



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

# Trabajo de Diploma

*En opción al Título de Ingeniero Mecánico*

*Título: Análisis y propuesta de solución al deterioro de la voluta de las bombas DENVER de la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba” - Moa Nickel S.A*

*Autor: Luis Antonio Durán Aguilera*

*Tutores: Prof. Titular Alberto Velázquez del Rosario, Dr. C.  
Prof. Auxiliar Fernando de La Vara Garrido, Ing.*

*Moa, Mayo de 2014  
“Año 56 de la Revolución”*



***Declaración de Autoridad***

**Yo:** Luis Antonio Durán Aguilera

Autor de este trabajo de diploma, certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa Dr. Antonio Núñez Jiménez, el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

-----  
Luis Antonio Durán Aguilera

-----  
D. Sc. Alberto Velázquez del Rosario

-----  
Ing. Fernando de La Vara Garrido



# *Agradecimientos*

Gracias:

A Dios antes que nada pues me ha dado la dirección y la constancia para llegar hasta aquí, porque en medio de todas las circunstancias y vicisitudes su mano me ha sostenido

A las personas que más han deseado que logre mis sueños:

Mis padres: Gaspar Antonio y Adelaida, les regalo este momento,

A mi esposa Yanet por constituir mi ayuda idónea y a mi niño Cristian Antonio por ser mi fuente de inspiración

A mi familia de forma general, pues todos han aportado su ayuda para que cumpla mi meta

A mi tutor Alberto por su paciencia, dedicación y entrega para que esto fuera posible

A mis amigos, en donde estén, por su apoyo incondicional y palabras de aliento que nunca faltan,

A mis compañeros de aula, y

A todos los que de una forma u otra me han ayudado y brindado sus servicios para que este, mi deseo, se hiciera realidad,

A todos, muchas gracias !!!.



## **RESUMEN**

Se realiza el análisis y propuesta de solución al deterioro de la voluta de las bombas DENVER de la Empresa “Comandante Pedro Sotro Alba”- Moa Nickel S.A. Se muestran los resultados de las causas que provocan las averías por desgaste de las tapas de succión de dichas bombas a partir del establecimiento de un procedimiento de investigación que contempla la recolección de la información teórica necesaria, el estudio del comportamiento histórico de las bombas, ensayos químico, metalográfico y de dureza a las tapas de succión según diseño original y al material de los aros de implante de las zonas desgastadas empleados en las reparaciones realizadas anteriormente.

Las investigaciones arrojaron como resultado que, según diseño original, las tapas de succión de las volutas están fabricadas de fundición gris perlítica del tipo ASTM A 48 clase 25 con una dureza promedio de 178 HB y para recuperar las mismas se empleaban aros de implante de fundición de alta resistencia del tipo ASTM A 48 clase 60, con una dureza promedio de 154 HB. Estos valores son insuficientes para satisfacer los requerimientos de abrasividad de la pulpa en suspensión. Se propone como nuevo material para los implantes la fundición aleada del tipo ИЧХ4 (GOST 6769-87), con dureza promedio de 345 HB. Se recomienda, además, una especificación de la soldadura a utilizar para la unión de la aleación propuesta con el cuerpo de la bomba de hierro fundido ASTM A 48 clase 25.



## **ABSTRACT**

The analysis and proposal from solution are accomplished to the deterioration of the volute to the bombs DENVER belonging to the Company Commanding Pedro Sotto Alba - Moa Nickel Corporation. They show the results of the causes that provoke the deterioration for wear of the lids of suction of the volutes from the establishment of a fact-finding procedure that contemplates the information's collection, the study of the historic behavior of these bombs, chemical essays, structural and hardness study to the lids of suction after the fashion of original design and to the material of the hoops to implantation of the worn-out zones used in the repairs accomplished previously.

Investigations threw away as a result that, after the fashion of design original, the lids of suction of the volutes are manufactured of perlitic gray iron ASTM A 48 class 25 with 178 HB average hardness and to recover the same ones used themselves hoops of implantation of high-resistance foundry of ASTM A 48 class 60, with 154 HB average hardness. These values are insufficient to satisfy the requests of abrasiveness of the pulp in suspense. The perlitic gray iron ИЧХН4 (GOST 6769-87) is proposes like new material for the implantations, with values of average hardness of 345 HB. A specification of the welding to use for the union of the alloy proposed with the cast iron (ASTM A 48 class 25) pump body is recommended, besides.



<b>TABLA DE CONTENIDOS</b>	<b>Página</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN</b>	
1.1 Introducción	5
1.2 Breve reseña histórica de la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba”- Moa Nickel S.A.	5
1.3 Breve descripción de la Planta de Lixiviación	8
1.3.1 Descripción del Flujo Tecnológico de Lixiviación. Parámetros, composición química e influencia de sus elementos	9
1.3.1.1 Características de la pulpa sin lixiviar	12
1.4 Breve descripción de las bombas para pulpa DENVER	12
1.5 Fundamentos del desgaste en los metales	13
1.5.1 Desgaste por abrasión	15
1.5.2 Desgaste por erosión	16
1.5.2.1 Mecanismos de desgaste erosivo	17
1.5.3 Desgaste por adhesión (metal-metal)	18
1.5.4 Desgaste por temperatura	20
1.5.5 Desgaste por corrosión	20
1.5.6 Desgaste por fatiga superficial	20
1.5.7 Desgaste por cavitación	21
1.5.8 Desgaste por fricción o deslizamiento	21
1.6 Generalidades de los hierros fundidos	22
1.6.1 Efecto de los elementos de aleación en las propiedades del hierro fundido	22
1.6.2 Características de los hierros fundidos	26
1.6.2.1 Hierro fundido blanco	26
1.6.2.2 Hierro fundido gris	27
1.6.2.3 Hierro fundido maleable	29
1.6.2.4 Hierro fundido esferoidal	29
1.7 Clasificación de las fundiciones aleadas	31
1.7.1 Fundiciones de baja y media aleación	31



1.7.2 Fundiciones de alta resistencia a la tensión	31
1.7.3 Fundiciones martensíticas resistentes al desgaste	32
1.7.3.1 Fundiciones martensíticas blancas con base níquel	32
1.7.3.2 Fundiciones martensíticas grises	32
1.7.4 Fundiciones resistentes al calor con 1 % de cromo	32
1.7.5 Fundiciones de alta dureza con 1 a 3 % de cromo	33
1.7.6 Fundiciones aleadas al alto cromo	33
1.7.7 Fundiciones aleadas con aluminio	33
1.8 Conclusiones del Capítulo 1	35

## **CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS**

2.1 Introducción	36
2.2 Fundamentación de los factores a investigar	36
2.3 Metodología para el desarrollo de la investigación	37
2.3.1 Recolección de información sobre el comportamiento histórico de las bombas DENVER	37
2.3.2 Toma y preparación de muestras de los materiales analizados	37
2.3.3 Análisis químico de los diferentes materiales empleados	38
2.3.3.1 Preparación de la muestra para el análisis en el ESPECTROLAB	39
2.3.3.2 Obtención del contenido de carbono real de las muestras	40
2.3. Análisis metalográfico	41
2.3.5 Ensayos de dureza a los materiales analizados	42
2.3.6 Influencia de los factores tecnológicos y funcionales en las fallas manifestadas	42
2.3.7 Propuesta de solución	43
2.4 Conclusiones del capítulo 2	44

## **CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

3.2 Introducción	45
3.3 Comportamiento histórico de las volutas en las bombas DENVER	45
3.3 Análisis químico de los diferentes materiales empleados	46



3.4 Análisis microestructural	47
3.5 Ensayos de dureza	49
3.6 Factores tecnológicos que inciden en las fallas	50
3.6.1 Materiales empleados en la fabricación y recuperación de las volutas	50
3.6.2 Montaje y puesta en marcha del equipo	51
3.6.3 Sistematicidad en las labores de mantenimiento	51
3.6.3.1 Descripción de las actividades de mantenimiento que se le realizan a las Bombas DENVER	51
3.7 Factores funcionales que inciden en las fallas	53
3.7.1 Tiempo y régimen de operación	53
3.7.2 Temperatura de trabajo	53
3.7.3 Características de la pulpa a transportar	54
3.7.4 Movimiento y velocidad del fluido	54
3.8 Propuesta de solución	55
3.9 Valoración económica	57
3.10 Impacto medio ambiental	58
3.11 Conclusiones del Capítulo 3	60
<b>CONCLUSIONES GENERALES</b>	61
<b>RECOMENDACIONES</b>	
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	





## **INTRODUCCIÓN**

La minería es la obtención selectiva de los minerales y de otros materiales de la corteza terrestre. También se denomina así a la actividad económica primaria relacionada con la extracción de elementos de los cuales se puede obtener un beneficio económico. Dependiendo del tipo de material a extraer la minería se divide en metálica y no metálica. Los métodos de explotación pueden ser a cielo abierto o subterráneo. Los factores que lo determinan son entre otros la geología y geometría del yacimiento y la característica geo mecánica del mineral y el estéril.

