de la mazarota en un 3/7 las cuales ha permitido llegar a índices de eficiencia competitivos que han favorecido la producción en cuanto a calidad del acero.

Para llegar ha estas conclusiones se hace una comparación del método de vertido dinámico y estático, es decir, con la misma cantidad de metal líquido, el mismo molde, cantidad de arena, el metal a utilizar reúne las mismas características, la temperatura para el vertido tendría la misma escala, etc.

Este experimento se tendrá que realizar no menos de tres veces bajo las mismas condiciones ya mencionadas, así se tendrá con una mayor exactitud los cálculos y las ventajas aplicando cargas dinámicas.

El experimento accederá a que se aplique en todas las industrias cubanas el método de vertido alternativo dinámico para la disminución del volumen de las mazarotas, pues sus objetivos se han logrado cumplir, mejorándose así la calidad de la pieza fundida.

En cuanto el Rendimiento metálico en el vertido dinámico aumentaría en un 68,50%, superando en 28,5 unidades al vertido estático teniendo una eficiencia en porciento de 171,25%. En el Rendimiento Tecnológico General también aumentaría en el dinámico a 60,85% viéndose la mejoría sobre el vertido estático en 25,32% unidades, estos datos están reflejados en la tabla a continuación:

Tabla 2. Comparación del comportamiento de los Índices Tecnológicos.

No	Parámetros	Tipo de Vertido		Eficiencia	
		Estático	Dinámico	Unidades	(%)
1	Rendimiento Metálico (%)	40	68,50	28,5	171,25
2	Índice de Rechazo (%)	5,0	5,0	-	-
3	Perdida Metálica (%)	6,5	6,5	-	-
4	Rendimiento Tecnológico General I (%)	35,53	60,85	25,32	171,26
5	Costo (\$/Ton)	3165,19	2270,01	895,18	71,71
6	Precio (\$/Ton)	3367,92	2472,74	895,18	73,42

El estado del Rendimiento Metálico o la relación entre el metal neto y el metal bruto medido en por ciento es de 68,5%, el índice de rechazo de las piezas modificadas se mantiene en 5,0Kg y la Pérdida Metálica hasta 6,5Kg, obteniéndose un Rendimiento Tecnológico General de 60,85%, obteniéndose un costo de producción de 2 270,01(\$/Ton) y comercializado al precio de 2472,74(\$/Ton), esta variación positiva del Rendimiento Tecnológico General ocasiona grandes aumentos económicos y disminuye los costos de producción pues se ahorra por cada tonelada \$ 895,18 de fundidos de acero que posibilita su producción a escala industrial por su productividad y alta competitividad.

2.8 Conclusiones

Por lo tanto se demostró que con las aplicaciones de las cargas dinámicas se disminuye en $3/7$ el volumen de la mazarota por comparaciones que se hacen en el vertido estático y dinámico en la fundición, esta innovación conlleva a una mejora económica debido al aumento del Rendimiento tecnológico General el cual hace que disminuya el Costo de producción.

CONCLUSIONES

En esta investigación luego de profundizar un estudio utilizando el método dinámico se ha logrado disminuir el volumen de la mazarota y se aumentó el Rendimiento Metálico manteniendo la calidad de los artículos fundidos. Se necesita menor cantidad de material para obtener la pieza neta con menores costos de producción y mayor productividad, competitividad, sostenibilidad y sustentabilidad.

La utilización de la rampa vibratoria como una tecnología de punta que ha tenido una gran aprobación y aplicación tecnológica la cual se ha logrado la disminución considerable de la mazarota, pero que no han podido ser aplicados en Cuba.

Por lo que concluimos que con la implementación del vertido dinámico disminuye el volumen de la mazarota, todo esto bajo las condiciones de la Industria Metalúrgica en Cuba”. Esta investigación logra una reducción del volumen de la mazarota y resultando una tecnología con basamento científico capaz de establecer una relación matemática de la frecuencia de vibración de las cargas dinámicas y el tiempo de vibración tecnológico para la disminución de la misma antes de la solidificación. Capacitando a la industria cubana para la producción de artículos de Acero de forma competitiva, sostenible y sustentable.

RECOMENDACIONES

Después de desarrollarse el estudio de las cargas dinámicas en los métodos de fundición solo se quedaría para el estudio posteriores las recomendaciones que este trabajo de diploma no quedara olvidado en un rincón que se le de utilidad a lo expuesto:

- Generalizar las cargas dinámicas ideado en todos los procesos de manufactura por fundición del País.
- El estudio de la aplicación de este método a otros procesos de fundición donde intervenga el caldo metálico con el objetivo de lograr otros resultados.

