



Ministerio de la Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
Facultad de Metalurgia y Electromecánica
Departamento de Metalurgia

Trabajo de Diploma

*Título: Propuesta de la metodología de cálculo del
Proceso de Fundición de la cuña de la válvula “top
flow”*

Tutores: Ms.C Tomás Fernández Columbié

Ing. Dayanis Alcántara Borges

Consultantes: Ing. Yodelkis Delgado

Dr.C Félix Morales

Autora: Dayana Samón Salas

Moa, 2010

“Año 52 de la Revolución ”

Declaración de Autoridad

Yo, **Dayana Samón Salas**, autora de este trabajo de diploma, certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez", y a la Empresa Mecánica del Níquel "Gustavo Machín Hoed de Beche", los cuales podrán hacer uso del mismo cuando estimen conveniente.

Dayana Samón Salas
Columbié

Autora

Ms.C. Tomás Fernández

Tutor

Ing. Dayanis Alcántara Borges.

Tutor

DEDICATORIA

Le dedico a mis padres: Idálmis Salas Romero y Josué Samón Gómez, que gracias a ellos estoy aquí por todo su apoyo y confianza, sé que soy todo para ellos, como ellos lo son todo para mí.

A mi familia, la cual le doy gracias por permanecer siempre unida, en especial a mis abuelos Brenda Gómez Rodríguez y Josué Samón Calderín que son para mí como padres por haberme criado y educado y si hoy estoy aquí es gracias a ellos también. A mis tías Iraida y Yolanda, a mi tío Juan que para mí significan mucho y son super especial al igual que todos mis primos.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco infinitamente a mis tutores: Ms.C Tomás Fernández Columbié y la Ing. Dayanis Alcántara Borges, a los profesores de la carrera que durante 5 años supieron formarme como profesional, a Félix Morales, Yodelkis Delgado y a todas las personas que me ayudaron para que fuera posible este trabajo.

A toda mi familia que siempre supo educarme e inculcarme buenos valores, por confiar en mí, es por eso que hoy les doy las gracias regalándoles este triunfo.

A mis mejores amigos que me han demostrado su amistad incondicional, me brindaron su apoyo y confianza, a mi novio y mis compañeros de grupo.

A personas que me ofrecieron su ayuda en estos 5 años en Moa y que fueron como familia para mí.

PENSAMIENTO

Si no tienes la fortaleza para imponer tus propios criterios a la vida, tendrás que aceptar las condiciones que ella te ofrece.

T.S. Eliot

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo desarrollar una metodología de cálculo para el proceso de fundición de la cuña de la válvula “top flow” en la línea de ácido sulfúrico de la planta de lixiviación en la empresa Pedro Sotto Alba. Se recogen aspectos relacionados con los mecanismos de desgaste, así como algunas características fundamentales de los aceros al cromo y datos relacionados con la composición química. Se establece una secuencia de pasos tecnológicos para la selección del proceso y la simulación empleando el Método de Elementos Finitos. Se realiza además una valoración económica de los resultados obtenidos y la incidencia de los mismos en el medio ambiente.

ABSTRACT

This work is like an objective to develop a methodology of calculation for the process of foundry of the cradle of the valve top flow of the line of sulphuric acid of the lixiviation plant in Pedro Sotto Alba enterprise (limited). It collects aspect related with the mechanism of attrition, like other fundamental characteristics of the steel to chromium and data related with the chemical composition. It establishes a shot of technological ways for the selection of the process and the simulation employing the method of finite elements. It realizes also an assessment economic of those results obtained and the incident of the same in the environment.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.1. Generalidades acerca de la cuña de la válvula “top flow”	4
1.2. Característica de la pulpa	5
1.3. Manifestación del desgaste	6
1.3.1. Desgaste por abrasión	7
1.4. Resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables	9
1.5. Desgaste abrasivo en aceros inoxidables	10
1.5.1. Propiedades del Alloy 20 ante medios agresivos	11
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS	12
2.1. Método utilizado al realizar la metodología de cálculo	12
2.2. Etapas de la metodología de cálculo del proceso de fundición	13
2.3. Metodología de cálculo para la fabricación de la pieza por fundición	13
2.3.1. Determinar la posición de la pieza en el molde	14
2.3.2. Determinar el plano de división del molde y de la plantilla	14
2.3.3. Diseño de la pieza fundida	14
2.3.3.1. Cálculo de los espesores mínimos	14
2.3.3.2. Análisis de las sobremedidas de maquinado	15
2.3.3.3. Dimensiones de los orificios fundidos	15
2.3.3.4. Análisis de la contracción (E) %	15
2.3.3.5. Determinación de la inclinación de la plantilla	16
2.3.4. Determinar la posición y dimensiones de los machos y sus portadas	16
2.3.5. Cálculo y diseño de las mazarotas	16
2.3.5.1. Evaluación del rechupe	17
2.3.5.2. Volumen y módulo de la mazarota	17
2.3.5.3. Cálculo del número de mazarotas	20
2.3.6. Cálculo del Sistema de alimentación	21
2.3.6.1. Determinación del cálculo del tiempo de vertido	21
2.3.6.2. Cálculo del área de control	21
2.3.6.3. Dimensiones de los escoriadores y alimentadores	22
2.3.7. Determinación de las dimensiones de las cajas de moldeo	23
2.3.8. Parámetros de colada y desmoldeo	24
2.3.9. Enfriamiento y solidificación del metal en el molde	24
2.4. Análisis mediante métodos numéricos	24
2.4.1. Solución numérica del problema	25
2.4.2. Metodología utilizada	26
2.4.3. Algoritmo para la simulación (COSMOS)	26
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	28

3.1. Metodología de cálculo propuesta	28
3.1.1. Determinar la posición de la pieza en el molde	28
3.1.1.1. Cálculo de los espesores mínimos	28
3.1.1.2. Sobremedidas de maquinado	29
3.1.1.3. Contracción E (%)	29
3.1.2. Determinación de la inclinación de la plantilla	29
3.1.3. Cálculo y diseño de las mazarotas	29
3.1.3.1. Evaluación del rechupe	30
3.1.3.2. Volumen y módulo de la mazarota	31
3.1.4. Cálculo del sistema de alimentación	33
3.1.4.1. Cálculo de las áreas de conducto	33
3.1.4.2. Determinación de la dimensión de los escoriadores y alimentadores	34
3.1.5. Determinación de las dimensiones de las cajas de moldeo	35
3.1.6. Parámetros de colada y desmoldeo	36
3.1.7. Enfriamiento y solidificación del metal en el molde	37
3.1.8. Desmoldeo	37
3.2. Resultados de la simulación	37
3.2.1. Reportes de la simulación de la pieza ante las tensiones que actúan sobre ella	39
3.2.2. Resultados de la simulación del proceso de fundición	42
3.3. Valoración económica	44
3.4. Impacto medio ambiental	47
CONCLUSIONES	48
RECOMENDACIONES	49
BIBLIOGRAFÍA	50
ANEXOS	

INTRODUCCIÓN

Las fundiciones aleadas son aquellas que contienen níquel, cromo, molibdeno, cobre en porcentajes suficientes para mejorar las propiedades mecánicas de las fundiciones ordinarias o para comunicarles alguna otra propiedad especial, como alta resistencia al desgaste, alta resistencia a la corrosión y al calor. Los elementos de aleación modifican la microestructura de las fundiciones y con ello su dureza y resistencia, estando en ocasiones estos cambios influenciados, además, por una variación de la templabilidad. Los elementos de aleación modifican también como en los aceros, la situación de los puntos críticos y además ejercen una acción muy importante y compleja de la grafitización. Otros elementos como el cromo, manganeso, y molibdeno son formadores de carburos, son elementos que tienden a formar fundición blanca en vez de gris y dificultan la grafitización. Una de las formas en que se clasifican las fundiciones son de baja y media aleación, que se caracterizan por tener pequeñas cantidades de níquel y cromo, molibdeno, cobre, generalmente en porcentajes inferiores a 5 %. En general, son fundiciones de alta resistencia a la tracción, de 25 a 50 kg/mm², muy superior a la de las fundiciones ordinarias. Suelen ser de estructura perlítica, sorbítica, bainítica y martensítica. También pertenecen a este grupo de fundiciones de baja aleación las fundiciones con 1 a 2 % de cromo resistente al calor y las fundiciones martensíticas muy resistentes al desgaste.

En esta familia, se suelen agrupar las fundiciones muy resistentes al desgaste, al calor y a la corrosión y cuya microestructura suele ser austenítica o ferrítica.

La determinación cuantitativa del desgaste ha sido de interés para la mayoría de los tribólogos de diferentes épocas, ya que ello permite incorporar a los cálculos de diseño, el efecto de la fricción y el desgaste. Dado que este proceso ya sea de un tipo u otro, constituye un fenómeno complejo, como ya se ha señalado; donde simultáneamente actúan de forma muy interrelacionadas varios factores, la práctica muestra que la forma natural del desgaste de las piezas depende en gran medida de la forma, características de los materiales, condiciones de explotación y estado de fricción de los pares cinemáticos.

Situación Problemática

En la planta de lixiviación de la Empresa Pedro Sotto Alba, la línea de tubería que transporta pulpa lixiviada del mineral, presenta un sistema de válvula del tipo top flow, las cuales son las encargadas de permitir o sellar el fluido, sin embargo las características del fluido que circula por la línea ha provocado deterioro en las cuñas. Estas válvulas suelen presentar defectos producto al desgaste físico, fuerte corrosión intercrystalina, provocando así serios problemas al proceso de producción. Todo esto ha motivado el cambio constante de este elemento. Estos cambios provocan el deterioro de los parámetros geométricos y la disminución del flujo productivo. El material de la cuña es del tipo inoxidable (Alloy 20) con elevado contenido de níquel, el cual debe proporcionar elevada resistencia a las tensiones a la que está sometido este proceso.

Problema

El conocimiento sobre la influencia (o sistema de relaciones) de las condiciones de operación de la cuña de la válvula top flow limita resolver su problema de desgaste y deformación.

Hipótesis

Si se establece la metodología de cálculo del Proceso de Fundición de la cuña de la válvula “top flow” se podrán determinar **los factores** que provocan el desgaste en la misma a través de la simulación empleando el Método de Elementos Finitos.

Objeto de la investigación

Cuña de la válvula top flow de la planta de lixiviación de la Empresa Pedro Sotto Alba.

Campo de acción

Mecanismo de desgaste en el material de la cuña de la válvula “top flow”.

Objetivo

Elaborar la metodología de cálculo del Proceso de Fundición de la cuña de la válvula top flow que permita la **determinación de los factores** que ocasionan el desgaste en la pieza.

Objetivos específicos

1. Analizar el comportamiento de los aceros inoxidables ante la corrosión y el desgaste abrasivo.
2. Definir la metodología de cálculo para el proceso de fundición de la cuña de la válvula top flow en base a la configuración de la pieza y características de los materiales de fabricación.
3. Simular el proceso de fundición y el comportamiento de la pieza ante las tensiones a las que está sometida empleando el Método de Elementos Finitos para la comprensión de las condiciones de desgaste.

Tareas del trabajo

1. Búsqueda bibliográfica que nos permita establecer el estado del arte de la temática objeto de estudio.
2. Caracterización del principio de funcionamiento de la válvula top flow.
3. Desarrollo de la metodología de fundición, así como la simulación por el Método de Elementos Finitos, para determinar los parámetros que inciden sobre la cuña de la válvula “top flow” durante el proceso.
4. Análisis de la valoración técnico-económica de estos procesos de fabricación.
5. Valoración acerca del impacto ambiental de dicha fabricación en el medio en que se realizará.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

Las válvulas empleadas en las líneas de tuberías donde circulan distintos tipos de fluidos, están expuestas a condiciones de trabajo severas, si se tiene en cuenta que en la mayoría de los casos por estas tuberías se transportan fluidos con características específicas como alto porcentaje de elementos corrosivos acompañadas de altas presiones y temperaturas. Estas condiciones de trabajo acortan la vida útil del elemento retirándolo de servicio.

Durante el funcionamiento de la válvula, la energía recibida por el fluido se transforma en energía potencial, cinética y, en un grado significativo, calorífica del flujo del líquido. El funcionamiento de la válvula, acoplada al sistema se encuentra en dependencia de las propiedades hidráulicas de este sistema, llamado red, por lo que el mismo debe mantenerse estable. La energía suministrada a la válvula durante su funcionamiento, sufre cambios de transformación de la energía, parte de la energía mecánica se pierde inevitablemente a causa de las pérdidas hidráulicas, mecánicas y fugaces.