En la actualidad, a nivel mundial, el desarrollo minero en cualquier país constituye un renglón económico de gran envergadura. Cuba es uno de los países privilegiados en cuanto a lo que este tema respecta, aunque no tan desarrollada como otras industrias posee importantes minas, principalmente las de níquel, cobalto y cobre, entre otras.

Una de las principales fábricas productoras de níquel de nuestro país la constituye la Empresa “Comandante Pedro Sotillo Alba”- Moa Nickel S.A del municipio de Moa, donde se obtiene el sulfuro de Ni + Co con una tecnología de lixiviación ácida a presión.

Para la obtención del producto final la fábrica cuenta con las minas a cielo abierto de donde se extrae inicialmente el mineral, 6 plantas de proceso: Preparación de pulpa, Espesadores, Lixiviación, Lavadero, Neutralización, Precipitación de Sulfuros; y la Planta de Secado y Envase. Cuenta además con 5 plantas auxiliares pero no de menor importancia: Planta de ácido, Hidrógeno y H<sub>2</sub>S; Termoeléctrica, Preparación de pulpa de Coral, Planta de Secado de Sulfuro y derretido de azufre, y una amplia red hidráulica que incluye las plantas de Ablandamiento con cal y Desmineralización por intercambio iónico.

Dentro de todas estas plantas la Planta de Lixiviación constituye uno de los eslabones fundamentales de la cadena, ya que es en ella donde comienza el proceso metalúrgico del mineral laterítico después de haber recibido el tratamiento físico en las plantas de Pulpa y Espesadores.



Esta planta es la encargada de lixiviar la pulpa por medio de un agente químico, que en este caso es el ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), mediante la disolución de los óxidos de níquel y cobalto fundamentalmente, separando los demás elementos que componen el mineral con vista a la extracción del níquel y cobalto en forma de sulfatos. Este proceso se efectúa bajo condiciones específicas y apropiadas de operación como son: temperatura, presión y otros factores que influyen y que determinan su eficiencia, los cuales son llevados a cabo en un sistema de reactores.

La planta cuenta con cinco trenes de trabajo en los cuales intervienen un sinnúmero de equipos y componentes industriales, entre ellos se encuentran las bombas centrífugas DENVER, encargadas de enviar la pulpa precalentada de los tanques de almacenaje hacia las bombas de alimentación de alta presión WIRTH, las que suministran el mineral a los calentadores de cada tren.

### **ANTECEDENTES**

Las bombas DENVER (2 por cada tren) tienen como objetivo succionar la pulpa contenida en los tanques de almacenaje, con un porcentaje de sólido entre 42 - 45 % y temperatura alrededor de 85 °C; para enviarlas hacia las bombas WIRTH de alimentación a alta presión.

Estos elementos se ven afectados por el elevado y continuo régimen de trabajo al que se encuentran expuestos y las condiciones extremadamente agresivas que los rodean. El contenido de sólidos presente en la mezcla a bombear al entrar en contacto con el revestimiento de goma interior de la voluta, provoca el deterioro del mismo por erosión y por tanto la pulpa incide de manera directa sobre la parte metálica de la tapa, trayendo consigo también su posterior deterioro.

Esta situación ha obligado a los técnicos de la fábrica a tomar medidas en aras de solución, realizando grandes inversiones sin obtener resultados satisfactorios. Entre las acciones que se han llevado a cabo se encuentra la recuperación del cuerpo mediante la extracción y fabricación de la parte dañada para su posterior



reposición por soldadura; lo cual no ha sido suficiente para atenuar el problema en sí, puesto que al entrar en funcionamiento ocurre exactamente igual.

De todo lo mencionado con anterioridad surge como **Situación Problemática:**

Los sólidos presentes en la pulpa de mineral alimentada a las bombas DENVER destruyen el revestimiento de goma interior de la voluta y provocan el desgaste por erosión y posterior deterioro de la misma en la zona de succión.

### **Problema**

Desconocimiento de las causas que provocan el desgaste del material en la zona de succión de las volutas de las bombas DENVER de la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba”- Moa Nickel S.A.

### **Objeto de la investigación**

Desgaste de la voluta de las Bombas de pulpa DENVER.

### **Objetivo de la investigación**

Investigar las causas del deterioro de la voluta de las bombas DENVER de la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba”- Moa Nickel S.A como antecedente para la propuesta de una alternativa de solución.

### **Hipótesis**

La inadecuada estructura metalográfica y dureza del material de las volutas de las bombas DENVER de la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba”- Moa Nickel S.A, determinan el desgaste y posterior deterioro de las mismas por los efectos de la erosión de la pulpa en la zona de succión.

### **Tareas del trabajo**

1. Realización de una búsqueda bibliográfica acerca del desgaste en materiales que nos propicie el establecimiento del estado actual de la temática tratada.
2. Desarrollo de análisis de dureza, composición química y estructura en los materiales investigados.



3. Evaluación de los resultados obtenidos de los ensayos, establecimiento de las causas del desgaste de las volutas en la zona de succión y propuesta de una alternativa de solución.
4. Estimación de los impactos económico y ambiental asociados a la falla de las volutas y la posible implementación de un nuevo material.

### **ASEGURAMIENTOS DE LA INVESTIGACIÓN**

La Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba”- Moa Nickel S.A proporcionará el acceso a las instalaciones de la planta y laboratorios de ensayos; así como la capacitación en materias de seguridad laboral para acceder a los mismos. También se proporciona la asesoría e información científica requeridas. El ISMMM proporcionará tutoría, asesoría científica y las facilidades para para la realización de ensayos de laboratorio y el procesamiento de la información.



## **CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1 Introducción**

La producción de níquel ha sido, en los últimos 50 años, uno de los principales renglones económicos del país. Esta ha representado alrededor del 30% de las exportaciones de la isla, que generaron ingresos globales superiores a los 8.000 millones de dólares.

Moa destaca por poseer dos de las fábricas productoras del preciado mineral a nivel nacional: la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” y la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba”- Moa Nickel S.A., ambas pertenecientes al grupo Empresarial CUBANIQUEL.

En aras del perfeccionamiento y mejor aprovechamiento de las tecnologías existentes, se han hecho necesarias continuas innovaciones y cambios en toda una amplia gama de equipamientos e instalaciones en la industria.

De ahí que, la solución a problemas tecnológicos que se presentan constituye una prioridad, específicamente, en la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba”- Moa Nickel S.A., donde la tecnología utilizada implica la utilización de materiales especiales que resistan a las extremas condiciones de trabajo a las que se someten.

En tal sentido el **objetivo** de este capítulo es realizar un análisis de la bibliografía existente que permita definir el estado del arte en relación con los problemas tecnológicos que se presentan las bombas de pulpa DENVER de la Planta de Lixiviación de la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba”- Moa Nickel S.A., como base de sustento para los resultados obtenidos.

### **1.2 Breve reseña histórica de la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba”- Moa Nickel S.A.**

Según Velazco (2000), la historia de la actual Empresa “Comandante Pedro SottoAlba”- Moa Nickel S.A. se remonta a los inicios de los años 1950. En aquellos



momentos, la Nicaro Nickel Co., subsidiaría de la Freeport Sulphur Co., poseía grandes yacimientos mineros en la zona de Moa.

De fines de 1951 hasta 1956, la Nicaro Nickel trabajó en el desarrollo de las minas de Moa. Aunque ya la Esnear, compañía constructora, tenía su presencia en el municipio, no es hasta enero de 1957 que realmente inicia los trabajos de construcción de la fábrica. El tiempo anterior se ocupó en la edificación de las facilidades temporales y la organización del personal que laboraría aquí, además del respaldo de equipos automotores y de talleres necesarios para la ejecución de la gigantesca obra que incluía movimientos de tierra.