BIBLIOGRAFÍA

1. [Abramov, 1983] Abramov. A. "Manual del joven fundidor". Editorial Alta Escuela.
Moscú.1983. 203 p.
2. [Alexandor, 1998] Alexandor, N. H. Control del estado del metal Líquido para la obtención de hierro con grafito esferoidal. *Liteinoe Proistbostba*. N. 3. 1998.
3. [Bakkerus, 1995] Bakkerus and Van der Holst. The T-Nock Process for Making Ductil iron. *Modern Casting Tech*. N. 711, July 1995.
4. [Bernardo, 1969] A Bernardo de Quiróz, Antonio. Cálculo rápido de muelles y resortes. Editorial Labor. 1969, pág. 235
5. [Batista, 1990] Batista Cabrera. A; Navas Medina, E. "Cálculo de Mazarotas para Piezas de Acero". Construcción de maquinarias.1990.
6. [Batista, 1994] Batista Cabrera, A.; *et al.* "Propiedades de Fundición de los Metales y Aleaciones". Monografía, Universidad de Holguín.1994
7. [Batista, 1999] Batista Cabrera, A. "Tecnología de desulfuración en Cazuela con el fin de obtener Hierro con grafito Esferoidal". *Ingeniería Mecánica*. N. 3. 1999.
8. [Batista^b, 1999] Batista Cabrera. A. "Utilización del Magnesio como Desulfurante y su influencia en las propiedades del HGE obtenida por el método "In-mold". *Mundo Mecánico*. N. 2. 1999.
9. [Batista^c, 1999] Batista Cabrera. A. "Influencia del Azufre en el rendimiento de las piezas de hierro nodular obtenida por el método "Ind-Mold"". *Mundo Mecánico* N. 6. 2000.
- 10.[Batista^a, 2003] Batista Cabrera. A; Ordóñez, U. "Selección de un nodulizante y forma y posición de una cámara de reacción para su aplicación para la obtención de hierro con grafito esferoidal por el método "In-mold"". *Ingeniería Mecánica*. N. 3. 2003.
- 11.[Batista^b, 2003] Batista Cabrera, A; Ordóñez, U. "Determinación de la granulometría del NODULANT II y el parámetro de la cámara más adecuados para la obtención del hierro con grafito esferoidal por el método "In-mold"". *Ingeniería Mecánica*. N. 3. 2003.

12. [Batista^c, 2003] Batista Cabrera, A. "Análisis y procedimientos para la obtención de hierro con grafito esferoidal por el método "In Mold" bajo las condiciones específicas de la Industria en Cuba". *Tesis Doctoral*, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Holguín. 2003.
13. [Bigeb, A.M 1988] Bigeb, A.M Metalurgia del acero. Editorial metalurgia, 1988, Pág. 446
14. [Boletín, 2001] Boletín Técnico MI SR - 1MI SR-2. 2001.

15. [Calcosoft, 2007] Calcosoft. Base de Datos en Línea, 2004, 2 de Marzo del 2007, <http://www.calcosoft.com>
16. [Castledine, 1998] Castledine, T. J. "Experiences in the Application of the INMOLD Process to the vertically Jointed DISAMATIC Moulding System". DISA Convention. 1998.
17. [Cenkebich, 1999] Cenkebich, I. "Optimización de la obtención de piezas de Hierro Nodular por el método ind-mould". *Liteinoe. Proistbostba*. N. 12. 1999. pp. 13-14. (En ruso).
18. [Chaikin, 1994] Chaikin A. A. Refinado del HGE modificado en el molde por medio De filtros Cerámicos. *Liteinoe Proistbosta*. N. 4 Año 1994.
19. [Construcción, 2009] <http://www.arqhys.com/construccion/vigas.html>
20. [Davis, 1990] Davis, K. G. Dissolution of MgFeSi Alloy During Indmold Treatment. *British Foundryman*. N. 457. 1990.
21. [DELCAM, 2007] DELCAM. Base de Datos en Línea, 2004, 4 de Marzo del 2007, <http://www.delcam.com>
22. [Dijon, 1999] Dijon, R. H. The disolution factors for the Ind-Mould Process. *British Foundryman*. N. 8. 1999.
23. [Dunks, 1976] Dunks, C.M. "Mold Nodulizing and Continuos Stream Treatment Techniques as Operated in Europe". *Foundry Trade Journal*. 1976. N. 234.
24. [Enriquez,F 1986] Enríquez Gómez, Fernando. Manual del fundidor. Editorial Científico Técnico. 1986. Pág. 142
25. [Francois, 2004] Francois, M. Base de Datos en Línea, 2004, 17 de Mayo del