Motivada por el dinámico funcionamiento de estos accesorios, las mismas están expuestas a severas condiciones de trabajo, lo que provoca que algunos de sus componentes se desgasten considerablemente y formen torbellinos en todas las partes del paso de la válvula como resultado del rozamiento hidráulico y hay que emplear procesos de fundición para restablecer los elementos desgastados.

En el presente capítulo se establece como objetivo

Realizar un análisis de la bibliografía existente que permita definir el estado del arte en la temática abordada y sustentar los resultados alcanzados en la investigación.

1.1. Generalidades acerca de la cuña de la válvula “top flow”

Estas cuñas son suministradas por la firma A. R. Thomson, forman parte de las válvulas empleadas en la salida de los enfriadores de mineral en la planta de Lixiviación, por ellas circulan como promedio, $0,024 \text{ m}^3/\text{s}$ de pulpa lixiviada con un sólido desde 25 hasta 30 % y desde 25 hasta 38 g/L de H_2SO_4 , dicha pieza está fabricada de acero inoxidable (Alloy 20)

Cada tren tiene 8 válvulas y el taller de maquinado de la Empresa Pedro Sotto Alba debe tener 10 de repuestos. Las válvulas “top flow” sustituyeron a las válvulas Cameron de enfriamiento por agua en el año 2002.

Las primeras cuñas de las válvulas “top flow” duraban 6 meses entre reparaciones sin daños, por lo que se generaliza su uso. Más tarde el suministrador no puede obtener los elementos internos de las válvulas al ser producidos en Estados Unidos, en particular el asiento de la válvula recubierto de vitón, este elemento se sustituye por uno similar canadiense.

A partir de ese momento comienzan a incrementarse los fallos de válvulas por deterioro del recubrimiento. Aparece corrosión intercrystalina en la cuña de dicha válvula (ver anexo 1), que se vuelve más severa después de la primera reparación, provocando que la válvula tenga que ser desechada luego de dos reparaciones.

Hasta el momento se han consumido un total de 1 702 asientos, 487 cuñas, 24 cuerpos y 39 válvulas que representan un total de \$3, 355,498, 00 USD.

1.2. Característica de la pulpa

La pulpa lixiviada o licor es una solución que se genera en el proceso de lixiviación y tiene característica ácida con un pH que oscila entre 1,6 y 2,6, temperatura desde 246°C y capaz de causar altas velocidades de corrosión.

Estos procesos corrosivos se ven acelerados o retardados por los siguientes factores: Temperatura, Concentración, Velocidad del fluido, Presencia de contaminantes.

De encontrarse presente un agente reductor fuerte los aceros inoxidable pierden su pasividad y sufren gran corrosión. En el caso específico de los licores el agente reductor puede ser el H₂S, no es el caso de la pulpa lixiviada pues en ella no debe encontrarse H₂S. Se suma a estos factores agresivos la presencia de sólidos en suspensión.

En el proceso industrial a lo largo del tiempo se ha comprobado que el comportamiento de los aceros inoxidable recomienda:

1. – Los SS al Cr – Ni (304, 310) y Cr – Ni – Mo (316, Alloy 20) no se pueden utilizar donde exista contaminación o saturación de H₂S.

2. - Los materiales recomendados para soluciones ácidas con presencia de H_2S son Hastelloy C – 276 y Titanio Grado 1 ó 2.

El 24 de Junio de 1972 en comunicación dirigida a la subdirección de Mantenimiento elaborada por el Laboratorio de Corrosión sobre “Corrosión de Distintos Materiales Inoxidables en las Líneas de Purga y de Vapor de exceso de la Planta de Lixiviación” se destacaba la aparición de Corrosión Inter cristalina en las camisas y parrillas de Acero Inoxidable 316 que trabajan en el interior de los Calentadores de Pulpa Cruda.

En informaciones originales norteamericanas se analiza que las tuberías destinadas al trasiego de Licor de Purga los SS 316, 316 L, 310 y Alloy 20 mostraron, en cortos períodos de tiempo, mucha corrosión aunque no se destaca el tipo de la misma. Estas líneas conducen vapor saturado con presión de $3 \cdot 10^6$ Pa que en ocasiones puede arrastrar rocío de sulfatos y contenido de cloruros de alta graduación.

El Carpenter 20 (Alloy 20) era el acero más resistente a aquellas condiciones de trabajo pero menos que el titanio. Por datos escogidos del Laboratorio de Corrosión de Junio de 1992 se señalaba que los cuerpos y volutas de Alloy 20 de las bombas de licor de Lixiviación, 135 PU 16 A/B, de la firma Cerpelli presentaron fuerte corrosión inter cristalina, en aquel momento se argumentó que las condiciones del proceso habían variado, los licores eran más agresivos que los de diseño por la presencia de H_2S entre otros elementos por lo que se recomendaba para este sistema de licor el uso de Titanio en sustitución del Alloy 20.

1.3. Manifestación del desgaste

El desgaste, la degradación física (pérdida o ganancia de material, aparición de grietas, deformación plástica, cambios estructurales como transformación de fase o recristalización, fenómenos de corrosión) debido al movimiento entre la superficie de un material sólido y uno o varios elementos de contacto.

Considera Hogmark (1978) que alrededor del 80 % de las sustituciones de los elementos de máquinas, son debido al desgaste y de ellas el 20 % tiene como causa principal el desgaste corrosivo. Por otra parte los gastos en la reparación y reposición son en la mayoría de los casos superiores a los gastos de fabricación.

Es por esta razón que la búsqueda de materiales más duraderos en una aplicación dada, es un objetivo básico en la actualidad.

A pesar de que las primeras ideas de modo formal sobre el desgaste fueron dadas por Leonardo Da Vinci en 1508, no fue hasta 1930 que se inician los estudios sobre el desgaste por Finle - Rosemberg y Davidenko. La mayoría de los autores (Mischler, 1999 y Sagaró, 2007) definen o clasifican el desgaste de seis formas fundamentales: Abrasivo, adhesivo, fatiga superficial, corrosivo, erosivo y el desgaste por frotamiento.

Por ser uno de los defectos que mayor efecto presenta la válvula “top flow” en la pérdida de material y energía, (se abordará en este capítulo el desgaste abrasivo). (ASM Volumen 18, 1992; Sarkar, 1980, Vázquez, 1997)

1.3.1. Desgaste por abrasión

Es el desgaste producido por partículas abrasivas que se deslizan sobre la superficie metálica produciendo desprendimiento de material, dislocaciones de cristales y ralladuras profundas. Este desgaste se pone de manifiesto en equipos agrícolas, de construcción y minería. También se observa en el equipamiento empleado en la preparación de las arenas de moldeo de fundición. En una estructura determinada la intensidad de desgaste por abrasión depende de la forma, dureza y tamaño de los granos y partículas abrasivas. Cuando permanecen atrapadas partículas duras entre las superficies que se deslizan; provocan la formación de surcos. También es posible este tipo de desgaste cuando las asperezas duras de un material penetran a otro de menor dureza, generando el desprendimiento de material; este proceso es similar al maquinado de materiales, donde las asperezas funcionan como herramienta de corte, solo que a nivel microscópico.

La velocidad de desgaste depende del grado de penetración del abrasivo en la superficie y por lo tanto es función de la dureza superficial del material. La dureza, la tenacidad y sobre todo la rugosidad de las partículas abrasivas, acentúan la abrasión, mientras que la fragilidad de éstas atenúa su efecto.

Si la dureza del abrasivo es muy superior a la dureza de la superficie fraccionada, el desgaste es fuerte. Si por lo contrario es más blando, la velocidad de desgaste

es lenta. Se debe tener en cuenta que si la dureza de ambos es similar, el más leve cambio de una de ellas puede aumentar considerablemente el desgaste.

Otros factores que afectan el desgaste abrasivo son la temperatura, las cargas que actúan sobre la superficie de trabajo, condiciones ambientales tales como la humedad y el grado de compactación de las partículas. Se considera que todo desgaste abrasivo del material es un agrietamiento por fragilidad, como resultado de actos de deformación plástica y endurecimiento que se repiten cíclicamente.

El proceso de desgaste abrasivo en condiciones reales, se realiza siempre con la colaboración no solamente de los granos abrasivos, sino también del medio exterior, de una composición química controlada (en el caso del empleo de lubricante) o no controlada (en el caso de la acción de la atmósfera).

El metal deformado plásticamente, al reaccionar con el oxígeno contenido en la atmósfera, forma estructuras de capas secundarias, que se diferencian del metal original por sus estructuras y propiedades de resistencia. La actuación de presiones produce la destrucción de esas capas y el descubrimiento consecutivo de nuevas superficies del metal puro. Este fenómeno se conoce con el nombre de desgaste oxidante.

En el desgaste abrasivo influye la dureza y la tenacidad del material. La tenacidad es la resistencia que opone el material deformado por la acción de las partículas abrasivas, a la rotura. El desgaste abrasivo depende también del coeficiente de fricción, fuerza de unión adhesiva entre partículas de la superficie del metal y las partículas abrasivas. Cuando los valores del coeficiente de fricción son elevadas, se favorece el proceso de microcorte.

Se ha demostrado experimental y teóricamente que la dureza del material está correlacionada con el grado de abrasión. (ASM Volumen 18, 1992)

La dependencia de la resistencia a la abrasión, de la composición química, dureza y microestructura de un hierro fundido de alto cromo ha sido demostrada (Gundlach, 1974) en un estudio realizado a 28 tipos de hierros blancos aleados con 17,5 % de cromo, en los cuales se presentaban tres niveles de contenido de carbono y aleadas con otros elementos tales como: Cobre (0,5 a 3,0 %), Manganeso (0,75 a 3,0 %), Molibdeno (0,5 a 3,0 %) y Níquel (0,6 a 2,0 %). Todas las muestras fueron ensayadas tal y como fueron obtenidas de la fundición. En

este estudio se demuestra que la dureza no es tan importante como la microestructura de la matriz en el control de la resistencia a la abrasión de un hierro blanco. Demostró también que contenidos de molibdeno combinados con níquel, cobre y manganeso en cantidades superiores a lo normal, producen fundiciones con satisfactoria resistencia a la abrasión, aspecto relacionado con las microestructuras que se obtienen debido al efecto de los elementos de aleación.

La función primaria de las aleaciones empleadas en sistemas donde predomina la abrasión metal - tierra, es aumentar la resistencia a la abrasión. Estas aleaciones están constituidas por alto contenido de cromo, en la que los carburos que se forman durante la solidificación de la aleación, les proporcionan las propiedades necesarias para este tipo de aplicación.

1.4. Resistencia a la corrosión de los aceros inoxidables

Todos los aceros inoxidables contienen el cromo suficiente para darles sus características de inoxidables. Muchas aleaciones de este tipo contienen además níquel para reforzar aún más su resistencia a la corrosión. Estas aleaciones son añadidas al acero en estado de fusión para hacerlo "inoxidable en toda su masa". Por este motivo, estos aceros no necesitan recibir tratamiento superficial para mejorar su resistencia a la corrosión. Al analizar los resultados, se puede plantear que el material más resistente al medio corrosivo utilizado es el Hastelloy C-276, seguido del Inconel 625 y del AISI 316 como el de menor resistencia, este último es seriamente afectado por el ácido en las condiciones del ensayo, si se toma en cuenta la alta velocidad de corrosión (Hogmark,1978)

También los aceros inoxidables se oxidan, pero en vez de óxido común, lo que se forma en la superficie es una tenue película de óxido de cromo muy densa que constituye una coraza contra los ataques de la corrosión. Si se elimina esta película de óxido de cromo que recubre los aceros inoxidables, se vuelve a formar inmediatamente al combinarse el cromo con el oxígeno de la atmósfera ambiente.