Continúa relatando Velazco (2000), que durante todo el año 59 se continuó trabajando en la construcción de la fábrica, aunque el ritmo de la labor fue descendiente, según se iban terminando los objetos de obras. El muelle de la nueva rada y el camino al puerto habían entrado en operaciones desde principios de 1958 y por allí llegaron grandes cantidades de los equipos, estructuras metálicas, tuberías y otros materiales para la construcción de la fábrica.

Desde el segundo trimestre de año 1959 la compañía inversionista Moa Bay Mining Co. comienza las labores organizativas para el arranque, prueba y puesta en marcha de la fábrica.

El año 1959 terminó con menos volumen de construcción y ya en el primer trimestre de 1960 solo quedaban pendientes la terminación del cuarto tren de la Planta de Lixiviación, las viviendas de la Vigía y algunas obras menores.

La compañía subsidiaria de la Freeport Nickel Co., Moa Bay Mining Co., sería la encargada de la operación de la nueva Planta de Níquel.

Después del entrenamiento y las pruebas hechas en el mes de octubre de 1959, arrancó el primer tren de Lixiviación, pero operando a escala limitada. Un mes después comenzó a operar la Planta de Precipitación de Sulfuros. De modo que las primeras cantidades de Sulfuros de Níquel más Cobalto se produjo para noviembre de 1959.



El primer embarque de ese producto hacia la refinería de Port Níquel, en los Estados Unidos, se realizó el 30 de diciembre de 1959. Eran 386 toneladas cortas de Sulfuros de Níquel más Cobalto, conteniendo 362 000 lb de Níquel y 34 000 lb de Cobalto.

Las operaciones de este período de arranque, prueba y puesta en marcha que se iniciaron en octubre de 1959, continuaron hasta febrero de 1960, cuando comenzó el lento período de parada. Durante esos meses se trabajaron en tres unidades de Lixiviación. Después del embarque de diciembre de 1959, se realizaron cuatro embarques más de Sulfuros de Níquel más Cobalto para Port Níquel: el 27 de enero de 1960, el 13 de febrero de 1960, el 4 de marzo de 1960 y el 9 de abril de 1960.

Este período de arranque y puesta en marcha de la fábrica duró desde septiembre de 1959 hasta el 7 de abril de 1960, cuando los norteamericanos decidieron cerrar la fábrica y marcharse del país.

Tan pronto los funcionarios norteamericanos se marcharon, las autoridades cubanas dispusieron de las medidas necesarias para que las instalaciones fueran preservadas y así evitar la posibilidad de que pudieran recibir algún daño.

Semanas después de marcharse los norteamericanos, el gobierno cubano decidió la intervención de todas las propiedades abandonadas por la Moa Bay Mining Co., lo que se hace a través del departamento de industrialización del INRA (Instituto Nacional de Reforma Agraria).

El 24 de octubre de 1960 se dicta la Ley de Nacionalización, por la cual quedaron nacionalizadas, entre otras la fábrica de Níquel “Lengua de Pájaro”, de Nicaro y la de Moa. A partir de ese momento la industria de Níquel se convierte en una industria totalmente cubana.

El Comandante Ché Guevara, desde su condición de Ministro de Industrias, se encargó personalmente de las labores de revitalización y movilización de recursos humanos, materiales y financieros, para la reapertura de la fábrica. Es entonces que una de las visitas a la región, le solicita al Ingeniero Demetrio Presilla que se



encargara de dirigir los trabajadores que echarían a andar la Planta. El Comandante Guevara realizó un viaje de varias semanas por diversos países de Asia y Europa donde firmó convenios con varios países, entre ellos, Rusia y en especial se tuvo en cuenta la industria del Níquel.

A partir del mes de enero de 1961 se dispone a través del departamento de industrialización del INRA una reunión con todos los ingenieros y técnicos cubanos que se hallaban en el país y que habían laborado en el proceso de prueba, arranque y puesta en marcha de la fábrica de Níquel de Moa. En ella el Che expone de manera clara la necesidad de poner a funcionar la Planta de Níquel de Moa, que ya se tenía comprador para el Sulfuros de Níquel más Cobalto y que además, se había asegurado el suministro de los materiales necesarios para mantener en operación la planta.

El Che pide a los presentes que vuelvan a Moa, para dedicarse a esta labor, que gozarían de las mismas facilidades que tenían cuando trabajaban con la compañía norteamericana y de esta manera, después de un arduo trabajo de recolección de información, entrenamiento del personal y prueba, el 26 de Julio de 1961 el gobierno revolucionario reinició la explotación de la fábrica.

### **1.3 Breve descripción de la Planta de Lixiviación**

Según el manual de la Planta de Lixiviación de Empresa “Comandante Pedro SottoAlba”- Moa Nickel S.A., es en ella donde comienza el proceso metalúrgico del mineral laterítico después de haber recibido el tratamiento físico en las plantas de Pulpa y Espesadores.

La planta de lixiviación, como su propio nombre lo indica, es la encargada de lixiviar la pulpa por medio de un agente químico, que en este caso es el ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ). El  $H_2SO_4$  disuelve los óxidos de níquel y cobalto, fundamentalmente, y de esta forma se separan de los demás elementos que componen el mineral con vista a la extracción del níquel y cobalto en forma de sulfatos. Este proceso se efectúa bajo condiciones específicas y apropiadas de operación como son: temperatura, presión y otros factores que influyen y que





determinan su funcionamiento, los cuales son llevados a cabo en un sistema de reactores.

### **1.3.1 Descripción del Flujo Tecnológico de Lixiviación. Parámetros, composición química e influencia de sus elementos**

La planta cuenta con 5 unidades de producción, también llamadas “trenes”. Cada unidad o pose los equipos siguientes:

- ❖ 2 Bombas centrífugas DENVER.
- ❖ 2 Bombas WIRTH de Pistón con desplazamiento positivo.
- ❖ 1 Calentador.
- ❖ 4 Autoclaves (Reactores).
- ❖ 2 enfriadores de pulpa (Calandrias de haz tubular, 4 pases con disposición triangular).
- ❖ 2 tanques despresurizadores (Flash tank).
- ❖ 2 Separadores de partículas de los Flash.
- ❖ 2 Separadores ciclónicos.
- ❖ 1 Caja distribuidora.
- ❖ 1 Bomba Aldrich de ácido.

La planta cuenta además con los siguientes equipos comunes:

- ❖ 2 Precalentadores de mineral por contacto directo.
- ❖ 2 Tanques de almacenaje de mineral.
- ❖ 4 Compresores de aire de alta.
- ❖ 4 compresores para aire a tanques de aceite de diafragma de bombas WIRTH.
- ❖ 1 Bomba auxiliar de ácido.
- ❖ 2 Bombas reforzadoras de mineral para la línea de 0,4572 m de diámetro.
- ❖ 2 Bombas de aceite para sistema de turbinas.



- ❖ 2 bombas de agua para los sellos mecánicos de las bombas DENVER.
- ❖ 1 Compresor de aire de servicio para mantenimiento e instrumentos.
- ❖ 1 Compresor para agitación de los tanques de almacenaje.
- ❖ 2 Bombas hidráulicas para sistemas de válvulas automáticas.
- ❖ Un sistema de calibración para bombas de mineral y otro para bombas de ácido, este último con un sistema de recuperación de ácido de forma automática.
- ❖ Una instalación de conductividad al sistema de vapor de 15 lb/pulg<sup>2</sup> (0,103 MPa).
- ❖ Dos líneas de alimentación de mineral desde la Planta de Espesadores.
- ❖ Un precalentador del licor producto y su tanque de almacenaje.
- ❖ 3 Bombas de Licor producto.

La pulpa, con un 45 - 48 % de sólido y 28 °C de temperatura, es bombeada desde la Planta de Espesadores de pulpa a través de una de las dos líneas, dividiéndose en dos partes en la planta de lixiviación, hacia los precalentadores de mineral (2). La pulpa se introduce por la parte superior de los mismos donde se precalienta hasta 85 °C por contacto directo con vapor de 15 lb/pulg<sup>2</sup> (0,103 MPa) a contracorriente, y se distribuye en todas las secciones del mismo, lográndose de esta manera una mayor superficie de contacto entre la pulpa y el vapor.

Una vez precalentada con aproximadamente 42 - 45 % de sólido, la pulpa se descarga por el fondo a los tanques de almacenaje donde se mantiene homogeneizada por medio de un sistema de agitadores mecánico – neumáticos. De los tanques de almacenaje, mediante bombas centrífugas (DENVER), la pulpa es enviada a las bombas de alimentación a alta presión WIRTH, las que suministran el mineral a los calentadores de cada tren. En los calentadores, la pulpa alcanza una temperatura de 246 °C mediante la inyección de vapor a contracorriente de 650 lb/pulg<sup>2</sup> (4,482 MPa) que proviene del exceso de los



reactores. Después de calentada, la misma adquiere la temperatura y presión requeridas para ser alimentada a los reactores.