- 2001] 2001, El magnesio como desulfurante, <http://www.cta.org.co/institucional.com>
- 26.[Girchovib, 1982] Girchovib, N. G. Método de investigación para determinar la formación del hierro con grafito esferoidal y su valoración. Edit. Masgish. 1982. 45p.
- 27.[Golman,S 1991] GOLDMAN, S., Vibration spectrum analyses, Industrial press inc. 1991.
- 28.[Genderevich, 1999] Genderevich N. A. "Elección del modificador para la obtención de piezas de hierro de alta resistencia modificado en el molde". *Liteinoe Proistbostba*. N. 2. 1999. pág16-17.
- 29.[Gibbs, 2007] Gibbs. Base de Datos en Línea, 2004, 4 de Marzo del 2007, <http://www.gibbs.com>
- 30.[Goyos, 1991] Goyos Pérez, L.; Martínez Reina, Elio. "Tecnología de fundición II". Editorial ISPJAE. Ciudad de la Habana.1991. 243 p.
- 31.[Guliáev, A.P 1977] Guliáev, A.P 1977, Metalografía T-2. Editorial MIR Moscú, 1977. Pág. 332
- 32.[Gynsey, 2001] Gynsey. J. Co CQ (Controlled Quality Inoculation).Un proceso de alta Productividad. www.carpenterfortuna.com.mx/n-hierro.htm.Consult.2001
- 33.[Hartog, J.P, 1982] Mecánica de las vibraciones, C. E. C. S. A. 1982
- 34.[Hughes, 1993] Hughes. S. Foundry Trade Journal. 1993. N. 487.
- 35.[Hity, 1998] Hity D. Electr.Furnace Proc. AIME 1998.V.27 pág 52-56.
- 36.[Inman, D.J, 1989] Vibration, Prentice Hall 1989
- 37.[Inman, D.J, 1996] Engineering vibration, Prentice Hall 1996
- 38.[LINCE, 2004] LINCE FUNDICION. Base de Datos en Línea, 2004, 14 de Marzo del 2004, <http://www.lince-fundición.com>

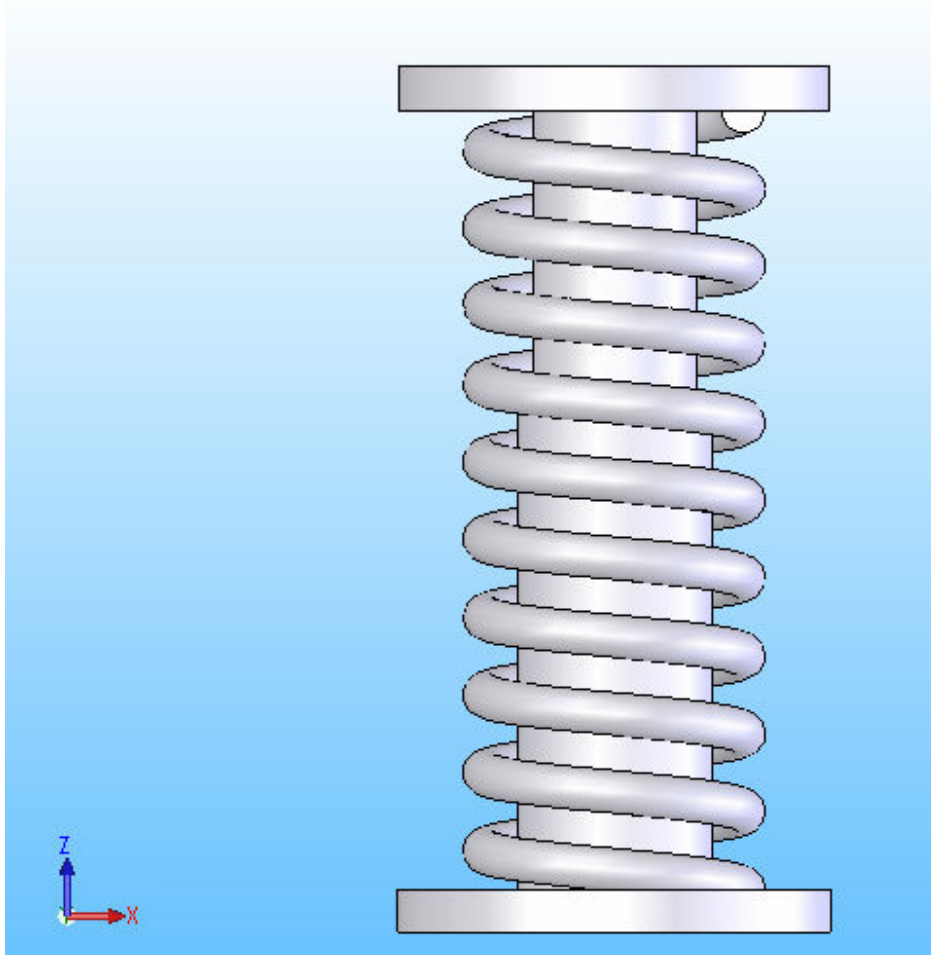
39. [Luffe, 1994] Luffe, A. "Modificación del hierro con grafito esferoidal en el molde". Liteinoe Proistbostba. N. 12. 1994. (en ruso).
40. [Karsay, 1992] Karsay, S. Producción de Hierro Nodular, 2da Edición. Edit. Titanic Inc. Comp. 1992.
41. [Kobalevich, 1999] Kobalevich, E. B. Nueva tecnología de obtención de hierro Nodular. Liteinoe Proistbostba. N. 3. 1999. p. 10. (en ruso).
42. [Mannion, 1994] Mannion, G. "Experiencias with the production of meehanite Nodular iron casting whith the inmold process. Foundry Trade Journal. Vol 137. pp. 139-147. Aug. 1994.
43. [Material, 1995] Material Didáctico sin valor comercial. FES-CAUTIPLAN. UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MEXICO. 1995
44. [Machikin, 1981] Machikin. B. I Aumento de la calidad de las aleaciones no ferrosas Edit. Kiev. 1981
45. [Malishev, 1991] Malishev. A. Influencia del Silicio sobre las propiedades del HGE. Liteinoe Proistbostba No 9 Año 1991
46. [May, 1998] Mayk. C .N .Sistema de Alimentación para modificación en el molde. Liteinoe Proistbostba No 11 Año 1998
47. [McCaulay, 1991] McCaulay. J. M. "Production of nodular graphite iron Casting In the In-mold Process". Foundry Trade Journal. Vol. 130. pp. 327-335. Apr. 1991.
48. [Metallography, 2006] Metallography. Base de Datos en Línea, 2006, 12 de Octubre del 2006, <http://www.metallography//technoters/iron.com>
49. [Meirovitch, 1985] L. Elements of vibration analysis, Mc Graw Hill 1985
50. [Meirovitch, 1967] L. Analytical methods in vibrations, Macmillan 1967
51. [Navas, 1996] Navas. E. Batista. A. Métodos de Cálculo en Fundición .Folleto Editado por la Uho. Año 1996.
52. [ProCAST, 2007] ProCAST. Base de Datos en Línea, 2007, 12 de Febrero del 2007, <http://www.procast.com>