El empleo de acero inoxidable estará bajo la dependencia de las características oxidantes del ambiente. Si imperan condiciones fuertemente oxidantes, los aceros inoxidables resultan superiores a los metales y aleaciones más nobles (Matos, 1987). Sin embargo, en la misma familia de los aceros inoxidables la resistencia

a la corrosión varía considerablemente de un tipo al otro. La utilización de los aceros al cromo (Bermúdez, 2003) para fines industriales se debe principalmente a las condiciones de resistencia a la oxidación. Un acero al cromo con el 12 % desarrollará una película de óxido superficial al cabo de varias semanas de exposición a una atmósfera industrial. La película, una vez formada, actúa como barrera contra la corrosión más pronunciada. Con el 17 % de cromo, se necesitan varios meses hasta que se forma la película superficial de óxido, con más del 20 % de cromo, se vuelve pasivo en la atmósfera sin que se desarrolle una película de óxido visible. Otro procedimiento para evitar que en condiciones semejantes se forme óxido, consiste en añadir más del 7 % de níquel a una aleación con el 17 % o más de cromo. En atmósferas que contengan aire salino o humos procedentes de fábricas de productos químicos, la adición de molibdeno aumenta la resistencia a la corrosión.

Los fabricantes de acero han adoptado el procedimiento de "recocido brillante" para mejorar la resistencia a la corrosión. Este procedimiento evita que el cromo emigre de la superficie. También ha sido desarrollado, con el 17 % de cromo y el 1 % de molibdeno para obtener una mayor resistencia a las sales corrosivas empleadas para deshelar las rutas y, al mismo tiempo, para cumplir los requisitos de una fabricación más complicada para muchas piezas de carrocería.

1.5. Desgaste abrasivo en aceros inoxidables

Los iones cloruros, además de impedir la formación de capas estables de óxidos, provocan una gran fragilización en los aceros inoxidables, y contribuyen de este modo a un incremento de las razones de desgaste.

La influencia de los elementos componentes en algunas aleaciones puede resumirse de la siguiente manera: el elemento Ni como base es un elemento que proporciona resistencia al desgaste abrasivo y erosivo a la vez, conjuntamente con el Cr y el Mo (Li, 1999)

Es de significar, que los iones cloruros, además de impedir la formación de capas estables de óxidos, provocan una gran fragilización en los aceros inoxidables, y contribuyen de este modo a un incremento de las razones de desgaste. Producto del sinergismo es posible que en caso de los aceros inoxidables, el proceso de desgaste al provocar continuamente la ruptura y remover esta capa, deja al

sustrato metálico expuesto a la acción del medio agresivo, provocándose de esta forma un daño de mayor consideración. A esto contribuyen, como núcleo importante de picaduras, la ruptura de uniones adhesivas o microsoldaduras puntuales transferidas al material del contra cuerpo, y que dejan poros y oquedades. En tal sentido, (Burstein 2000) ha sugerido que durante el desgaste de aceros inoxidable austeníticos, la superficie rugosa resultante de la penetración de las asperezas del contra cuerpo es resultado de la formación de una grieta de picadura, el efecto es más severo si se trata de surcos y oquedades. Los resultados de los ensayos corroboraron además, la tendencia a la adhesión en frío del acero AISI 316 (Schumacher 1978). Como se mencionó anteriormente, ambas superaleaciones presentaron una mayor resistencia al desgaste abrasivo.

1.5.1. Propiedades del Alloy 20 ante medios agresivos

Es un Alloy de níquel, diseñado especialmente para manejar ácido sulfúrico de concentración baja a intermedia. Un 19,5 % de cromo, 33 % de níquel, 2,5 % de molibdeno más 3,2 % de cobre, le confieren una gran resistencia a la corrosión por agentes agresivos como cloruros y agentes reductores como ácido sulfúrico. Tiene gran resistencia a la corrosión por picaduras y a la corrosión bajo tensión producidas por cloruro. El contenido de cobre y níquel es responsable de la mayor resistencia al ácido sulfúrico reductor. Una pequeña cantidad de columbio más tantalio (máx 1 %), evitan la precipitación de carburos en la zona afectada por el calor en una soldadura. Esto permite su uso, después de soldada, sin tratamiento térmico y sin perder su resistencia a la corrosión, en esa zona. Puede ser usado en todo el rango de concentraciones desde 0 hasta 100 % de ácido sulfúrico (puro), a 60°C, sin superar una velocidad de corrosión uniforme de 0,12 mm/año. La máxima velocidad de corrosión está desde 60 hasta 75 % de ácido. La presencia de ión Fe^{3+} y Cu^{2+} en el ácido tiene un efecto inhibitor, disminuyendo la velocidad de corrosión. En cambio el cloruro sobre cierto nivel, aumenta la corrosión, produciendo picaduras (Li, 1999)

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El segundo capítulo desarrolla los conceptos fundamentales relacionados con la metodología de cálculo de los procesos de fundición, la justificación del empleo de acero al cromo y las variables que le caracterizan con sus niveles.

Se desarrollan los procedimientos tecnológicos para la fabricación de la cuña de la válvula “top flow”, ya que para lograr el establecimiento y la aplicabilidad de un procedimiento general, no solo basta con la elección del material y su valoración física, química y estructural. También se requiere tener en cuenta la teoría de la toma de decisiones y el flujo de información asociado a los cálculos ingenieriles y criterios tecnológicos en los procesos de fundición y maquinado.

En este capítulo se plantea como objetivo

- Fundamentar y explicar los métodos, procedimientos y condiciones experimentales para la solución del problema.

La obtención de piezas por fundición tiene gran importancia para la construcción de maquinarias. Se le aplica este proceso fundamentalmente a piezas que por su complejidad no pueden obtenerse por otros métodos más simples como la forja, el maquinado y otros.

2.1. Método utilizado al realizar la metodología de cálculo

Se utilizó como herramienta para solucionar el problema, la metodología de cálculo y el software.

El material empleado para obtener la pieza (objeto de estudio) en este trabajo es el Alloy 20, que según las normas AISI, ASTM; Key to Steel, 2002 y norma GOST, presenta la composición química que se refleja en la tabla 2.1

Tabla 2.1. Composición química del Alloy 20.

C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co
0,06	1,21	1,61	0,021	0,014	21,39	2,67	35,07	0,0110	0,03
Cu	Ti	V	W	Pb	Sn	As	B	Fe	
3,82	0,0099	0,05	0,01	<0,002	<0,001	0,009	<0,0010	34,03	

El desarrollo de la metodología propuesta está relacionado con los procesos de fundición, siguiendo una secuencia de pasos que permitan la obtención del producto final, (Goyos y Martínez, 1989).

2.2. Etapas de la metodología de cálculo del proceso de fundición

1. Análisis previo de la pieza para determinar si puede ser obtenida por fundición y selección del método a usar.
2. Determinar la posición de la pieza en el molde.
3. Determinar el plano de división del molde y de la plantilla y su posición en el molde.
4. Diseño de la pieza fundida con las variaciones necesarias para facilitar el proceso tecnológico.
5. Determinar y diseñar los machos necesarios.
6. Cálculo y diseño del sistema de alimentación y mazarotas.
7. Determinar las dimensiones de las cajas de moldeo.
8. Seleccionar las mezclas y pinturas.
9. Determinar los elementos básicos de los procesos de colada, enfriamiento y desmoldeo de la pieza.

2.3. Metodología de cálculo para la fabricación de la pieza por fundición

Para seleccionar el proceso tecnológico adecuado al fabricar una pieza por fundición se deben tener en cuenta diferentes aspectos como: cantidad de piezas a obtener, dimensiones y complejidad de la pieza, tipo de aleación, propiedades mecánicas y peso de la pieza.

2.3.1. Determinar la posición de la pieza en el molde

Para obtener las piezas fundidas de alta calidad en moldes de mezcla es necesario saber junto con otros factores la influencia de la gravedad. En la parte superior de la cavidad del molde se concentran los poros de gas, defectos a causa de la escoria, cavidades de contracción y porosidad.

2.3.2. Determinar el plano de división del molde y de la plantilla

Conjuntamente con el análisis de la colocación de la pieza en el molde se realiza el análisis de las superficies de división del molde y del modelo. La superficie de división se determina según la forma de la pieza, las exigencias técnicas y las posibilidades prácticas del taller.

2.3.3. Diseño de la pieza fundida

Para fabricar la pieza primero se debe determinar si la misma se puede obtener por fundición. Para ello primeramente se calcula el espesor determinante y comparado con el espesor mínimo de pared correspondiente se verifica si puede lograrse por el método de fundición elegido. (Goyos y Martínez, 1989).

2.3.3.1. Cálculo de los espesores mínimos

El espesor mínimo de las paredes debe asegurar la resistencia nominal que se exige y satisfacer las exigencias de la tecnología de fundición.

Para piezas macizas fundidas se recomienda determinar la dimensión N por la fórmula:

$$N = \frac{2 \cdot L + b + h}{4}; \text{ mm} \dots\dots\dots (2.1)$$

Donde:

N: espesor determinante, mm

L: longitud, mm

b: ancho, mm

h: altura, mm

2.3.3.2. Análisis de las sobremedidas de maquinado

La sobremedida de maquinado es el exceso de material que se adiciona a las superficies de las piezas fundidas, para disminuirlas mediante el maquinado a sus medidas establecidas en el diseño. Estas se establecen a base de: dimensión básica (Z) que no es más que la distancia entre las superficies maquinadas, y la dimensión determinante (S) la longitud de la superficie a elaborar. El extremo de las sobremedidas se hace a escala con lápiz rojo en el diseño.

El grado de precisión de la sobremedida de maquinado se va a indicar con el número de Norma Cubana seguido de las letras A, B, y C (grados de precisión) y se señala el número que define el tipo de aleación (1 para el acero y 2 para otro tipo de aleación fundida) tomado de (Goyos, y Martínez, 1989).

2.3.3.3. Dimensiones de los orificios fundidos

Para el caso de las piezas de acero que tengan uno o varios agujeros, no es necesario obtenerlas por fundición cuando:

$$d \leq 0,4 \cdot h + 10 \dots \dots \dots (2.2)$$

Donde:

d: diámetro del agujero, mm

h: altura del agujero, mm

2.3.3.4. Análisis de la contracción (E) %

Se conoce como contracción de la aleación, al cambio de volumen que experimenta esta, durante su solidificación y enfriamiento. Existen dos tipos de contracciones: las libres (la dimensión a lo largo de un borde de la pieza) y las frenadas (los diámetros de cavidades internas), las cuales estarán determinadas fundamentalmente por la geometría y complejidad de la pieza. (Goyos y Martínez, 1989)

2.3.3.5. Determinación de la inclinación de la plantilla

Si la pieza fundida no tiene las inclinaciones de construcción que le permitan un fácil moldeo y segura extracción de la plantilla de forma cómoda, será necesario adicionarlas. (Goyos y Martínez, 1989)

Esta inclinación: es la variación dimensional aplicada a las superficies de los modelos, moldes y piezas fundidas para cumplir exigencias de fundición o construcción. La inclinación de fundición, está dada en las superficies de modelos y machos para facilitar su extracción después de moldeados.

2.3.4. Determinar la posición y dimensiones de los machos y sus portadas

Para la proyección de los machos deben tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones.

1. El macho debe dar forma acabada a la superficie de la pieza fundida con la precisión determinada, su instalación en el molde debe ser fácil y asegurar la posibilidad del examen y control de las dimensiones del molde.
2. Tiene que asegurar la salida libre de los gases que se forman durante el llenado y la salida fácil de la mezcla de machos de la pieza durante su limpieza.
3. Debe poseer gran flexibilidad, resistencia mecánica y térmica.

Las portadas, son las paredes salientes de apoyo que presentan los machos, que no entran en contacto con el metal líquido. Las portadas determinan la estabilidad del macho en el molde, la exactitud de su posición y la seguridad de la salida de los gases que se desprenden del macho durante el llenado.

2.3.5. Cálculo y diseño de las mazarotas

Las mazarotas son el volumen extra de metal líquido que se adiciona para compensar los rechupes.

Para efectuar el cálculo se debe tener en cuenta una metodología

- ❖ Determinación de la forma de solidificación
- ❖ Cálculo de la magnitud del rechupe
- ❖ Determinación del volumen y módulo de la mazarota

- ❖ Comprobación del volumen de la mazarota
- ❖ Determinación de la cantidad de mazarotas
- ❖ Diseño de la mazarota.

2.3.5.1. Evaluación del rechupe

Los llamados rechupes no son más que las contracciones presentes en las aleaciones, por tal motivo se colocan mazarotas para su compensación.