La pulpa fluye por gravedad al primer reactor (A), en el cual se le inyecta ácido sulfúrico. Por reboso, fluye al “B”, luego al “C” y por último al reactor “D”, ocurriendo en ellos el proceso de lixiviación. Para garantizar una buena lixiviación, es necesario obtener una mezcla entre pulpa y ácido, esto se obtiene mediante la inyección de vapor de 650 lb/pulg<sup>2</sup> (4,482 MPa) a través de tubos centrales de agitación y por su parte inferior. Al llegar a la parte superior del reactor, el vapor se separa de la pulpa y a través del tubo de vapor de exceso pasa al calentador, donde se utiliza para su calentamiento.

Luego la pulpa lixiviada fluye por gravedad, del reactor “D” a dos enfriadores por tren. En los enfriadores se reduce la temperatura de la pulpa hasta 130°C. Al pasar la misma por dentro de la calandria (intercambiador de calor de tubo y coraza), esta cede su calor al agua que rodea a los tubos, produciéndose de esta manera vapor de 15 lb/pulg<sup>2</sup> (0,103 MPa) el que se emplea para precalentar la pulpa a lixiviar y para calentar el licor producto de neutralización a la planta de sulfuros.

La última operación consiste en disminuir la presión a la pulpa lixiviada. Para lograr dicho propósito cada tren está provisto de dos tanques despresurizadores donde la pulpa entra por la parte superior a través de unos estranguladores de cerámica de diámetro de 19 mm, los continuos y 11 mm de diámetro los intermitentes, La operación de despresurización consiste en pasar la pulpa a través de un orificio de pequeñas dimensiones, donde se produce una gran velocidad y seguidamente obtener una gran expansión de la misma. Al producirse la expansión, se libera gran cantidad de vapor debido a la temperatura de la pulpa.

La pulpa, una vez despresurizada y depositada en tanques, pasa a la caja distribuidora, donde la misma puede ser desviada a cualquiera de las dos líneas de transferencia y por ellas a la sección de lavaderos.

El vapor de 0 lb/pulg<sup>2</sup> (0 MPa) obtenido durante la despresurización, pasa a los tanques separadores, en los cuales son eliminadas las partículas de pulpa que



pueda haber arrastrado el vapor. Este vapor se utiliza para precalentar el licor producto que se envía a la planta de precipitación de sulfuros. El licor producto precalentado pasa a un tanque de almacenaje y de aquí es bombeado a la planta de precipitación de sulfuros.

Para que ocurra la lixiviación es indispensable el reactivo químico, sin el cual no puede existir la misma. En la planta para este fin se emplea el ácido sulfúrico de 98 % de pureza, el que se recibe por gravedad de la planta de ácido y se bombea al reactor “A” mediante las bombas ALDRICH.

Desde la planta de neutralización se envía el yeso a la planta de lavaderos a través del distribuidor, mediante el cual el flujo puede ser desviado por cualquiera de las dos líneas que van a la Planta de Lavaderos.

#### **1.3.1.1 Características de la pulpa sin lixiviar**

- Contenido de sólido de un 43 – 45 %.
- Temperatura 28 °C a la entrada y 80 – 85 °C al ser precalentada.
- Es corrosiva.
- Compuesta por óxidos de Ni, Co, Fe, Mn, Mg, Al, Zn, Cr, Cu, Si.
- El contacto directo con la pulpa cruda precalentada ocasiona daños leves por efecto de quemaduras.

Como se observa, el proceso tecnológico en la Planta de Lixiviación es un proceso complejo, donde intervienen equipos y flujos que frecuentemente reportan averías y por tanto, requieren esmerado tratamiento industrial y tecnológico.

#### **1.4 Breve descripción de las bombas para pulpa DENVER**

Las bombas para bombear pulpa sin lixiviar DENVER 5X4 SRL-C fueron fabricadas por la empresa DENVER EQUIPMENT COMPANY, en el año 1958 y puestas en explotación en la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba”- Moa Nickel S.A. en 1959. Las dimensiones de las mismas son las recogidas a continuación:

Longitud: 0,104 m



Ancho: 0,068 m

Altura: 0,074 m

Peso: 544,31 kg

- **Condiciones de servicio:**

Para transferir pulpa de alimentación de 45 % de sólidos a 86 °C desde los tanques de almacenaje a las bombas de alta presión que requieren de una succión positiva.

- **Descripción:**

Con una potencia de trabajo de 12 kW ubicadas en posición horizontal, con una capacidad de 0.044 m<sup>3</sup>/s, poseen un motor de 326 V y altura total 0,090 m.

Bombas centrífugas con forro de goma interior, poseen impelentes cerrados, frecuencia de rotación de 1145 rev/min. Eficiencia de diseño de 66 %, están acopladas al motor por un sistema de poleas conductora y motriz por correa trapezoidal tipo B - 55 - 5 V.

Estas bombas sufren, como avería principal, el deterioro de la voluta en la zona de succión. En una primera etapa, el forro de goma de la voluta es destruido por los efectos de la erosión de las partículas en suspensión de la pulpa. Una vez destruido el revestimiento interior de la voluta en la zona de succión, el material entra en contacto directo con la pulpa y en una segunda etapa, la zona metálica descubierta sufre los efectos del desgaste erosivo y la voluta se torna inservible por los efectos de las fugas de pulpa por las cavidades.

### **1.5 Fundamentos del desgaste en los metales**

Con respecto a los tipos de desgaste, hay que plantear que diferentes autores aprecian el estudio de los fenómenos de desgaste en dependencia de criterios propios (Morales, 2006 y Rodríguez 1992), presentándose generalmente distintos esquemas de clasificación, siendo muy común encontrar la que los divide en abrasión, adhesión, altas temperaturas, corrosión, fatiga superficial (rodadura) y cavitación.

Rabinowicz (1995), clasifica el desgaste en cuatro formas fundamentales: desgaste abrasivo, desgaste adhesivo, desgaste corrosivo y desgaste por fatiga superficial, aunque en la mayoría de los casos no suelen encontrarse estos mecanismos de forma aislada (Pástor, 2002) sino la combinación de algunos de ellos.

En las piezas metálicas, el desgaste se puede definir como una pérdida gradual del metal ocurrida en un cierto tiempo y mediante un mecanismo que actúa sobre éste. Cuando la pieza o partes de la misma se deforman o se desgastan de tal manera que no puedan trabajar adecuadamente, se deben reemplazar o reconstruir. Por lo tanto, es esencial entender dichos mecanismos involucrados antes de realizar la selección del material de trabajo a utilizar. Los mecanismos de desgaste primario y secundario se encuentran distribuidos en la industria en las proporciones indicadas en la tabla 1.1.

Tabla 1.1. Distribución de los tipos de desgaste en la industria

<b>Mecanismo de desgaste</b>	<b>Proporción de casos (%)</b>
Abrasión	50
Adhesión (metal-metal)	15
Altas temperaturas	8
Corrosión	5
Otros	22

También Streeter (1980), estudió los mecanismos de formación del desgaste y lo desglosa de la siguiente manera: fricción, cavitación, corrosión, impacto, abrasión y erosión. Por otra parte Bengton (1991), relacionó el aspecto de una superficie desgastada con el posible mecanismo que le dio origen, lo cual se muestra en la tabla 1.2.

Tabla 1.2. Relación entre el aspecto de la superficie y el tipo de desgaste

<b>Tipo de desgaste</b>	<b>Aspecto de la superficie</b>
Por fatiga superficial	Grietas, caries
Abrasivo	Excoriación, arañazos, ralladuras
Adhesivo	Protuberancias, escamas, caries
Corrosivo mecánico	Producto de la reacción (película-partícula)



La clasificación de los tipos de desgaste incluye factores mecánicos, térmicos y químicos, y se realiza de la forma siguiente:

### **1.5.1 Desgaste por abrasión**

Se llama desgaste abrasivo el que sufre la superficie de un elemento de máquina como resultado de la acción cortante o por ralladura de un cuerpo o partículas duras (Fleisher, 1980 y Martínez, 1983).