53. [ProEngineer, 2007] ProEngineer. Base de Datos en Línea, 2004, 2 de Marzo del 2007, <http://www.proengineer.com>
54. [Sánchez R.P. 2006] El Rendimiento Tecnológico General de la producción de hierro con grafito esferoidal para el método In Mold XII Congreso Metalúrgico.
55. [Sánchez R.P. 2002] Perfil de la Empresa de Fundiciones Acero y Hierro de Holguín. Convención Internacional de los Industrias Metalúrgicas, Mecánicas y del Reciclaje Metánica.2002. CD-ISSN 16076261. \
56. [Sánchez R.P. 2007] Horno Multipropósito Convención Internacional de los Industrias Metalúrgicas, Mecánicas y del Reciclaje Metálico.2002. CD-ISSN 16076261. Metánica.2007.
57. [Samón, G.S 1988] Samón G.S. "Cálculo racional de mazarotas en piezas de acero fundido". Santa Clara 1988
58. [Salcine, C.M . 1985] Dr. Claro Salcines, Misael. Tecnología de fundición. Editorial Pueblo y Educación. 1985. Pág.249
59. [SolidWork, 2007] SolidWork. Base de Datos en Línea, 2007, 12 de Febrero del 2007, <http://www.solidwork.com>
60. [SYSWELD, 2007] SYSWELD. Base de Datos en Línea, 2004, 4 de abril del 2007, <http://www.sysweld.com>
61. [Reshetov, D.N 1981] Reshetov, D.N. Elementos de Máquina, Editorial Uneshtorgizdat, 1981, pág. 831.
62. [Reshetov, D.N 1985] Reshetov, D.N. Elementos de Máquina, Editorial Pueblo y Educación, 1985, pág. 830.
63. [Tartera, 2002] Tartera. J. Joining and Fabrication of Nodular Iron Casting by welding. Base de Datos en Línea, 2004, 24 de Noviembre del 2002, <http://www.implog.com/foundry/books.htm>
64. [Tartera, 1984] J Tartera, J. Tendencias modernas de la fusión en cubilote "Técnica metalúrgica". No 264, pág. 19-32. España 1984
65. [Tzbriat, A.N 1987] Tzbriat, A.N Procesos físicos químicos en la zona de contacto metal molde" Edit. Inst. De Problemas de Fundición

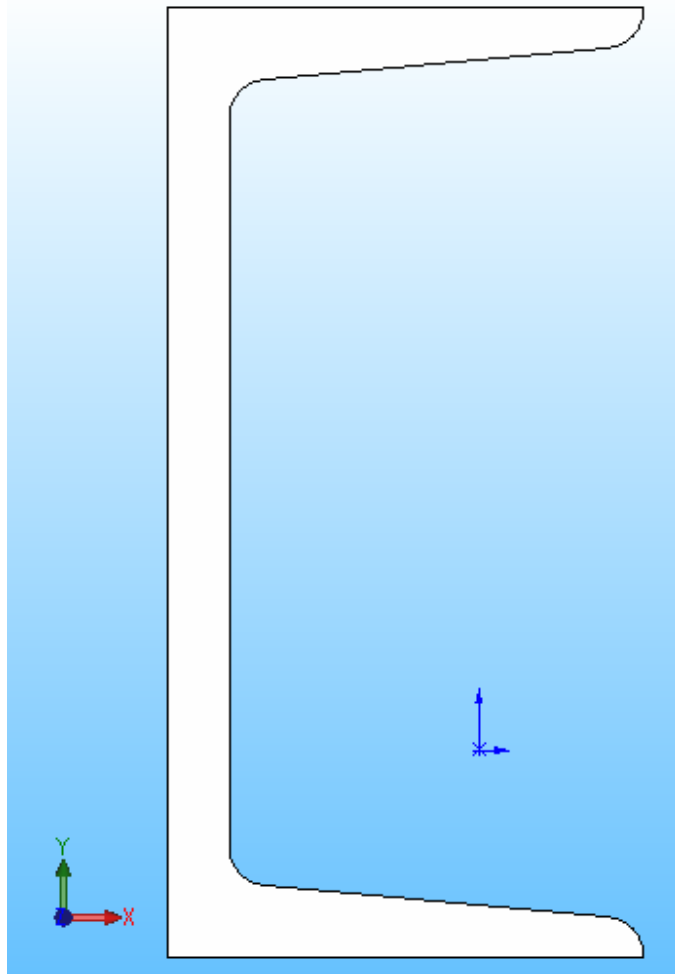
- .Academia de Ciencias de Ucrania. Kiev. 1987
66. [Unigraphics, 2007] Unigraphics. Base de Datos en Línea, 2004, 2 de Marzo del 2007, <http://www.unigraphics.com>
67. [Universidad, C.V 1970] Universidad Central de las Villas. Guía Tecnológica de fundición. Editorial Universidad. 1970. Pág. 551