Para el caso de la fundición de acero es posible evaluar el rechupe mediante la expresión

$$RE = REC + 1,03 \% Si + 0,0585 \% Mn + 0,12 \% Cr - 0,0354 \% Ni - 0,53 \% W + 1,7 \% Al + 0,013(T - 1600) \% \dots\dots\dots(2.3)$$

Donde:

RE: rechupe específico, %

REC: rechupe de la aleación según el contenido de carbono, %

T: temperatura de vertido, °C

La temperatura de vertido se determina por (Goyos y Martínez, 1989) para aceros inoxidables.

2.3.5.2. Volumen y módulo de la mazarota

Se le llama módulo a la relación existente entre el volumen contenido en una forma geométrica determinada y la superficie que la contiene.

Según el análisis, las mazarotas deben estar en correspondencia con las zonas de mayor masividad (mayor módulo).

La mazarota debe garantizar:

1. El módulo de la misma debe ser un 20 % mayor que el de la pieza para que alimente satisfactoriamente a esta.
2. La mazarota debe contener suficiente metal en estado líquido para alimentar la pieza teniendo en cuenta la utilización del metal en la mazarota y su propio rechupe.

Para determinar el módulo de la pieza se emplea la ecuación:

$$Mp = \frac{Vp}{Ap} \dots\dots\dots(2.4)$$

Donde:

Vp: volumen de la pieza, mm³

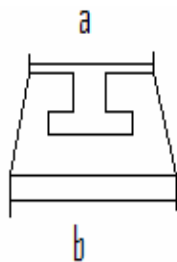
Ap: área de la pieza, mm²

La pieza se divide en dos superficies

1^{era} superficie

Cálculo del área

$$A_{s1} = \frac{(a + b)h}{2} \dots\dots\dots(2.5)$$



Donde:

h: altura, mm

a y b: lados de la superficie

A: área de la superficie, mm

Cálculo del volumen

$$V_{s1} = A_{s1} \cdot h \dots\dots\dots(2.6)$$

2^{da} superficie

Cálculo del área

$$A_{s2} = 2\pi \cdot r \cdot h \dots\dots\dots(2.7)$$

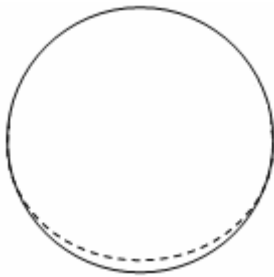
Donde:

r: radio, mm

h: altura, mm

Cálculo del volumen

$$V_{s2} = A_{s2} \cdot h \dots\dots\dots(2.8)$$



El volumen de la pieza sería la suma del volumen de ambas superficies.

$$V_p = (V_{s1} + V_{s2}) \dots\dots\dots(2.9)$$

El volumen de la mazarota se determina por la expresión siguiente (Goyos y Martínez, 1989)

$$Vm = \frac{4\pi r^3}{3} \dots\dots\dots(2.10)$$

Donde:

r: radio de la mazarota, mm

Para determinar el radio de la mazarota primeramente se calcula el diámetro, por la ecuación:

$$Dm = 1,4b \dots\dots\dots(2.10.a)$$

Aumento del espesor

$$c = 0,4b \dots\dots\dots(2.10.b)$$

La altura de la mazarota se determina por la ecuación

$$Hm = 0,5 \cdot H + 2c \dots\dots\dots(2.10.c)$$

Una vez determinado el volumen de la pieza, por superficie y de la mazarota se establece la siguiente relación teniendo en cuenta el valor de U (porcentaje de

utilización del metal en la mazarota), (Goyos y Martínez, 1989) para mazarotas cilíndricas es de un 14 %

$$V_m \geq V_p \frac{RE}{(U - RE)} \dots\dots\dots(2.11)$$

Donde:

V_m: volumen de la mazarota, mm³

V_p: volumen de la pieza, mm³

RE: rechupe específico, %

U: porcentaje que se utiliza de metal en la mazarota

Una vez determinado el módulo de la pieza para un 20 % se establece la relación siguiente

$$M_m \geq 1,2 MP$$

2.3.5.3. Cálculo del número de mazarotas

La determinación de las posiciones de las mazarotas, así como la cantidad de las mismas se puede realizar también por la experiencia práctica del diseñador al observar la propia geometría de la pieza y analizar los módulos de las diferentes partes de la misma, intensificándose este valor en torno a los nudos térmicos.

Para determinar el número de mazarotas se emplea la ecuación:

$$i = \frac{L - nD_{AII} - mD_{AIII}}{D_{Cm} + 2D_{AI}} \dots\dots\dots(2.12)$$

Donde:

DCM: diámetro del cuello de la mazarota, mm

DA: distancia de alimentación, mm

n: número de extremos libres en la L analizada

m: número de enfriadores presentes en la L analizada

En el cálculo de DA que es la distancia de alimentación, se parte de la clasificación de la pieza ya sea en placas (el largo y el ancho son comparables

y ambos mayores que seis veces el espesor) o barra (el largo es mayor que seis veces el ancho o el diámetro), se define el valor de esta dimensión en función del espesor de la pieza relacionándolo con dicha categoría, usando (Goyos y Martínez, 1989).

Para calcular el diámetro del cuello de la mazarota se clasifica la mazarota en: lateral izquierda, lateral derecha y superior, se escoge la forma de la mazarota ya sea redonda o rectangular y la correspondiente ecuación.

2.3.6. Cálculo del Sistema de alimentación

El sistema de alimentación puede ser considerado como un sistema hidráulico simple, siempre que se considere el metal líquido como un fluido de viscosidad y densidad constante.

Se realiza en dos etapas: el cálculo del tiempo de colada y posteriormente el cálculo de las áreas de los conductos.

2.3.6.1. Determinación del cálculo del tiempo de vertido

Para el cálculo del tiempo de colada se usan expresiones empíricas en función del metal a colar, la masa de metal y el espesor reducido de la pieza.

Para el cálculo del tiempo de vertido se utiliza la ecuación

$$\tau = S_1 \cdot \sqrt{\delta \cdot G} ; s \dots\dots\dots (2.13)$$

Donde:

S1: coeficiente de corrección.

δ : espesor predominante, mm

G: masa del metal, kg

2.3.6.2. Cálculo del área de control

Para el cálculo de la sección de control se utilizan diferentes métodos de cálculo en este caso se utilizará el método de Ossan.

En el caso particular de las piezas de acero la expresión queda afectada por un coeficiente de aleación Ka de la siguiente forma:

$$Ac = \frac{G}{\tau \cdot K_e \cdot K_a} ; cm \dots\dots\dots (2.14)$$

Donde:

G: Masa del metal que circula, kg

Ka: Coeficiente

Ke: velocidad específica de vertido, kg/s·cm²

Para determinar el valor de Ke

$$Ke = a \left(\frac{G}{Ve} \right) + b \dots\dots\dots (2.14.a)$$

Los valores de a y b aparecen en (Goyos y Martínez, 1989) usando molde seco.

El valor de Ka varía: para aceros al carbono es igual 1, para aceros de baja aleación 0,9; y para aceros altamente aleados 0,8.

Para calcular Ve que es el volumen espacial se emplea la ecuación siguiente.

$$Ve = L \cdot a \cdot h \dots\dots\dots (2.14.b)$$

Donde:

L: longitud, mm

a: ancho, mm

h: altura, mm

2.3.6.3. Dimensiones de los escoriadores y alimentadores

En el cálculo de las dimensiones de los escoriadores y alimentadores, se normalizan en (Goyos y Martínez, 1989), en dependencia del área de estos y teniendo en cuenta el espesor mínimo que se puede fundir en la pieza.

El sistema de alimentación se clasifica en: con presión, sin presión y con presión parcial, depende del tamaño de la pieza, se escoge la relación de colada en (Goyos y Martínez, 1989),

Para determinar las dimensiones del tragadero es decir la dimensión del sus diámetros inferior y superior se emplean las ecuaciones siguientes.

$$d_{\text{inf}} = \sqrt{\frac{4At}{\pi}} ; mm \dots\dots\dots(2.15)$$

$$d_{\text{sup}} = 1,15 \cdot d_{\text{inf}} ; mm \dots\dots\dots(2.16)$$

2.3.7. Determinación de las dimensiones de las cajas de moldeo

Se determina por las dimensiones de la pieza fundida, por la cantidad de piezas en la caja de moldeo, por su posición, las dimensiones de las mazarotas y sistema de alimentación y por las dimensiones de la portada de sus machos. Puede plantearse que las dimensiones de la caja de moldeo se determinan después de la elaboración de la tecnología de la pieza fundida.

Debe tenerse en cuenta que la capa de la mezcla entre la cavidad del molde y las paredes de la caja de moldeo tiene que asegurar la resistencia debida del molde para evitar su destrucción y deformación por la acción de presiones estáticas y dinámicas del metal vertido.

Las dimensiones de la caja de moldeo no deben ser excesivas porque aumenta la laboriosidad de la producción del molde y el consumo de la mezcla de moldeo.

Las distancias mínimas entre las diferentes partes de la cavidad del molde y las partes de la caja de moldeo (Goyos y Martínez, 1989).

Para calcular el largo de la caja se emplea la expresión:

$$L = a + L_{\text{pieza}} + K_1 + Esc + K_1 + L_{\text{pieza}} + a ; mm \dots\dots\dots(2.17)$$

Donde:

L: largo de la pieza.

Las dimensiones K1, se determinan en el texto Tecnología de la Fundición (Goyos y Martínez, 1989).

Para calcular el ancho de la caja se utiliza la ecuación:

$$A = a + A_{\text{pieza}} + d + A_{\text{pieza}} + K ; mm \dots\dots\dots(2.18)$$

Para calcular la altura de cada caja se debe tener en cuenta que la división es por el centro, por tal motivo se divide entre dos la longitud de la pieza:

Para la caja superior

$$h_{\text{sup}} = \frac{L_{\text{pieza}}}{2} + b \dots\dots\dots(2.19)$$

Para la caja inferior

$$h_{\text{inf}} = \frac{L_{\text{pieza}}}{2} + B \dots\dots\dots(2.20)$$

Los valores de B y b se encuentran en el libro de texto Tecnología de la Fundición (Goyos y Martínez, 1989).

Para determinar la altura del tragadero se utiliza la altura de la caja superior y del escoriador.

$$h_{\text{trag}} = h_{\text{sup}} - h_{\text{esc}} \dots\dots\dots(2.21)$$

2.3.8. Parámetros de colada y desmoldeo

Para determinar el tiempo de desmoldeo se utiliza el nomograma de Novikov, se toma en cuenta la temperatura a la cual se extrae la pieza del molde, esta depende del tipo de aleación y configuración, como es una pieza pequeña se recomienda extraerla del molde una vez que cristaliza.

2.3.9. Enfriamiento y solidificación del metal en el molde

El enfriamiento y la solidificación del metal, comienzan desde que este se pone en contacto con el molde. Dicho proceso comienza en las paredes del molde por ser los puntos de menor temperatura dentro de la masa líquida. En esencia **se reduce a que** el calor contenido en la masa de metal se transfiere al molde a través de la superficie de contacto entre ambos. Después de vaciar el metal fundido en el molde, éste se enfría y solidifica, **dicho proceso difiere, dependiendo de si el metal es un elemento puro o una aleación.**

2.4. Análisis mediante métodos numéricos

La gran evolución de los métodos informáticos tanto en su aspecto de hardware como software, ha permitido afrontar la resolución de complejos problemas físico-matemáticos cuya resolución analítica resultaría prácticamente imposible.

De hecho, muchos de estos problemas hace ya años que están planteados matemáticamente, solo falta un medio adecuado para la obtención de resultados prácticos confiables.

En la actualidad, el Método de los Elementos Finitos (MEF) ha sido muy generalizado y constituye una potente herramienta de cálculo numérico capaz de resolver cualquier problema formulable de la matemática, la física y la mecánica; permitiendo simular y realizar una gran cantidad de análisis en componentes y estructuras complejas, difícilmente calculables por los métodos analíticos tradicionales.

Con la simulación mediante MEF se intenta reproducir la realidad a partir de la resolución numérica de las ecuaciones matemáticas que describen el fenómeno estudiado con el uso de un ordenador. Por lo tanto, se puede asumir que la simulación es tan exacta como tantas sean las ecuaciones de partida y la capacidad de los ordenadores para resolverlas, lo cual fija límites a su utilización.