A igual que en los procesos de fatiga superficial, el desprendimiento de porciones de metal en el mecanismo de desgaste abrasivo también está vinculado fundamentalmente a los métodos de deformación por contacto (Strett, 1978).

En correspondencia con lo planteado por Kachev (1971), el desgaste abrasivo está determinado por la presencia de partículas abrasivas en la zona de fricción y la destrucción de la superficie o como resultado de la deformación plástica local, microrrayaduras y microcortes, cuando en el medio en que trabaja la pieza existen elementos que tienen o desprenden partículas de alta dureza.

El mecanismo de separación de las partículas de la superficie de contacto se origina debido a que las irregularidades del material más duro se introducen en la estructura del más blanda mediante el deslizamiento plástico. En presencia de un movimiento tangencial, la superficie dura se deslizaría formando surcos en la superficie de menos dureza, pudiendo desprender al mismo tiempo material de éste.

La abrasión es el mecanismo de desgaste más común en las piezas metálicas. Según Cruz (2007) y Burgos (1996) el 50% de los elementos de máquinas en la industria, las máquinas agrícolas de la construcción y el transporte fallan por desgaste, aunque en la mayoría de los casos se presenta una combinación de dos o más mecanismos.

Según Rabinowicz (1995), es el desgaste producido por partículas abrasivas que se deslizan sobre las superficies metálicas produciendo desprendimiento del 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 del desgaste por abrasión depende de la forma, dureza y tamaño de los granos y partículas abrasivas.

a) Abrasión pura o de baja tensión: Es el resultado de una acción de socavación provocada por pequeñas partículas, tales como arena, polvo o tierra. Una variación de este tipo de desgaste es la **erosión**, que ocurre cuando partículas arrastradas por un movimiento rápido de aire o líquido golpean el material. Un movimiento abrasivo produce virutas de metal.

b) Abrasión de alta tensión: Es un desgaste que agrega una fuerza de compresión a la abrasión de baja tensión.

c) Abrasión por desgarramiento: Este desgaste combina la abrasión de alta tensión con impacto, produciendo deformación plástica dentro del material.

### **1.5.2 Desgaste por erosión**

En correspondencia con Rabinowicz (1995), el desgaste erosivo se presenta en la superficie de los cuerpos como resultado del impacto de partículas sólidas, líquidas o gaseosas que los impactan. Estas partículas pueden actuar solas o de manera combinada. La erosión afecta muchos materiales de ingeniería, especialmente elementos que componen maquinaria usada en la industria minera y en general toda pieza que sea impactada por cualquier tipo de partícula.

Las partículas que causan el desgaste erosivo pueden estar en ambientes secos o húmedos pudiendo actuar en forma muy variadas. Cuando el medio de trabajo es húmedo (por ejemplo, un medio con agua y partículas de arena), la erosión y la corrosión son fenómenos que actúan en forma sinérgica y provocan la degradación acelerada de los materiales.

En otras definiciones clásicas de la erosión se afirma que este es un fenómeno por medio del cual el material es removido de una superficie durante la acción continua de partículas duras o de fluidos que la alcanzan. Las partículas



impactan las superficies a diferentes velocidades y ángulos de incidencia, donde el desgaste se da a través de diferentes mecanismos. En la figura 1.1 son presentados esquemas que muestran la forma como partículas erosivas actúan en una superficie en dependencia del ángulo de incidencia. Para erosión en ángulos cercanos a  $90^\circ$ , la energía de la partícula es consumida durante la deformación de la superficie y para ángulos menores, esa energía es utilizada en deformar y cortar el material de la superficie.

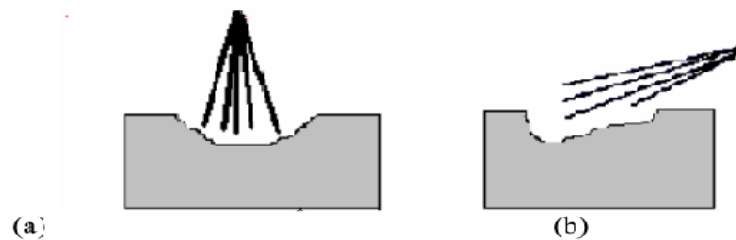


Figura 1.1. Erosión de una superficie según el ángulo de impacto a) normal y b) diferente de  $90^\circ$ .

De acuerdo al medio donde actúan las partículas erosivas, la erosión puede ser dividida en:

- ✓ Erosión en seco: cuando las partículas son arrastradas por aire u otro gas y son obligadas a impactar una superficie.
- ✓ Erosión en medio Acuoso: se presenta cuando partículas duras son arrastradas en un medio acuoso y son obligadas a impactar una superficie.

### **1.5.2.1 Mecanismos de desgaste erosivo**

Cuando un material dúctil es impactado, son formados cráteres en su superficie, alrededor de los cuales aparece una pequeña proa constituida de material removido (Strett, 1978). Después de múltiples impactos, el material es arrancado en forma de debris (partículas de desgaste). La forma y tamaño de los cráteres formados dependen (entre otras variables) de la velocidad, tamaño y ángulo de impacto de las partículas. En la figura 1.2 (a) es presentado el mecanismo de formación de proa en materiales dúctiles.

Para materiales frágiles como los vidrios, cerámicos o metales muy duros, el mecanismo de remoción es diferente. Es estos materiales los sucesivos impactos causan micro-grietas superficiales, las cuales crecen hasta que se unen, provocando el arranque de material en forma de lascas. Este mecanismo es presentado en la figura 1.2 (b). Es interesante notar que un material (aunque sea dúctil), después de estar sometido a múltiples impactos, puede sufrir cambios estructurales que lo llevan a comportarse de una forma frágil.

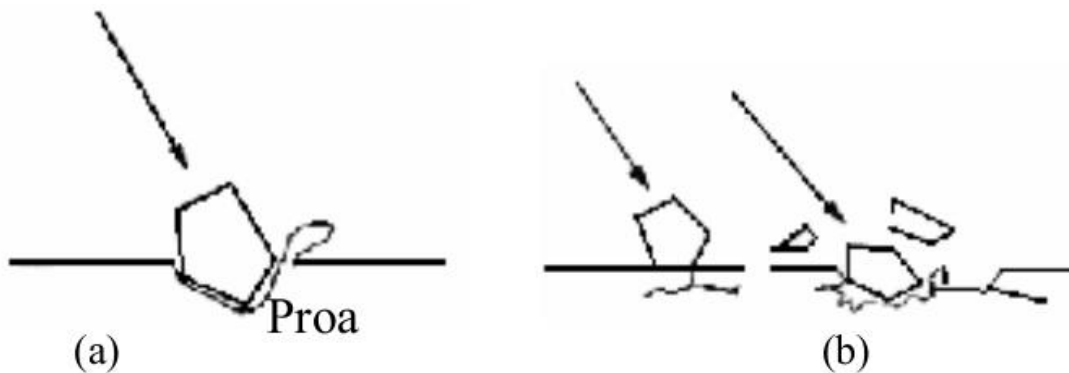


Figura 1.2. Mecanismos de remoción de material que actúan durante desgaste erosivo cuando una partícula sólida colisiona una superficie plana, para: a) metales dúctiles; y b) metales frágiles

### 1.5.3 Desgaste por adhesión (metal-metal)

Fleisher (1980), hace un análisis exhaustivo del mecanismo micro y macro-estructural del desgaste adhesivo.

Según este autor, el desgaste adhesivo se produce cuando dos superficies metálicas se rozan entre sí, generando de este modo calor. La resistencia al deslizamiento tiene dos causas: las microsoldaduras temporales entre las aristas sobresalientes de ambas superficies y las trabas que se producen por deformaciones y diferencias por la dilatación que genera el propio rozamiento.

En este caso, se desgarran pequeñas porciones de la superficie, lo que causa daños de importancia. La fricción se origina por la resistencia al movimiento durante el deslizamiento o rodamiento que experimentan los metales en contacto



al moverse uno sobre otro. Esta resistencia al movimiento depende de las características de las superficies.

Este mismo autor, al investigar el desgaste de los metales en una corriente de granos abrasivos, confirmó que existe una estrecha relación entre la resistencia al desgaste y las fuerzas de los enlaces en la red cristalina de los metales. Esta teoría explica la resistencia por la interacción entre puntos de contacto y la penetración de las asperezas y establece que la fricción depende de los factores siguientes:

- La interacción molecular (adhesión) de las superficies
- La interacción mecánica entre las partes.