ANEXOS

Partes de la Rampa Vibratoria
Unión Guía Muelle Acero al Manganeso

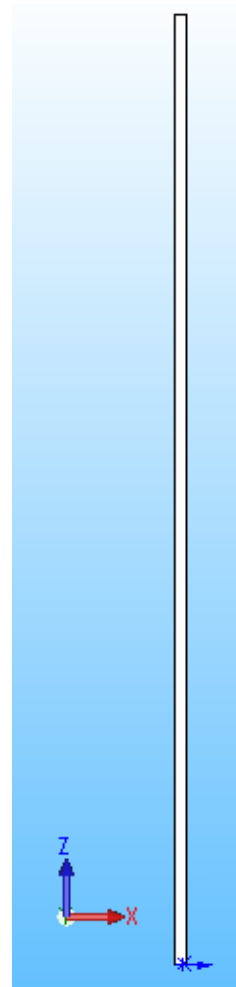


Vigas Ct-3 Canal perfil 10



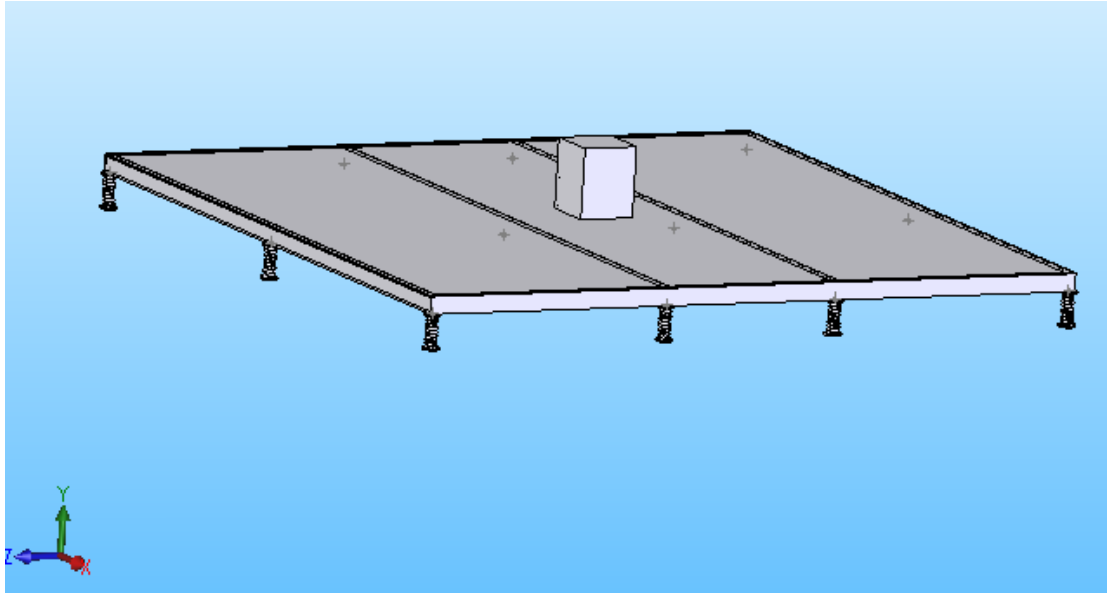
inferior

Vista frontal

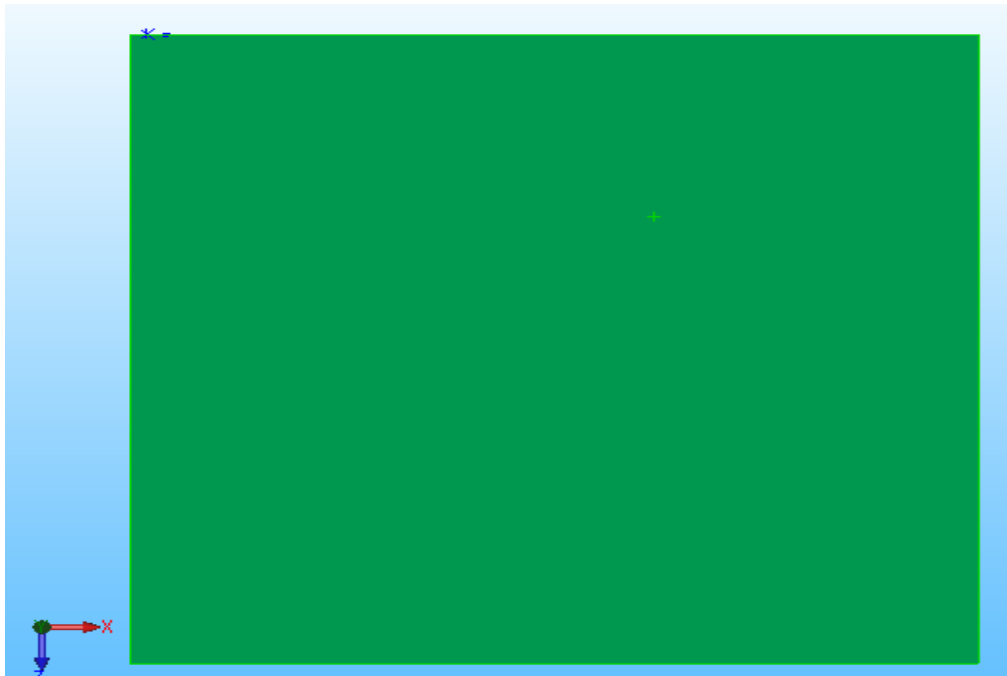


Vista

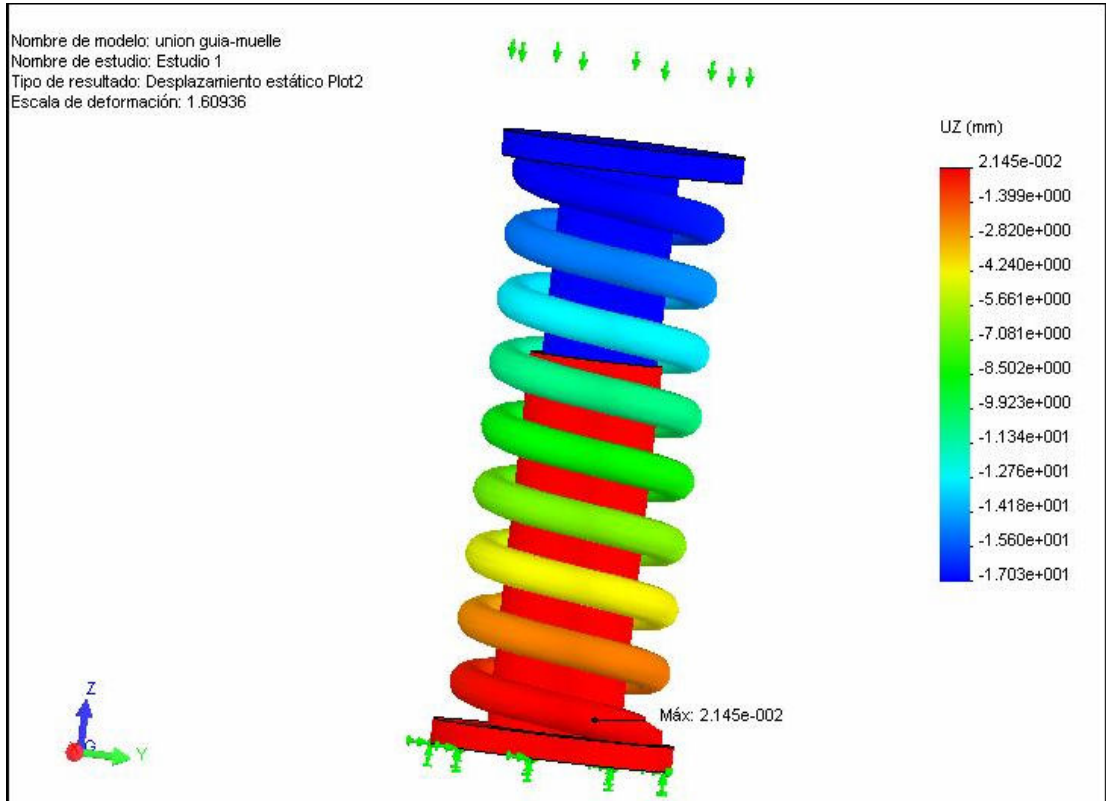
Rampa Vibratoria



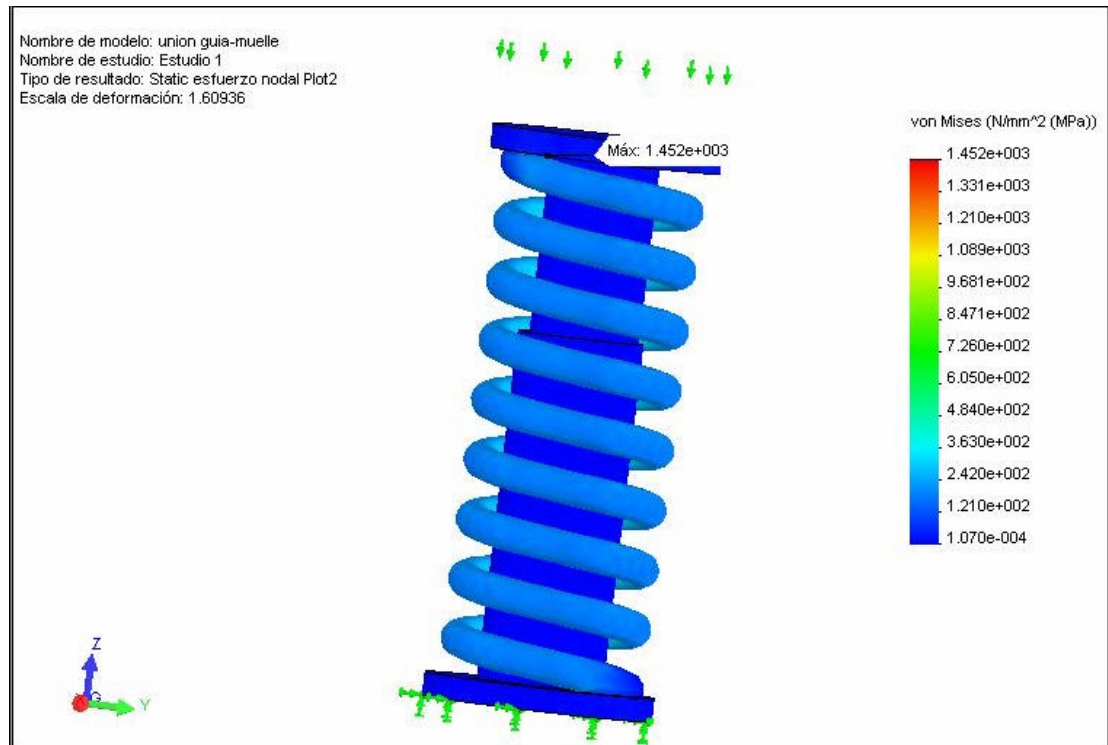
Chapa Acero-30



Desplazamiento Estático



Static esfuerzo Nodal Plot 2



CÁLCULOS DEL COSTO Y PRECIO DEL VERTIDO DINÁMICO.**Reporte de colada**

Empresa Fundiciones Acero Hierro. Holguín

REPORTE DE COLADA**Taller:****Estado del Tiempo:**

Fecha	No de Colada	Aleación:	Peso de la colada (Kg).
			1000,00

Rendimiento Tecnológico General (%)			60,85
Rendimiento Metálico (%)			68,50
Peso bruto del fundido (Kg)			1000
Peso neto del fundido (Kg)			685
Indice de Rechazo (%)			5,0
Peso total del rechazo (Kg)			50,0
Perdida Metálica (%)			6,5