2.4.1. Solución numérica del problema

En lo referido al cálculo estructural, el método de elementos finitos puede ser entendido como una generalización de estructuras al análisis de sistemas continuos. El principio del método consiste en la reducción del problema con infinitos grados de libertad, en un problema finito en el que intervenga un número finito de variables asociadas a ciertos puntos característicos del objeto denominado “nodos”.

Las incógnitas dejan de ser funciones matemáticas del problema cuando pasan a ser los valores de dichas funciones en un número infinito de puntos. Así pues, en el MEF se supone que el comportamiento mecánico de cada parte o elemento en los que se subdivide el objeto, queda definido por un número finito de parámetros (grados de libertad) asociados a los puntos que en dicho momento se unen al resto de los elementos de su entorno (nodos).

Para establecer el comportamiento en el interior de cada elemento se supone que dentro del mismo, todo queda perfectamente definido a partir de lo que sucede en los nodos a través de una adecuada función de interpolación elaborada por COSMOS.

En el caso específico del análisis tenso-deformacional de elementos sometidos a la acción de cargas estáticas, el método permite la determinación de los componentes de los nodos por el efecto de una sollicitación estática y, en una segunda fase, la determinación del estado deformacional en ciertos puntos característicos. Este tipo de análisis permite acotar la deformación del objeto de estudio y localizar zonas altamente solicitadas o zonas de baja sollicitación.

Esta presentación aproximada de la realidad en forma de un modelo numérico permite la resolución del problema, donde los coeficientes se calculan automáticamente por el ordenador a partir de la geometría y propiedades físicas de cada elemento.

Sin embargo queda en manos del usuario decir hasta que punto la discretización utilizada en el modelo representa adecuadamente el modelo de la estructura.

2.4.2. Metodología utilizada

Debido a las dimensiones del elemento analizado, para el cálculo de los esfuerzos mediante MEF se empleó el método del sub-estructurado. El proceso de sub-estructurado es una técnica de elementos finitos basada en el principio de Saint Venant's que consiste en la interpretación física del método de la condensación aplicado a problemas mecánicos para la solución de grandes estructuras en las que se requieren, para ser resueltas, miles de elementos, nodos y grados de libertad y los recursos del cómputo no son suficientes para procesar toda la información que se pueda obtener. A través del sub-estructurado, el objeto de estudio se analiza como resultado del "ensamble" de complejos elementos.

La división del elemento en sub-elementos garantiza la facilidad y rapidez de cálculo con los ordenadores disponibles (COSMOS 5.7. User's Guide, 1999)

2.4.3. Algoritmo para la simulación (COSMOS)

El algoritmo desarrollado por etapas para el análisis que desarrolla el paquete COSMOS fue:

Primera etapa: Modelado de tubos de pequeñas dimensiones sometidos a temperaturas medias.

Segunda etapa: Modelado de tubos inoxidables y termorresistentes empleados en la industria minero metalúrgica.

Tercera etapa: Generación del mallado y condensación.

Cuarta etapa: Procesamiento y expansión de datos.

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se exponen los resultados derivados del trabajo experimental, y a partir de los mismos, las expresiones matemáticas que describan las regularidades del comportamiento del proceso de fundición.

Se realiza una evaluación de la valoración económica, así como la influencia de estos procesos en el medio ambiente.

Objetivo del capítulo

- Realizar la valoración crítica de los resultados y a través de ella, explicar los fundamentos que dan solución al problema planteado.

3.1. Metodología de cálculo propuesta

3.1.1. Determinar la posición de la pieza en el molde

La pieza en el molde quedará ubicada de forma horizontal, el plano divisor se realizará a la mitad utilizando 2 cajas de moldeo para evitar la mayor cantidad de pérdida de material al extraerla del molde.

3.1.1.1. Cálculo de los espesores mínimos

Este espesor debe asegurar la resistencia nominal que se exige y satisfacer las exigencias de la tecnología de fundición.

$L = 164 \text{ mm (0,164m)}$; $b = 128 \text{ mm (0,128 m)}$; $h = 32,5 \text{ mm (0,032m)}$.

Sustituyendo en 2.1

$$N = \frac{2 \cdot L + b + h}{4}$$

$$N = \frac{2 \cdot 164 + 128 + 32,5}{4}$$

$$N = 122 \text{ mm}$$

Nota: Con el valor obtenido de $N = 0,1\text{m}$ se determina el espesor mínimo de pared, el cual se encuentra en el rango de 4 – 5 mm, comparando resulta mayor el espesor de la pieza que tenemos realmente por tal motivo puede ser fabricada por fundición.

3.1.1.2. Sobremedidas de maquinado

La dimensión básica (Z) debe ser garantizada en la pieza generalmente porque existe una relación posicional entre las dos superficies analizadas, y la dimensión determinante (S) está referida a la superficie a maquinar.

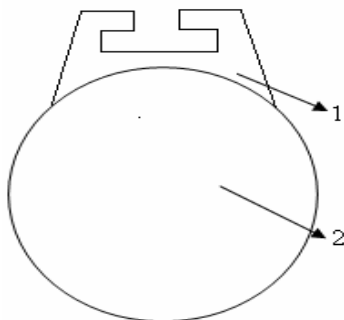


Figura 3.1 Superficies de la pieza.

La superficie 2, como se muestra en la figura 3.1 es **en este caso** la parte de la pieza que debe ser maquinada, debido a la configuración que presenta, **la superficie 1 se fabricará sólo por fundición.**

Las sobremedidas de maquinado van a estar dadas por el grado de precisión C-1, lo cual corresponde a piezas macizas fabricadas de acero.

Tabla 3.1 Sobremedida de maquinado

Superficies	Z (mm)	S (mm)	Sob.maq
2	32,5	132	3,5

3.1.1.3. Contracción, E (%)

En este caso siendo una contracción libre para aceros al cromo de alta aleación, el valor es de 1,3 %.

3.1.2. Determinación de la inclinación de la plantilla

Para superficies exteriores empleando modelos de madera y teniendo un valor de espesor $b = 37\text{mm}$ la inclinación de la plantilla es de 1,0 mm y $1^{\circ}40'$ (ver anexo 2)

3.1.3. Cálculo y diseño de las mazarotas

El diseño de las mazarotas incluye la determinación de la forma de la misma para garantizar la alimentación de la pieza dada con su geometría particular. Las

mazarotas se usan en moldes de fundición para alimentar metal líquido al proceso durante el enfriamiento y compensar así la contracción por solidificación.

3.1.3.1. Evaluación del rechupe

% C= 0,03; % Si = 1,61; % Mn= 1,21; % Cr = 21,39; % Ni= 35,07; % W= 0,01;

% Al= 0,011

El rechupe de la aleación según el contenido de carbono es de 2,3 y la temperatura de vertido para aceros inoxidables, de $T = 1550^{\circ}\text{C}$

Sustituyendo en la ecuación 2.3

$$RE = 2,3 + (1,03 \cdot 1,61) + 0,0585 \cdot 1,21 + (0,12 \cdot 21,39) - (0,035 \cdot 35) - (0,53 \cdot 0,01) + (1,7 \cdot 0,011) + 0,013(1550 - 1600)$$

$$RE = 4,15 \%$$

Tomando en cuenta las características de la pieza, se clasifica entonces en placa por la condición antes descrita, por tal motivo se escoge esta expresión para determinar D_A (distancia de alimentación).

$$D_A = 2T$$

El valor de T va dado en función del espesor en este caso de la placa.

Entonces:

$$D_A = 2 \cdot 39,2$$

$$D_A = 78,4 \text{ mm}$$

Se escoge de acuerdo a las condiciones que se tienen, mazarota superior de forma redonda donde la longitud debe ser menor que el radio.

$$Ln = \frac{D}{2}$$

$$Ln = \frac{128}{2}$$

$$Ln = 64 \text{ mm}$$

Al sustituir en cada ecuación correspondiente desde la (2.10.a) – (2.10.c), el diámetro de la mazarota es 33,6 mm, el aumento del espesor de 15,68 mm y la altura de 51,11 mm.

El diámetro del cuello de la mazarota es entonces:

$$D_{cm} = L_n + (0,2 \cdot D)$$

$$D_{cm} = 64 + (0,2 \cdot 128)$$

$$D_{cm} = 89,6 \text{ mm}$$

Se sustituye entonces en la ecuación 2.12, para determinar el número de mazarotas.

En la pieza no existe efecto terminal ya que es circular, por tal motivo $n=m=0$

El número de mazarotas teniendo en cuenta estos criterios es:

$$i = \frac{164}{89,6 + (2 \cdot 78,4)}$$

$$i = 0,66$$

Se considera entonces que el número de mazarotas aproximadamente es igual 1, por cada pieza (ver anexo 1) esto se representa en color rojo.

3.1.3.2. Volumen y módulo de la mazarota

Para utilizar el método de los módulos es decir la relación existente entre el volumen contenido en una forma geométrica determinada y la superficie que la contiene, se toman en cuenta dos condiciones: que el módulo de la mazarota debe ser un 20% mayor que el de la pieza para que alimente satisfactoriamente a esta y la mazarota debe contener el suficiente metal en estado líquido para alimentar la pieza.

En el cálculo del área de la superficie 1 se sustituye en la ecuación 2.5

$$A_{s1} = \frac{(50 + 62) \cdot 37}{2}$$

$$A_{s1} = 2072 \text{ mm}^2$$

Para el volumen 1 se remplazan los valores en la ecuación en la ecuación 2.6

$$V_{s1} = 2072 \cdot 37$$

$$V_{s1} = 76664 \text{ mm}^3$$

Para el área se la superficie 2, con la ecuación 2.7 se obtiene.

$$A_{s2} = 2 \cdot 3,14 \cdot 64 \cdot 39,5$$

$$A_{s2} = 15875,84 \text{ mm}$$

El volumen se obtiene sustituyendo en la ecuación 2.8

$$V_{s2} = 15875,84 \cdot 39,5$$

$$V_{s2} = 627095,68 \text{ mm}^3$$

El volumen total de la pieza se obtiene sustituyendo en la ecuación 2.9

$$V_p = (76664 + 627095,68)$$

$$V_p = 703759,68 \text{ mm}^3$$

Cálculo del módulo de la pieza teniendo en cuenta el volumen y área de la pieza.

$$M_p = \frac{703759,68}{17947,84}$$

$$M_p = 39$$

El módulo de la mazarota, debe alcanzar el 20 % de superioridad con respecto a la pieza para un radio de 16,8 mm.

$$M_m = \frac{r}{3}$$

$$M_m = 5,6 \text{ mm}$$

Entonces:

$$5,6 \geq 46,8$$

No se cumple la condición por tal motivo deben aumentarse las dimensiones de la mazarota hasta satisfacerla.

El volumen de la mazarota se determina sustituyendo en la ecuación 2.10

$$V_m = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot (16,8)^3}{3}$$

$$V_m = 19851,63 \text{ mm}^3$$

Una vez que se tiene el valor del volumen de la mazarota se compara en la expresión 2.11

$$V_m \geq 703759,68 \cdot \frac{4,15}{(0,14 - 4,15)}$$

$$19851,63 \geq -728329,84 \text{ mm}^3$$

3.1.4. Cálculo del sistema de alimentación

El sistema de alimentación es el responsable de conducir el metal líquido a la cavidad del molde en el punto adecuado y a la velocidad conveniente.

Cálculo del tiempo de vertido para los aceros

$$S = 1,5; G = 8,28 \text{ kg}; \delta = 10 \text{ dm}$$

Sustituyendo en 2.13

$$t = 1,5 \cdot \sqrt{10 \cdot 8,28}$$

$$t = 6,53 \text{ seg}$$

3.1.4.1. Cálculo de las áreas de conducto

Para determinar el área de conducto se utiliza el método de Ossan.

El volumen queda de la forma siguiente sustituyendo en 2.13.b

$$V_e = 1,64 \cdot 1,28 \cdot 0,32$$

$$V_e = 0,67 \text{ dm}^3$$

El valor de K_a es de 0,8 para aceros altamente aleados, se escoge acero en molde seco para determinar los valores de a y b para el cálculo de K_e se sustituye en 2.13.a.

$$K_e = 0,08 \cdot \left(\frac{8,28}{0,67} \right) + 0,91$$

$$K_e = 1,89 \text{ kg} / \text{cm}^2 \cdot \text{s}$$

Sustituyendo en 2.14

$$A_c = \frac{8,28}{6,53 \cdot 1,89 \cdot 0,8}$$

$$A_c = 0,83 \text{ cm}^2$$

Análisis de unidades

$$\frac{\text{kg} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s}}{\text{kg} \cdot \text{s}} = \text{cm}^2$$

3.1.4.2. Determinación de la dimensión de los escoriadores y alimentadores

Se considera un sistema de alimentación con presión por ser una pieza pequeña.