La fuerza de resistencia que actúa en una dirección opuesta a la dirección del movimiento se conoce como fuerza de fricción. Existen dos tipos principales de fricción: fricción estática y fricción dinámica. La fricción no es una propiedad del material, es una respuesta integral del sistema.

Existen tres leyes de la fricción:

1. La fuerza de fricción es proporcional a la carga normal.
2. La fuerza de fricción es independiente del área aparente de contacto entre las superficies deslizantes.
3. La fuerza de fricción es independiente a la velocidad de deslizamiento.

Los modos de desgaste, no suelen presentarse de forma aislada, sino conjuntamente y aún en etapas sucesivas, dependiendo de las condiciones de trabajo a que está sometida la pieza (Caraballo, 2003). La acción conjunta de los distintos tipos de desgaste conduce a la destrucción del estado superficial del material o la pieza.

El desgaste metálico y abrasivo están caracterizados por el deslizamiento y arranque de la superficie metálica, la única diferencia radica en que uno ocurre entre metales y el otro con un abrasivo metálico o no metálico; por lo que el modo de acción será análogo en los dos casos. En el primer instante del funcionamiento,

se caracteriza por la destrucción mecánica de las asperezas, que son despuntadas hasta un aumento de la superficie real de contacto y hay un reparto suficiente y regular de la carga.

#### **1.5.4 Desgaste por temperatura**

Influye sobre estructuras endurecidas por tratamiento térmico, reblandeciéndolas. Esto puede causar cambios de fase que incrementen la dureza y fragilidad, y puede acelerar el ataque químico, tal como la oxidación y exfoliación.

#### **1.5.5 Desgaste por corrosión**

Se entiende por corrosión a la interacción de un metal con el medio que lo rodea, produciendo deterioro en sus propiedades físico-químicas. La característica fundamental de este fenómeno es que sólo ocurre en presencia de un electrólito, ocasionando regiones plenamente identificadas, llamadas anódicas y catódicas.

Se consuma una reacción de oxidación anódica en la cual los electrones son liberados dirigiéndose a otras regiones catódicas (Amorim, 1997). En la región anódica se producirá la dislocación del metal trayendo consigo su deterioro.

#### **1.5.6 Desgaste por fatiga superficial**

Amorim (1997), expresó que este tipo de desgaste ocurre cuando piezas son sometidas a elevados esfuerzos, los cuales provocan la aparición y propagación de grietas bajo la acción repetitiva de ellos. En el caso de piezas sometidas a deslizamiento, las capas superficiales sufren intensas deformaciones como resultado de la acción simultánea de las tensiones de contacto y de la fuerza de fricción. Los esfuerzos a los que están sometidos los materiales particularmente en las capas superficiales, promueven en la mayoría de los casos, alteraciones en la estructura cristalina y en el tamaño de grano.

El picado originado a partir de grietas, es una de las fallas por fatiga de contacto superficial típica de elementos de máquinas, los cuales trabajan

bajo régimen de lubricación elastohidrodinámica y elevadas cargas superficiales.

La fatiga superficial se debe a la aparición de transformaciones microestructurales o descohesiones localizadas que conducen al daño de las superficies.

### **1.5.7 Desgaste por cavitación**

De acuerdo con lo planteado por Avery (1980), durante el flujo de un fluido pueden ocurrir caídas de presión que pueden alcanzar valores del orden de la presión de vapor del líquido en la temperatura de trabajo, provocando la nucleación de pequeñas burbujas de vapor. Estas burbujas son llevadas por el flujo y al alcanzar regiones de mayores presiones sufren un colapso violento y caótico que genera altas presiones y velocidades en las regiones próximas al colapso. Estas altas presiones y velocidades que surgen del colapso, provocan el desgaste de superficies sólidas próximas.

Como conclusión a esta teoría, hasta ahora la más aceptada, es que, el desgaste por cavitación se puede definir como aquel daño que ocurre en los materiales debido al crecimiento y colapso de pequeñas burbujas, que surgen debido a las variaciones de presión durante el flujo de un fluido.

### **1.5.8 Desgaste por fricción o deslizamiento**

Esencialmente, el desgaste por deslizamiento es aquel en el cual hay un movimiento relativo entre dos superficies en contacto con una carga aplicada, donde el daño de la superficie no ocurre por riscado debido a la penetración de las asperezas o por partículas externas.

En el desgaste por deslizamiento están presentes mecanismos de adhesión, formación y crecimiento de grietas sub-superficiales por fatiga y formación de películas superficiales por procesos triboquímicos. También ocurre abrasión por microcorte, surcado o formación de proas.

## **1.6 Generalidades de los hierros fundidos**

Según AWS (1996), los hierros fundidos son aleaciones de Hierro (Fe) y Carbono (C). Aunque el contenido de Carbono puede teóricamente variar entre 2,0 y 6,7 %, es común encontrar hierros fundidos con 2,6 a 3,7 % de Carbono. Otros elementos químicos típicamente presentes en los hierros fundidos son: Manganeso (Mn), Silicio (Si), Fósforo (P) y Azufre (S) (Callister, 2003).

Los hierros fundidos varían principalmente de acuerdo con la forma en que se encuentra el Carbono en su estructura, por lo que se catalogan como: hierros fundidos blancos, hierros fundidos grises, hierros fundidos de alta resistencia (el carbono en su estructura se encuentra en forma de grafito esferoidal) e hierros fundidos maleables (el carbono en su estructura se encuentra en forma de grafito nodular). Los hierros fundidos también pueden estar aleados con Cromo, Níquel, y otros elementos químicos para conseguir características específicas tales como resistencia al calor o a la corrosión.

### **1.6.1 Efecto de los elementos de aleación en las propiedades del hierro fundido**

De acuerdo con Castillo (2007), la influencia de los elementos de aleación en el hierro fundido, puede dividirse en dos direcciones fundamentales: el estado y distribución del carbono y el control de la transformación de la austenita.

Los elementos de aleación del hierro fundido son los siguientes:

#### **Carbono**

El carbono es sin lugar a dudas, después del hierro, el elemento más importante; se le puede encontrar combinado con el hierro (carbono combinado) en forma de carburo (cementita con 6,67 % C) o en el estado libre de grafito (carbono libre o grafitico).

En correspondencia con lo planteado por Lajtin (1985), entre los factores que influyen en que el carbono se encuentre en una u otra forma están la velocidad de enfriamiento y la presencia de elementos grafitizantes. Un enfriamiento lento y la

presencia de silicio, níquel, cobre, etc.; facilitan la formación de grafito. La forma, cantidad, tamaño y distribución de las láminas de grafito deben ser controladas cuando se requiere obtener fundiciones de calidad. Por otra parte un enfriamiento rápido y la presencia de agentes formadores y/o estabilizadores de carburos como el cromo y el molibdeno, dan lugar a la formación de carburos. El hierro que se obtiene así presenta elevada dureza y no puede ser mecanizado con los medios normales en las máquinas herramientas.

### **Silicio**

El silicio contribuye a la formación de ferrita y austenita, disminuye la solubilidad del carbono en la austenita y favorece la difusión del carbono, por lo que favorece la formación de grafito a partir de la descomposición de los carburos primarios (Lajtin ,1985). Las cantidades de silicio deben ser calculadas teniendo en cuenta el carbono total, la velocidad de enfriamiento y el espesor de las piezas. El contenido en silicio de las aleaciones hierro - carbono y la velocidad de enfriamiento, tienen gran influencia en la formación de una u otra clase de fundición. Las velocidades de enfriamiento muy lentas favorecen la formación de fundición gris; el enfriamiento rápido tiende en cambio, a producir fundición blanca.

### **Manganeso**

El manganeso ejerce una acción opuesta a la del silicio, pues favorece la formación de carbono combinado, se combina fácilmente con el hierro y el azufre. El manganeso disminuye la temperatura de transformación eutectoide de la austenita, aumenta el intervalo de la misma y disminuye la concentración de carbono en la transformación eutectoide y en la transformación eutéctica, un 1 % de manganeso disminuye la concentración de carbono en 0,06 – 0,07 %, pero aumenta la temperatura de transformación eutéctica en 3 °C aproximadamente. El manganeso se distribuye entre la austenita, la ferrita y la cementita, fundamentalmente en esta última y forma otros carburos complejos como los  $(Fe,Mn)_7C_3$  y  $(Fe,Mn)_{23}C_6$ .