Peso del metal derramado en la zona de fusión (Kg)			5,00
Peso del metal derramado en la zona de moldeo (Kg)			10,00
Peso del metal Lingoteado (Kg)			50,00

Norma de consumo.Rendimiento Metálico: **68,50**Índice de Rechazo: **5,00**Pérdidas Metálicas: **6,50**Rendimiento Tecnológico General: **60,85**

PRODUCCION DE HIERRO CON GRAFITO ESFEROIDAL EN HORNO DE CUBILOTE DE 700 mm.				
Nº	DENOMINACION	U/M	NORMA NETA	NORMA DE CONSUMO
1	ENERGIA ELECTRICA	KWH	252,0000	414,1663
2	FUEL OIL	T	0,0150	0,0247
3	COMBUSTIBLE DIESEL	L	0,0000	0,0000
4	COMBUSTIBLE GASOLINA	L	0,7273	1,1953
5	CHATARRA DEACERO	T	1,0000	1,6435
6	FERROSILICIO AL 75 %	T	0,0090	0,0148
7	FERROMANGANESO AL 75 %	T	0,0060	0,0099
8	CARBON COQUE	T	0,2900	0,4766
9	CHATARRA DE HIERRO	T	0,0000	0,0000
10	PIEDRA CALIZA (GRAVILLA)	T	0,0405	0,0666
11	CARTON AMIANTO 3 MM (MEJANITA)	KGS	0,0001	0,0002
12	SILICATO METALURGICO	T	0,0110	0,0181
13	GRAFITO EN POLVO	T	0,0600	0,0986
14	GRAFITO EN ESCAMA	T	0,0064	0,0105