Tabla 3.2. Relaciones de colada

Aleación	Tipo de pieza.	Aal	Aesc	At
Alloy 20	Pequeña	1	1,1	1,2

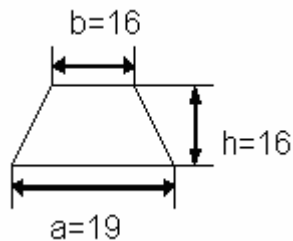
En la caja de moldeo van ubicadas 4 piezas por su tamaño, colocando un alimentador por cada una y un escoriador y tragadero para todo el sistema (ver anexo 3).

$$\sum F_{a\lim} = 3,32 \cdot 1$$

$$F_{a\lim} = 3,32 \text{ cm}^2$$

Las dimensiones son:

$$a=19 \text{ mm} \quad b=16 \text{ mm} \quad h=16 \text{ mm}$$



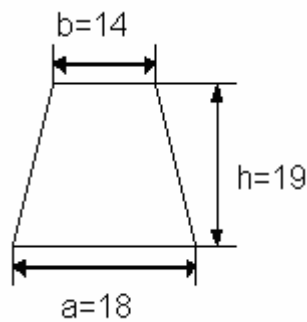
Para el escoriador

$$\sum F_{esc} = 3,32 \cdot 1,1$$

$$F_{esc} = 3,65 \text{ cm}^2$$

Las dimensiones normalizadas del escoriador son las siguientes:

$$a=18 \text{ mm} \quad b=14 \text{ mm} \quad h=19 \text{ mm}$$



Para el tragadero

$$\sum F_{trag} = 3,32 \cdot 1,2$$

$$F_{trag} = 3,98 \text{ cm}^2$$

Se determinan las dimensiones de los diámetros inferior y superior sustituyendo en las ecuaciones 2.15 y 2.16

$$d_{inf} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,98}{3,14}}$$

$$d_{inf} = 1,26 \text{ cm}$$

$$d_{sup} = 1,15 \cdot 1,26$$

$$d_{sup} = 1,45 \text{ cm}$$

El sistema de alimentación se representa en color rojo (ver anexo 2 y 3)

3.1.5. Determinación de las dimensiones de las cajas de moldeo

En la caja de moldeo se colocan 4 piezas, por la configuración y tamaño que esta presenta, distribuyendo un alimentador por cada una (ver anexo 3)

Sustituyendo en la ecuación 2.17

$$L = 20 + 203 + 6 + 11 + 6 + 203 + 20$$

$$L = 469 \text{ mm}$$

Para determinar el ancho de la caja se tomaron en cuenta los valores siguientes:

Sustituyendo en la ecuación 2.18

$$A = 20 + 128 + 1,5 + 128 + 40$$

$$A = 317,5 \text{ mm}$$

Para determinar las dimensiones de la altura de la caja superior e inferior se toman en cuenta las dimensiones B y b.

Sustituyendo en la ecuación 2.19 y 2.20

Para la caja superior

$$h_{\text{sup}} = 82 + 35$$

$$h_{\text{sup}} = 117 \text{ mm}$$

Para la caja inferior

$$h_{\text{inf}} = 82 + 50$$

$$h_{\text{inf}} = 132 \text{ mm}$$

Sustituyendo en la ecuación 2.21 para determinar el valor de la altura del tragadero.

$$h_{\text{trag}} = 117 - 19$$

$$h_{\text{trag}} = 98 \text{ mm}$$

Las dimensiones de la caja se determinan en dependencia de la distancia de la pieza a cada borde de la caja. Las dimensiones ideales de la caja inferior son: 469 X 317,5 X 132

Se eligió mezcla autofraguante con una composición de 29 % de catalizador y 37 % de resina, en molde químico para que la pieza se obtenga con mejor calidad.

Se escogió pintura base circonio, es de alta calidad y buena textura, recomendable para aceros inoxidable.

3.1.6. Parámetros de colada y desmoldeo

La temperatura de desmoldeo es de 500°C y el Índice de Masividad (IM) es igual a 1 ya que es una pieza maciza. Por estas razones el tiempo de desmoldeo es de 40 minutos.

3.1.7. Enfriamiento y solidificación del metal en el molde

Para piezas de acero fundido, con masa de hasta 100 kg, la duración de enfriamiento de la pieza fundida en el molde es de 2 – 4 horas, para una temperatura de vaciado de 1600°C.

3.1.8. Desmoldeo

Después de la solidificación y enfriado hasta el punto de poder ser manipulada sin peligro, se procede al desmoldeo, el cual se hará de forma mecánica con una máquina desmoldeadora.

3.2. Resultados de la simulación

Realizada la simulación por el MEF (Método de Elementos Finitos) se logró obtener los siguientes reportes, en función de algunas características de la pulpa lixiviada, como temperatura, presión y propiedades del material.

En la figura 3.2 se muestra sobre qué superficie de la pieza actúan las cargas

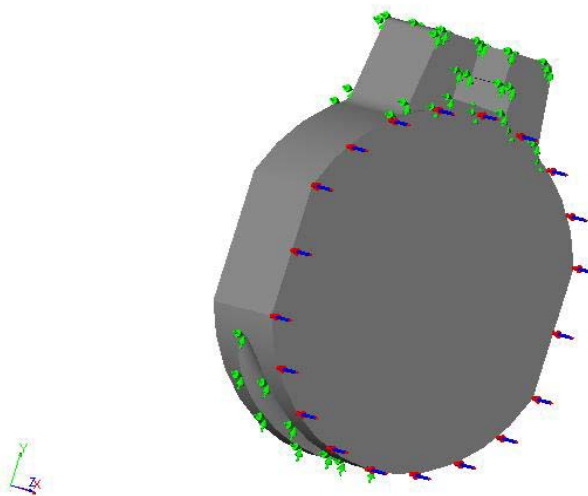


Figura 3.2 Distribución de cargas en la pieza

Para esta simulación se tomaron en cuenta valores de temperatura, presión, composición del sólido y del ácido sulfúrico, pertenecientes a la pulpa, y que ocasionan los daños que se mostrarán en los posteriores resultados.

En la parte superior e inferior se representan los lados de la pieza por donde no existe movimiento, es decir se encuentra fija con otra superficie. Las flechas

indican la carga que incide sobre un lado o cara del objeto, donde hay mayor contacto entre el fluido y él.

Luego se obtuvo el enmallado de la pieza lo cual se representa en la figura 3.3

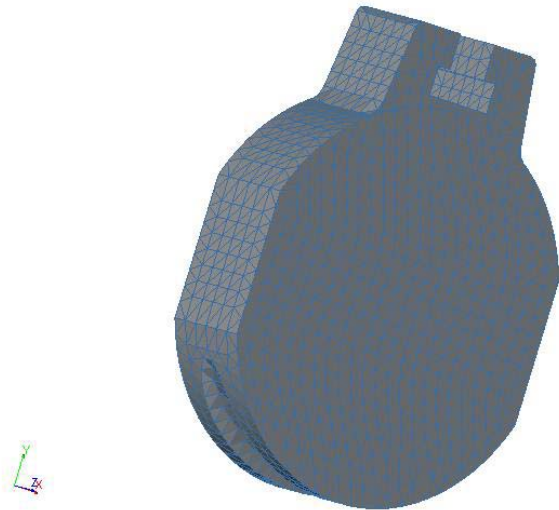


Figura 3.3 Enmallado de la pieza

Los reportes vienen dados por las características propias del material (Alloy 20) con el que se realizará la fundición.

Tabla 3.4 Datos principales de la malla

El Tamaño del elemento:	0,0038577 m
El número de elementos:	40061
El número de nodos:	8446

El enmallado ofrece la oportunidad de dividir la pieza en elementos conformados por los nodos, para poder lograr la simulación de toda una superficie.

3.2.1. Reportes de la simulación de la pieza ante las tensiones que actúan sobre ella

En la figura 3.4 se muestra el comportamiento del esfuerzo sobre la pieza.

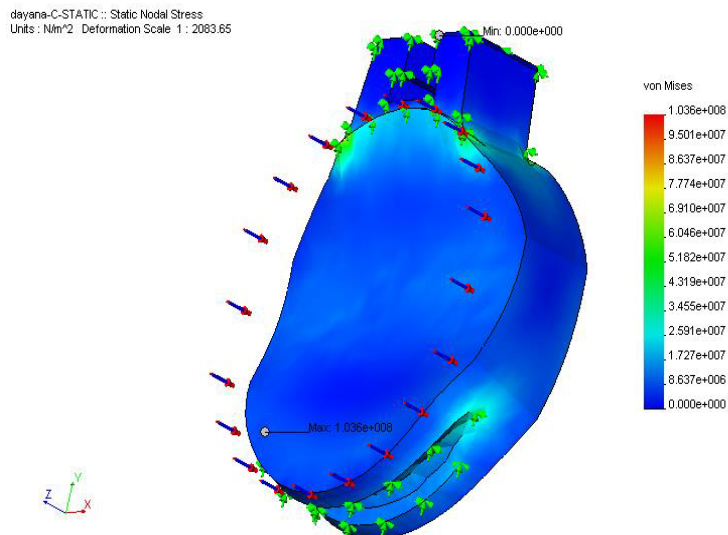


Figura 3.4 Distribución de los esfuerzo

Según los resultados, no existen graves afectaciones, el mínimo de valores se representa en toda la figura. Los mayores puntos concentradores de tensiones se encuentran en los apoyos de la pieza, lugar donde no existe movimiento y es mayor el esfuerzo.

En la figura 3.5 se muestra el desplazamiento de las tensiones sobre la pieza.

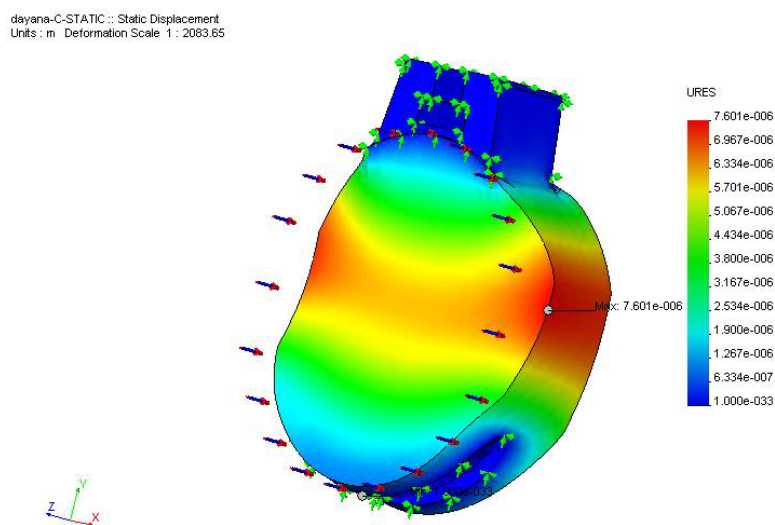


Figura 3.5 Representación del desplazamiento

Se puede observar que existen mayores afectaciones en el cuerpo analizado, principalmente en la parte que entra en contacto con el fluido, que en este caso es la superficie plana. Esto representa, la sensibilidad y poco soporte del material ante el contacto que tiene con la pulpa lixiviada.

En la figura 3.6 se reflejan los resultados acerca del comportamiento de las tensiones térmicas sobre la pieza.