## **Azufre**

El azufre aparece en las fundiciones como sulfuro de hierro o de manganeso, el primero es perjudicial porque obstaculiza la grafitización, hace la fundición dura y frágil. En la práctica se mantiene el azufre entre 0,05 y 0,12 %. El sulfuro de manganeso solidifica antes de que lo haga el hierro fundido y lo hace asumiendo diferentes formas geométricas en los límites de los granos por lo que resulta inofensivo para el metal.

## **Fósforo**

El fósforo cuando se encuentra hasta 0,1 % es soluble en el hierro, cantidades superiores forman un microconstituyente conocido como esteadita, que es un complejo eutéctico de hierro y fósforo de hierro, el cual solidifica en los límites de los granos. Cuando alcanza contenidos de 0,2 % en el hierro gris, la esteadita se presenta en los límites de las celdas y asume la forma de un triángulo cóncavo. Cuando llega a contenidos de hasta 1 %, forma una red alrededor de los límites de los granos. La eutéctica fosfórica le confiere a la fundición líquida una particular fluidez porque disminuye el punto de solidificación, pero al mismo tiempo aumenta la dureza y la fragilidad.

Finalmente, el azufre y el manganeso ejercen también una cierta influencia contraria a la del silicio, y favorecen la formación de fundición blanca. Sin embargo, el manganeso y el azufre, cuando se encuentran formando inclusiones no metálicas de sulfuro de manganeso, no ejercen influencia favorable ni desfavorable en la formación de grafito, ni en la aparición de fundiciones grises o blancas. Además de estos tres tipos de fundición, se fabrican también desde hace muchos años (1722 aproximadamente) las fundiciones maleables. Éstas, en lugar de obtenerse por simple fusión, como las que acabamos de citar, se obtienen en dos etapas: se fabrica la fundición blanca y luego por recocido de ella, se obtiene la fundición maleable, en la que el grafito tiene forma nodular.

En la actualidad existen también, como ya hemos dicho antes, además de estas cuatro clases, algunos otros tipos como las fundiciones aleadas o especiales.



Éstas se han comenzado a fabricar recientemente y complican algo el estudio clásico de las cuatro clases que acabamos de citar.

### **Cromo**

El cromo es uno de los elementos especiales más empleados para la fabricación de hierros fundidos. Se suele emplear en cantidades diversas, desde 0,3 a 30 %, según los casos. Aumenta la dureza y la resistencia en estos materiales, mejora la templabilidad, disminuye las deformaciones en el temple, aumenta la resistencia al desgaste y la inoxidableidad.

En presencia de una cantidad suficiente de carbono, el cromo tiende a formar carburos. Los carburos formados por este elemento no son siempre carburos simples (Keyser 1992); con bastante frecuencia se presentan asociados con el carburo de hierro y a veces, forman carburos complejos de dos o más elementos. La naturaleza de estos compuestos depende del porcentaje de carbono y del contenido en elementos de aleación.

El cromo favorece además la formación de ferrita y es un fuerte promotor de perlita, pues aumenta la solubilidad del carbono en la austenita e inhibe así la formación de la ferrita. Pero también es un promotor de temple y carburos durante la solidificación.

### **Molibdeno**

El molibdeno es uno de los elementos de aleación más ampliamente usado con el propósito de elevar la resistencia del hierro gris. Es añadido en cantidades entre 0,20 y 0,75 %. Este elemento aumenta las propiedades del hierro a elevadas temperaturas. Como el módulo de elasticidad del molibdeno es muy alto, las adiciones al hierro fundido provocan un aumento del módulo de elasticidad de este material. Es un potente endurecedor, colabora con el cromo, cobre y níquel para endurecer la matriz. En el diagrama Fe - C - Mo en su variante metaestable, se presentan unas cuantas fases de carburos: cementita aleada en la cual se disuelve hasta 2 % de molibdeno, tres carburos binarios y carburos MoC y Mo<sub>2</sub>C. En general el molibdeno disminuye la solubilidad del carbono en la fase alfa. El

molibdeno no es un grafitizador, ni un estabilizador fuerte de carburos, esto es lo que explica por qué puede ser adicionado a la carga metálica sin variar prácticamente su carácter.

### **Cobre y níquel**

Los elementos como el cobre y el níquel tienen un efecto grafitizante durante la transformación eutéctica de los hierros de elevada aleación, sin embargo durante la transformación eutectoide dificultan la difusión del carbono promoviendo la formación de carbono combinado.

### **1.6.2 Características de los hierros fundidos**

Castillo (2007) y Keyser (1992) plantearon que los hierros fundidos de manera general pueden clasificarse como hierro fundido blanco, hierro fundido gris, hierro fundido maleable e hierro fundido nodular.

#### **1.6.2.1 Hierro fundido blanco**

Según Castillo (2007), a este tipo de hierros se les da este nombre por la apariencia que tiene el material al fracturarse. Se forma al enfriar rápidamente la fundición de hierro desde el estado líquido, siguiendo el diagrama hierro - cementita; durante el enfriamiento, la austenita solidifica a partir de la aleación fundida en forma de dendritas. A los 1148 °C el líquido alcanza la composición eutéctica (4,3 % C) y se solidifica como un eutéctico de austenita y cementita llamado ledeburita. Este eutéctico aparece en su mayor parte como cementita blanca que rodea las dendritas de forma de helecho (figura 1.3).



Figura 1.3. Microestructura de la fundición blanca.

La fundición blanca se produce en el horno de cubilote, su composición y rapidez de solidificación separa coladas que se transformarán con tratamiento térmico en hierro maleable. La fundición blanca también se utiliza en aplicaciones donde se necesita buena resistencia al desgaste tal como en las trituradoras y en los molinos de rodillos.

Al enfriarse las fundiciones desde 1130 °C hasta 727 °C el contenido de carbono de la austenita varía de 0,8 a 2 %, al precipitarse la cementita secundaria que se forma sobre las partículas de cementita ya presentes, a los 727 °C la austenita se transforma en perlita, el eutectoide de los aceros.

La fundición blanca se utiliza en elementos de molienda por su gran resistencia al desgaste, el enfriamiento rápido evita la grafitización de la cementita pero si se calienta de nuevo la pieza colada a una temperatura de 870 °C el grafito se forma lentamente adoptando una forma característica conocida como carbono de revenido, resultando la fundición maleable, debiéndose mencionar que un gran tonelaje de hierro fundido blanco se emplea como materia prima para la manufactura de hierro fundido maleable.

La matriz de la fundición puede ser ferrítica o perlítica si la aleación se enfría más rápidamente a partir de los 727 °C al final del tratamiento de maleabilización. Las fundiciones maleables se utilizan en la fabricación de partes de maquinaria agrícola, industrial y de transporte.

#### **1.6.2.2 Hierro fundido gris**

Este tipo de fundición es de uso más difundido, su nombre se debe al color gris que representan sus superficies fracturadas, las cuales manchan de negro los dedos cuando estas superficies rotas son frotadas, lo que es debido a la presencia de partículas de carbono en estado libre( grafito).

Para explicar el hierro fundido gris es necesario entender que el carburo de hierro es básicamente una fase metaestable y que con un enfriamiento anormalmente lento (o en presencia de ciertos aleantes como el silicio) se cristalizará el grafito (carbono puro) y el hierro.

De acuerdo con Guliaev (1983), las inclusiones de grafito en las fundiciones determinan sus propiedades específicas.

El grafito de las fundiciones puede tener tres formas principales:

- Grafito laminar: se puede encontrar en la fundición gris ordinaria en forma de vetas.
- Grafito nodular: si en una colada se obtiene fundición blanca, y después aprovechando la inestabilidad de la cementita, se somete a recocido para descomponerla, el grafito que se obtiene toma una forma compacta, casi equiaxial, pero no redonda. Se encuentra en las fundiciones maleables.
- Grafito esferoidal: se encuentra en las fundiciones de alta resistencia

En la figura 1.4 se representan los esquemas de las estructuras, según Guliaev, (1983), donde generaliza la clasificación de las fundiciones antes descritas, de acuerdo con la estructura de la base metálica y de la forma del grafito.

Matriz Metálica	Forma de las inclusiones de grafito		
	Laminar	Nodular	Esferoidal
Ferrita			
Ferrita + Perlita			
Perlita			

Figura 1.4. Clasificación de la fundición atendiendo a la estructura de la matriz metálica y a la forma de las inclusiones de grafito (esquema de las inclusiones)

Los principales elementos de aleación son carbono y silicio. El alto contenido de carbono incrementa la cantidad de grafito o de  $Fe_3C$  e incrementando el contenido de carbono y silicio incrementa el potencial de grafitización y fluidez del hierro

fundido, sin embargo su resistencia se ve afectada, ya que se promueve la formación de ferrita y el engrosamiento de la perlita.