15	ALCOHOL NATURAL	L	1,0000	1,6435
16	BENTONITA NATURAL	T	0,1500	0,2465
17	MIEL FINAL	T	0,0450	0,0740
18	ARENA DE CROMITA LAVADA	T	2,0000	3,2870
19	LEÑA P/COMBUSTIBLE	M 3	0,0400	0,0657
20	ALAMBRE P/HERRAJE	T	0,1494	0,2456
21	MUELA PLANA 600	U	0,1200	0,1972
22	MUELA PLANA 400	U	0,1500	0,2465
23	DISCO DE FIBRAS	U	0,1600	0,2630
24	CEPILLO CIRCULAR DE ACERO	U	0,0727	0,1195
25	GRANALLA	T	0,1000	0,1644
26	LAD. ARCH 55 - L (H. de Cubilote y Cazuela)	T	0,0200	0,0329
27	LAD. ARCH 45 - L (H. de Cubilote y Cazuela)	T	0,0180	0,0296
28	LAD. ARCH. R - 64 (H. de Cubilote y Cazuela)	T	0,0015	0,0025
29	LAD. ARCH. R - 32 (H. de Cubilote)	T	0,0210	0,0345
30	MORTERO (ARCILLA)	T	0,0900	0,1479
31	AGUA (GRANALLA, MEZCLA Y FUSIÓN)	M ³	2,0000	3,2870
32	OXÍGENO INDUSTRIAL	M ³	0,2000	0,3287
33	TUBO DE ACERO DIAM. 14 mm	T	0,0030	0,0049
34	HORMIGON	T	0,0163	0,0268
35	BARRO REFRACTARIO	T	0,0327	0,0537
36	CEPILLO ACERO MANUAL	U	0,7273	1,1953