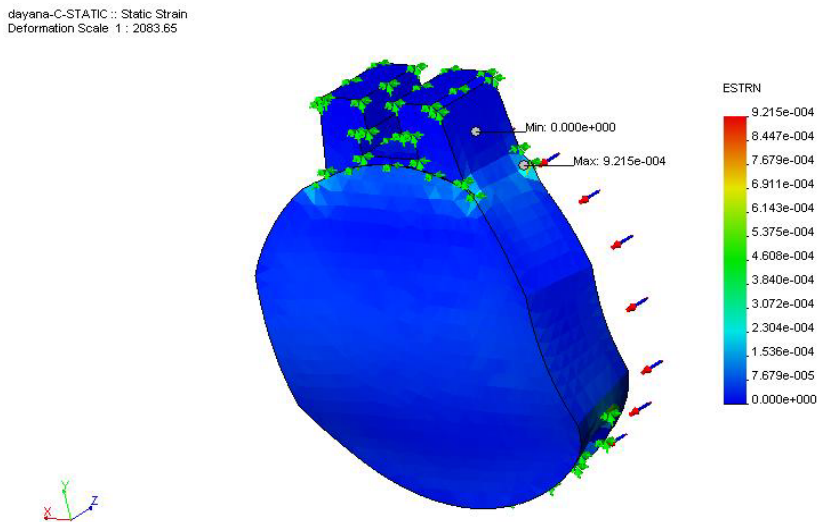


Figura 3.6 Comportamiento de la tensión

Las tensiones térmicas generan daños ya sea distorsión, deformación e imperfección en menor o gran medida de acuerdo con las características y propiedades del objeto. En este caso la pieza analizada presenta un máximo de temperatura de $9,21 \cdot 10^4^\circ\text{C}$ lo cual representa poca probabilidad de ser grandemente afectada ya que en todo el cuerpo analizado se refleja en mayor proporción el mínimo de temperatura.

La figura 3.7, muestra el grado de deformación que sufre la pieza, principalmente en la zona donde recibe mayor carga.

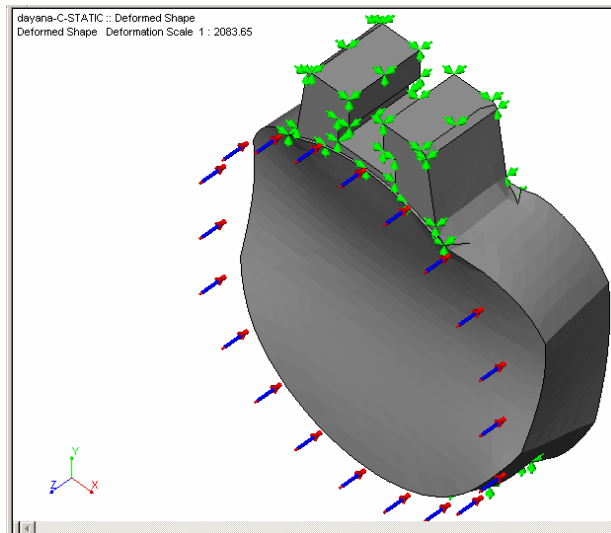


Figura 3.7 Deformación de la pieza

La deformación sobre la pieza depende en cierta medida del grado de dureza o la granulometría que presenta cada uno de los cuerpos que entran en contacto, específicamente en la zona donde ocurre. La pulpa presenta una granulometría de 0,8 a 1 mm de partícula sólida lo que provoca que la pieza sea rayada una vez que actúa sobre ella lo que trae como resultado el desgaste y la corrosión intercrystalina.

En la figura 3.8 se muestra el grado del coeficiente de diseño de la pieza.

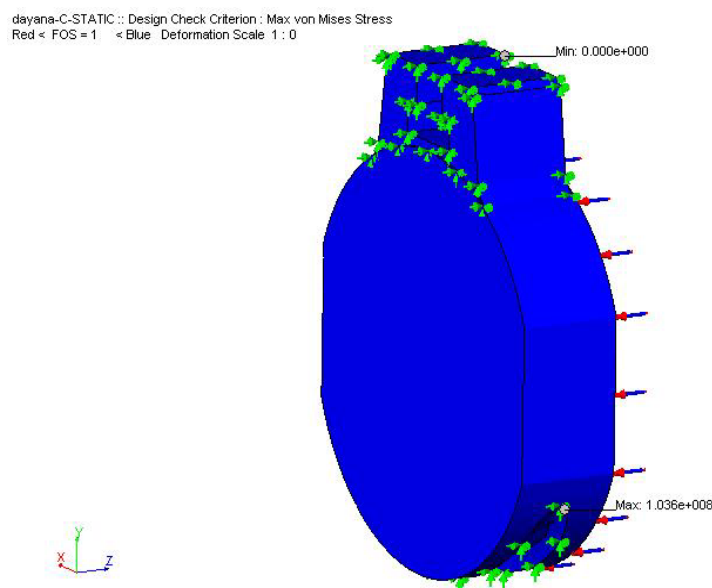


Figura 3.8 Coeficiente de diseño que presenta la pieza

En cuanto al diseño de la pieza, esta por sus dimensiones (espesor, ancho, largo) no requiere de grandes condiciones para su configuración, es pequeña y de poco peso. Sólo que está conformada por superficies diferentes, donde existe variación de su altura y ancho, aún así no representa problema para su diseño.

3.2.2. Resultados de la simulación del proceso de fundición

En la figura 3.9 se representa el enmallado de la pieza y la forma en que actúa las cargas sobre ella, los valores correspondientes a los resultados coinciden con lo representado en la figura 3.3

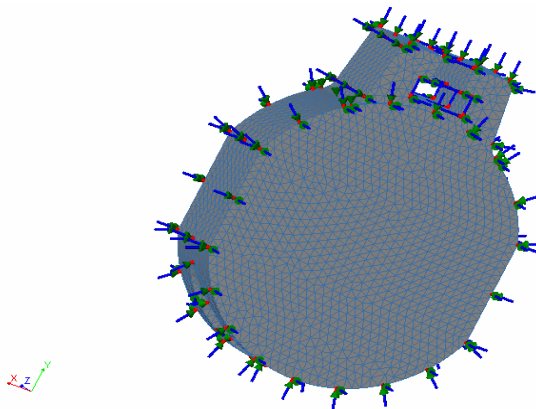


Figura 3.9 Distribución de las cargas y enmallado de la pieza

En la figura 3.10 se muestra cómo se comporta el material ante las incidencias de las temperaturas en las diferentes partes de la pieza al efectuarse el proceso de fundición.

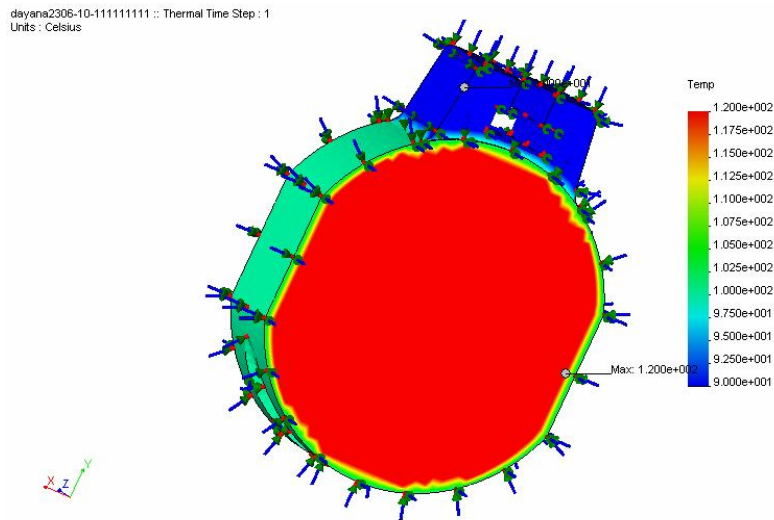


Figura 3.10 Distribución de temperatura en la pieza, durante el proceso de fundición

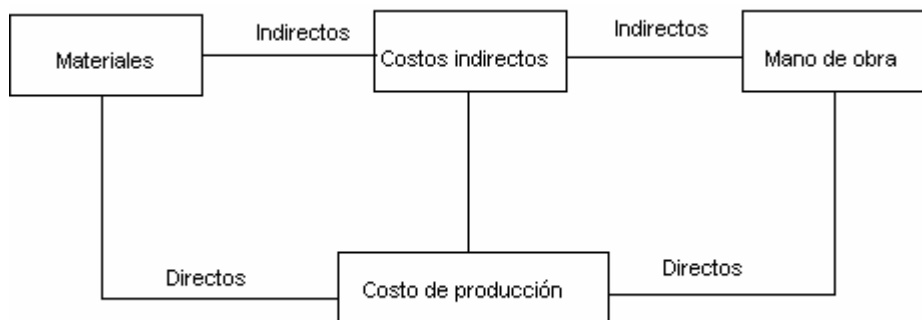
Las superficies planas son las que adquieren altos niveles de temperatura, siendo estas las zonas de mayor área de contacto con el metal vertido, debido a la configuración de la pieza, ubicación en el molde (horizontal) y orientación de la colada (arriba). En cuanto al gradiente térmico, este se dirige desde el centro hacia los bordes de la pieza, con el consecuente flujo de calor por convección entre el metal líquido y la superficie sólida, unido al proceso de transferencia de calor por conducción, dando lugar al proceso de enfriamiento, el cual se efectúa en un intervalo de tiempo de 2 a 4 horas y la solidificación una vez que alcanza los 500°C, la pieza presenta además un máximo de temperatura de 120°C en las superficies planas las cuales son las más afectadas (ver anexo 1)

Una vez realizada la simulación, se determinó que el material en la pieza se comporta menos resistente en las superficies planas ante los **parámetros que inciden sobre ella**, existiendo además poca afectación en los bordes y la parte superior de la misma.

3.3. Valoración económica

Costos de producción

Para los costos de producción en cualquier empresa productora de piezas se tienen en cuenta fundamentalmente la mano de obra y los materiales de producción.



Costo de producción por fundición

Terminada la pieza, es necesario, determinar el costo de producción. El mismo viene dado por el gasto de materiales fundamentales y auxiliares, energía eléctrica y salario de la fuerza de trabajo en la fabricación de esta, durante el proceso de fundición. El análisis económico de este trabajo se realiza sobre la base del metal líquido utilizado en el llenado del molde.

Tabla 3.4 Costo para producir una pieza

Ficha de costo para producir una pieza				
Materiales	U/M	Cantidad	Precio CUC	Importe CUC
Arrabio	kg	5,43	0,392	2,128
Palanquilla	kg	3,00	0,172	0,516
Ferromagnesio	kg	0,70	1,420	0,994
Ferrosilicio	kg	1,50	0,960	1,44
Espato fluor	kg	2,70	0,290	0,783
sub.-total		13,33		5,861

Otros materiales				
Arena sílice	kg	10,00	0,022	0,22
Catalizador	kg	12,00	1,030	12,36
Resina	kg	15,00	2,390	35,85
Alcohol	kg	1,00	0,800	0,80
Grafito plateado	kg	1,05	0,180	0,189
Pezrubia	kg	0,10	0,880	0,88
Electrodo de corte	kg	0,50	12,500	6,25
Granalla	kg	0,50	2,370	1,18
sub.-total		40,15		56,35
Total				62,21

Con el valor de una pieza y considerando el consumo del metal líquido necesario para llenar el molde de la pieza el cual por cálculo nos da 3,06kg, en la siguiente tabla se indican los costos de producción de dicha pieza.

Tabla 3.5 Cálculo del costo directo e indirecto para la producción de una pieza

Costos directos			
Materiales fundamentales	kg	Costo (unitario)	Total
Arrabio	5,43	0,392	2,128
Palanquilla	3,00	0,172	0,516
Ferromagnesio	0,70	1,420	0,994
Ferrosilicio	1,50	0,960	1,44
Espato fluor	2,70	0,290	0,783
Total			5,861
Materiales auxiliares	kg	Costo	Total

		(unitario)	
Arena sílice	10,00	0,022	0,22
Catalizador	12,00	1,030	12,36
Resina	15,00	2,390	35,85
Alcohol	1,00	0,800	0,8
Grafito plateado	1,05	0,180	0,189
Pezrubia	0,10	0,880	0,88
Electrodo de corte	0,50	12,500	6,25
Granalla	0,50	2,370	1,18
Total			62,21
Salario básico			5,61
Salario complementario (9,09%)			0,51
Seguridad social(14%)			0,86
Utilización de la fuerza de trabajo			1,74
Total de salario			8,72
	kg	Costo (unitario)	Total
Energía	94,00	0,150	14,10
Total de los costos directos			85,03
Costos indirectos			
Carga fabril (2,67%) (Salario básico)			0,15
Total del costo			85,18

3.4. Impacto medio ambiental

El incremento de la vida útil de las bombas contribuye en determinada medida a un mejor aprovechamiento de las posibilidades productivas de estos equipos, es decir con el aumento de su durabilidad, se reportan otras ventajas como la reducción del costo de explotación y de mantenimiento del equipo. Con lo que podrían disminuir las importaciones y derivar recursos hacia otros renglones contribuyendo así al aprovechamiento eficiente de los recursos.

El desgaste producido en la cuña origina la pérdida de dimensiones, provocando el desbalance del sistema y a su vez grandes vibraciones de magnitudes que generan ruidos. Por otra parte al terminar su vida útil es casi imposible sustituirlas sin dañar otros elementos y aunque en nuestro país se hace énfasis en la recuperación de materias primas como las chatarras de acero, en mucho de los casos estas chatarras se botan y pasan a formar parte de las acumulaciones de escombros.

El proceso de fundición es altamente generador de residuos sólidos y gaseosos, en la fundición se generan gases nocivos que van a parar en la atmósfera afectando así el medio circundante y la vida de la flora y la fauna de las zonas aledañas. Además la arena de moldeo que se derrama, la cual posee varios componentes como aglutinantes, melaza que de cierta manera inciden en los suelos.

CONCLUSIONES

- ❖ Al analizar el comportamiento de los aceros inoxidable, ante medios agresivos, como la corrosión y desgaste abrasivo, teniendo en cuenta sus características, se llegó a la conclusión de que aleaciones como el Hastelloy C – 276, el Inconel 625 resultan unas de las más resistentes ante estos medios comparadas con el Alloy 20.
- ❖ Al establecer la metodología de cálculo del proceso de fundición de la cuña de la válvula “top flow” bajo las condiciones de trabajo y composición química del material, se determinaron los factores causantes del desgaste en la pieza.
- ❖ En la simulación del proceso de fundición de la cuña de la válvula “top flow”, a partir de un análisis por el Método de los Elementos Finitos, se muestra la incidencia de la temperatura de trabajo en la pieza durante las diferentes etapas que incluye el proceso. Donde, la superficie plana de mayor área, recibe mayor impacto de temperatura, permitiendo que esta zona sea la más afectada.

RECOMENDACIONES

- ❖ Realizar análisis periódico a los elementos que integran el conjunto de la válvula “top flow”, específicamente en la cuña, con el objetivo de disminuir el desgaste en este elemento.
- ❖ Propuesta de otro material, que sea más resistente ante la corrosión y provoque menos desgaste en la pieza como es el caso del Hastelloy 2000.
- ❖ Establecer sistema de protección que permita disminuir la incidencia de emanación de polvos y gases que afectan el medio ambiente.
- ❖ Tratar de que este sistema trabaje a la temperatura adecuada y que no exista entrada de aire del medio en las válvulas, ya que el ácido es dañino, cuando reacciona con el mismo.

BIBLIOGRAFÍA

AISI, ASTM; Key to Steel, 2002 y norma GOST

ASM Volumen 18, 1992; Sarkar, 1980, Vázquez, 1997.

ASM Volumen 18, 1992

Bermúdez, M. D. y otros, 2003 “Erosión–corrosión de tantalio y aceros inoxidables”, *Memorias del IX Congreso de Ciencia y Tecnología de Materiales*, Madrid, España

Burstein, G. T. 2000 “Effect of Impact Angle on the Slurry Erosion–Corrosion of 304L Stainless Steel”, *Wear* 240, págs. 80-94.

COSMOS 5.7. User’s Guide, 1999.

Goyos y Martínez, 1989, *Tecnología de la Fundición* Tomo1

Hogmark, S.; Vingsbo, O, 1978 “Mechanisms of Dry Wear of Some Martensitic Steels”, *Source Book on Wear Control Technology. ASM Engineering Bookshelf. American Society for Metals*, Metals Park, Ohio 44073

Laboratorio “*Corrosión de Distintos Materiales Inoxidables en las Líneas de Purga y de Vapor de exceso de la Planta de Lixiviación*”

Li Shizhuo & Jiang Xia, 1999 “Effect of Environmental Embrittlement on Wear Resistance of Alloys in Corrosive Wear”, *Wear* 225-229, págs. 1025-1030

Matos Tamayo, Roger y otros, 1987 *Introducción a la corrosión y protección de metales*, La Habana, Ediciones ENPES, Cuba

Mischler, S, 1999 “The Role of Passive Oxide Films on the Degradation of Steel in Tribocorrosion Systems”, *Wear* 225-229, págs. 1078-1087.

Sagaró, R. 2007 *Tecnología Química*, vol. XXVII, No. 2, págs. 41-47.

Schumacher, W, 1978 “Wear Compatibility of Unlubricated Stainless Steel and Other Metal Couples”, *Source Book on Wear Control Technology, ASM Engineering Bookshelf. American Society for Metals*, Metals Park, Ohio 44073

ANEXOS

Anexo 1

Esta es una representación de las condiciones de desgaste que existen en la pieza, principalmente en las superficies planas o sea, en la zona donde ocurre mayor contacto con el fluido, lo cual representa una confirmación de los resultados obtenidos en la simulación del proceso de fundición de fabricación de la pieza.



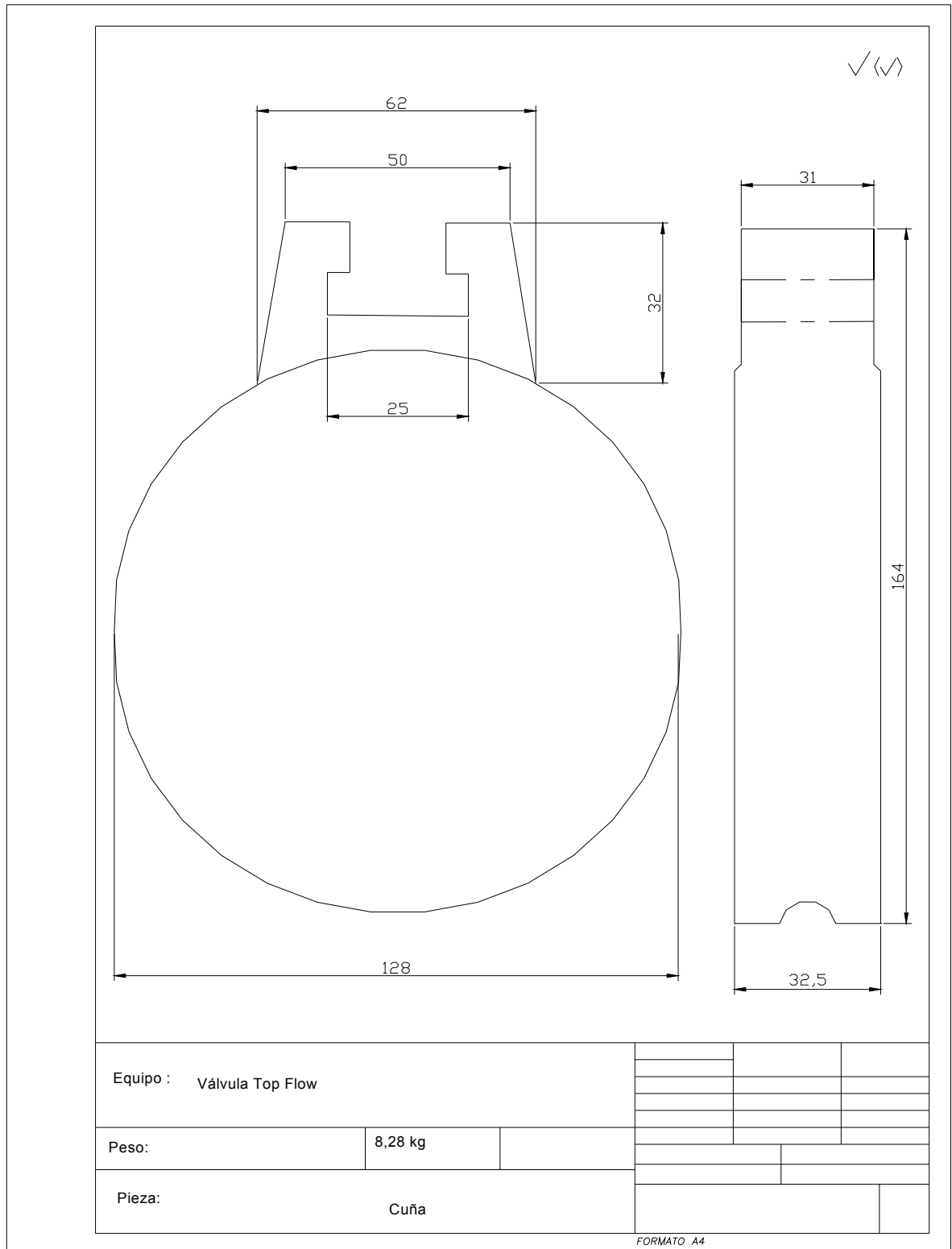
Cuña desgastada



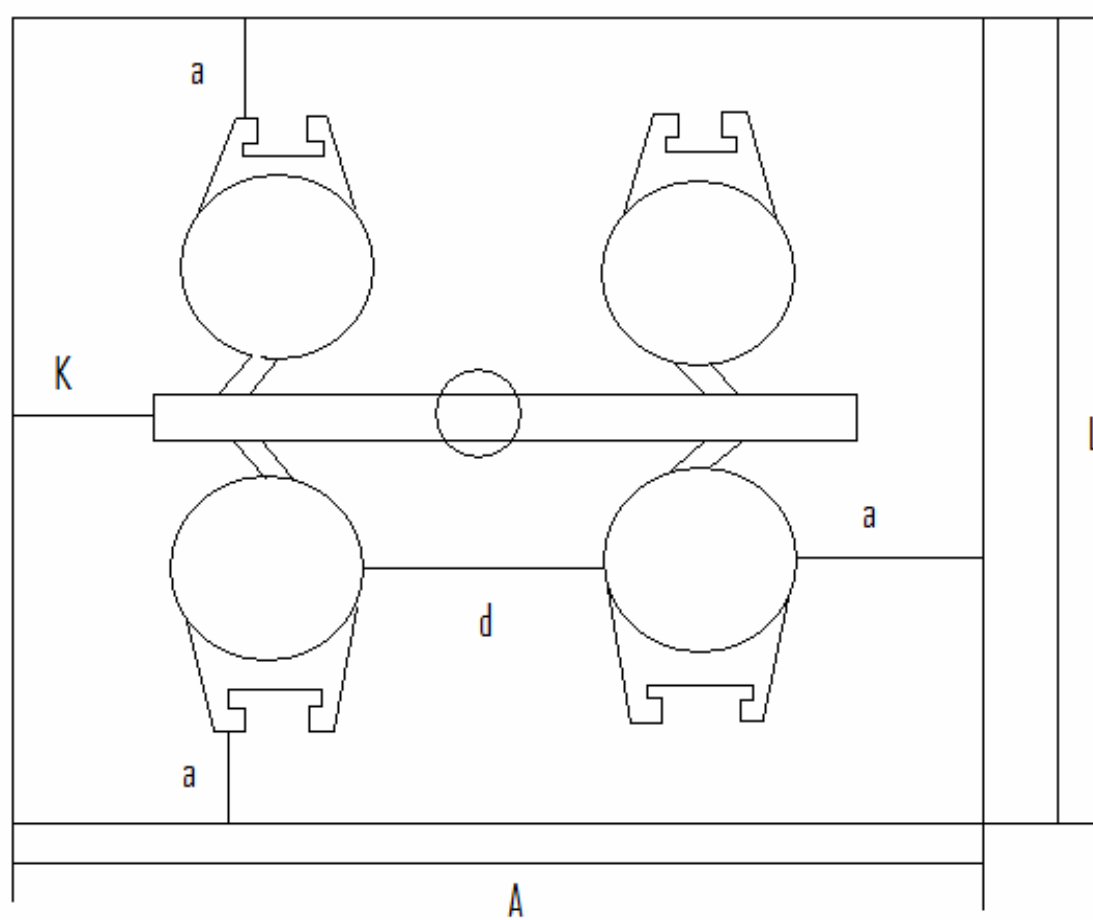
Cuña recuperada por soldadura

Anexo 2

Aquí se representa el sistema de alimentación incluyendo las mazarotas, de color rojo y los machos en color azul.



Anexo 3



Caja de moldeo