CÁLCULOS DEL COSTO Y PRECIO DEL VERTIDO ESTÁTICO.**Reporte de colada**

Empresa Fundiciones Acero Hierro. Holguín

REPORTE DE COLADA**Taller:****Estado del Tiempo:**

Fecha	No de Colada	Aleación:	Peso de la colada (Kg).
			1000,00

Rendimiento Tecnológico General (%)			35,53
Rendimiento Metálico (%)			40,00
Peso bruto del fundido (Kg)			1000
Peso neto del fundido (Kg)			400
Indice de Rechazo (%)			5,0
Peso total del rechazo (Kg)			50,0
Perdida Metálica (%)			6,5
Peso del metal derramado en la zona de fusión (Kg)			5,00
Peso del metal derramado en la zona de moldeo (Kg)			10,00
Peso del metal Lingoteado (Kg)			50,00

Norma de consumo**Rendimiento Metálico: 40,00****Índice de Rechazo: 5,00****Pérdidas Metálicas: 6,50****Rendimiento Tecnológico General: 35,53**

PRODUCCION DE HIERRO CON GRAFITO ESFEROIDAL EN HORNO DE CUBILOTE DE 700 mm.				
Nº	DENOMINACION	U/M	NORMA NETA	NORMA DE CONSUMO
1	ENERGIA ELECTRICA	KWH	252,0000	709,2598
2	FUEL OIL	T	0,0150	0,0422
3	COMBUSTIBLE DIESEL	L	0,0000	0,0000
4	COMBUSTIBLE GASOLINA	L	0,7273	2,0470
5	CHATARRA DEACERO	T	1,0000	2,8145
6	FERROSILICIO AL 75 %	T	0,0090	0,0253
7	FERROMANGANESO AL 75 %	T	0,0060	0,0169
8	CARBON COQUE	T	0,2900	0,8162
9	CHATARRA DE HIERRO	T	0,0000	0,0000
10	PIEDRA CALIZA (GRAVILLA)	T	0,0405	0,1140
11	CARTON AMIANTO 3 MM (MEJANITA)	KGS	0,0001	0,0003
12	SILICATO METALURGICO	T	0,0110	0,0310
13	GRAFITO EN POLVO	T	0,0600	0,1689
14	GRAFITO EN ESCAMA	T	0,0064	0,0180
15	ALCOHOL NATURAL	L	1,0000	2,8145
16	BENTONITA NATURAL	T	0,1500	0,4222
17	MIEL FINAL	T	0,0450	0,1267
18	ARENA DE CROMITA LAVADA	T	2,0000	5,6290
19	LEÑA P/COMBUSTIBLE	M 3	0,0400	0,1126
20	ALAMBRE P/HERRAJE	T	0,1494	0,4205
21	MUELA PLANA 600	U	0,1200	0,3377
22	MUELA PLANA 400	U	0,1500	0,4222
23	DISCO DE FIBRAS	U	0,1600	0,4503
24	CEPILLO CIRCULAR DE ACERO	U	0,0727	0,2047
25	GRANALLA	T	0,1000	0,2815
26	LAD. ARCH 55 - L (H. de Cubilote y Cazuela)	T	0,0200	0,0563
27	LAD. ARCH 45 - L (H. de Cubilote y Cazuela)	T	0,0180	0,0507
28	LAD. ARCH. R - 64 (H. de Cubilote y Cazuela)	T	0,0015	0,0042
29	LAD. ARCH. R - 32 (H. de Cubilote)	T	0,0210	0,0591
30	MORTERO (ARCILLA)	T	0,0900	0,2533
31	AGUA (GRANALLA, MEZCLA Y FUSIÓN)	M ³	2,0000	5,6290
32	OXÍGENO INDUSTRIAL	M ³	0,2000	0,5629
33	TUBO DE ACERO DIAM. 14 mm	T	0,0030	0,0084
34	HORMIGON	T	0,0163	0,0459
35	BARRO REFRACTARIO	T	0,0327	0,0920
36	CEPILLO ACERO MANUAL	U	0,7273	2,0470



Universidad de Holguín
"Oscar Lucero Moya"
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Mecánica



Trabajo de Diploma

Tema: Reducción de las mazarotas en las piezas fundidas de acero aplicando cargas dinámicas.

Autor: Adriel Torres García

**Tutores: MSc. Rigoberto Pastor Sánchez Figueredo
Ing. Alexis Ronda Oro**

Curso: 2008- 2009.