La resistencia a la tracción de las fundiciones grises es función de la estructura de la matriz en la que se encuentra el grafito disperso en forma laminar (Castillo, 2007). Las fundiciones grises se clasifican en 7 tipos según ASTM (20, 25, 30, 35, 40,50 y 60).

### **1.6.2.3 Hierro fundido maleable**

La materia prima para poder producir éste tipo de aleaciones, es el hierro fundido blanco, en donde el carbono se encuentra en forma de carburo ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Aprovechando que el carburo de hierro es una fase metaestable y que su descomposición en  $\text{Fe} + \text{C}$  se ve favorecida por las altas temperaturas se lleva a cabo lo que se conoce como proceso de maleabilización y consta de dos etapas principales:

En la primera fase del recocido, la fundición blanca se calienta lentamente a una temperatura comprendida entre 840 y 980 °C. Durante el calentamiento, la perlita se transforma en austenita al alcanzar la línea crítica inferior y, a medida que aumenta la temperatura, la austenita formada disuelve algo más de cementita.

La segunda fase del recocido consiste en un enfriamiento muy lento al atravesar la zona crítica en que tiene lugar la reacción eutectoide. Esto permite a la austenita descomponerse en las fases estables de ferrita y grafito. Una vez realizada la grafitización, la estructura no sufre ninguna nueva modificación durante el enfriamiento a temperatura ambiente, quedando constituida por nódulos de carbono de revenido (rosetas) en una matriz ferrítica (figura 1.4). De esta manera se obtiene una matriz ferrítica más carbono recocido, conociéndose como hierro ferrítico maleable o estándar (Castillo, 2007).

### **1.6.2.4 Hierro fundido esferoidal**

También se conoce como hierro dúctil, hierro de grafito esferoidal, hierro esferulítico; en este tipo de hierro fundido el grafito se encuentra presente como pequeñas bolas o esferoides (figura 1.4) las cuales interrumpen con menor

brusquedad la continuidad que las hojuelas de grafito en de un hierro gris, dando como resultado una mayor resistencia y tenacidad, comparada con una estructura semejante a la del hierro gris. El hierro fundido esferoidal difiere del maleable en que generalmente se obtiene como resultado de la solidificación y no requiere de tratamiento térmico. Las esferoides son más redondas que los agregados irregulares de carbono revenido encontrados en el hierro maleable.

El grafito esferoidal es producido por la adición de uno más elementos al metal fundido: magnesio, cerio, calcio, litio, sodio, bario entre otros elementos. De éstos, el magnesio y el cerio son comercialmente importantes y como el contenido total de carbono en el hierro esferoidal es el mismo que en hierro gris, las matrices ferríticas y perlíticas se obtienen de manera similar a la de los hierros fundidos grises.

Los hierros perlíticos esferoidales son más fuertes pero menos dúctiles que los ferríticos. También se puede obtener una matriz martensítica templando en aceite o en agua desde una temperatura de 870 a 930 °C (figura1.5). Las estructuras templadas generalmente se revienen después del endurecimiento a los niveles de resistencia y dureza deseados.

Poseen mayor resistencia a la tensión que los hierros grises, resistencia al desgaste y dureza similares, poseen alta resistencia al impacto térmico y mayor maquinabilidad (Castillo, 2007).

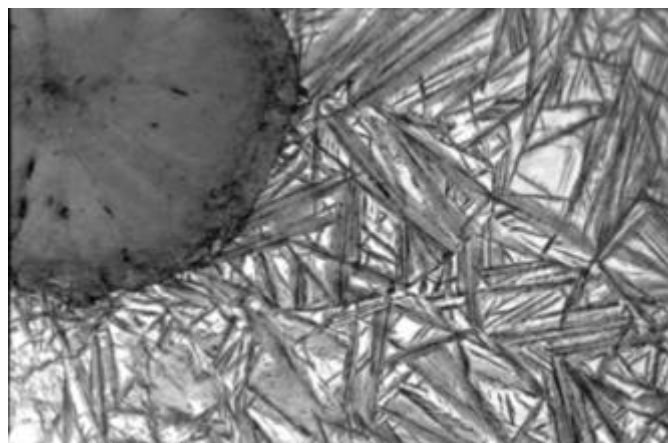


Figura1.5. Matriz martensítica en un hierro esferoidal

## **1.7 Clasificación de las fundiciones aleadas**

De acuerdo con lo planteado por Castillo (2007), de una forma general, se pueden clasificar las fundiciones aleadas en dos grupos:

1. Fundiciones de baja y media aleación: que se caracterizan por tener pequeñas cantidades de Ni, Cr, Mo, y Cu, generalmente en porcentajes inferiores a 5 %. En general, son fundiciones de alta resistencia a la tracción, de 25 a 50 MPa, muy superior a la de las fundiciones ordinarias. Suelen ser de estructura perlítica, 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.

2. Fundiciones de alta resistencia a la tensión: 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.

### **1.7.1 Fundiciones de baja y media aleación**

Estas fundiciones suelen contener cantidades de níquel, cromo, molibdeno y cobre en porcentajes generalmente inferiores al 1,5 %. En estas aleaciones de gran resistencia, es frecuente que los elementos aleados estén en la proporción de una parte de cromo y dos o tres partes de níquel. El cobre y el molibdeno, en general, suelen encontrarse en cantidades relativamente pequeñas, empleándose estos elementos unas veces solos y otras con níquel o cromo, o con ambos a la vez. En ocasiones mucho menos frecuentes, estas fundiciones contienen también pequeñas cantidades de titanio y vanadio, que son añadidos principalmente para conseguir disminuir el tamaño de las láminas de grafito o para afinar la matriz, y para mejorar también la resistencia al desgaste.

### **1.7.2 Fundiciones de alta resistencia a la tensión**

En este grupo se incluyen una gran variedad de fundiciones de composiciones muy diversas y resistencia a la tracción, variables de 25 a 50 MPa. Al mismo pertenecen ciertas fundiciones al níquel, fundiciones al cromo, al cromo-níquel, al





cobre etc. En estas fundiciones, una de las ventajas más importantes del empleo de los elementos de aleación, es que con ellos se evita la formación de grandes láminas de grafito y se aumenta la resistencia de la matriz.

También es importante señalar que la presencia de esos elementos reduce la susceptibilidad de las fundiciones a las variaciones de sección. Es decir, se consiguen que las propiedades sean más constantes en piezas de diferentes espesores. Además, la matriz de las fundiciones aleadas tiene más resistencia y dureza que la matriz de las fundiciones ordinarias.

### **1.7.3 Fundiciones martensíticas resistentes al desgaste**

Para la fabricación de piezas que deban tener gran resistencia al desgaste, o que exijan muy altas durezas o deban sufrir grandes presiones, se emplean fundiciones martensíticas al níquel y al manganeso. Las fundiciones martensíticas más utilizadas son las blancas. Sin embargo, también se fabricaban fundiciones martensíticas que son de usos más restringidos.

#### **1.7.3.1 Fundiciones martensíticas blancas con base níquel**

Estas fundiciones suelen contener 4,5 % de níquel, 2 % de cromo, y bajo silicio (0,50 % máx), alcanzándose con ellas durezas variables de 500 a 700 HB. En América estas fundiciones martensíticas al níquel que son fundiciones blancas son conocidas con la denominación Ni-hard.

#### **1.7.3.2 Fundiciones martensíticas grises**

Estas fundiciones un bruto de colada estructura martensítica por simple enfriamiento en arena. Suelen conocerse a veces con la denominación de fundiciones autotemplables por la elevada dureza 400 a 450 HB que adquieren directamente de la colada sin ningún tratamiento. No pueden ser mecanizadas con herramientas ordinarias.

### **1.7.4 Fundiciones resistentes al calor con 1 % de cromo**

Una de las dificultades del empleo de las fundiciones ordinarias para ciertos usos es el hinchamiento que experimentan cuando sufren calentamiento a temperaturas



superiores a 4500 °C. Para muy elevadas temperaturas de servicio y en ocasiones en que no importa mucho el precio, se emplean fundiciones austeníticas con 15 o 20 % de níquel. Pero cuando el calentamiento del material no pasa de los 700 °C y no se pueden emplear materiales caros, se pueden usar las fundiciones aleadas con pequeños porcentajes de cromo y bajo contenido en silicio, con las que se obtienen muy buenos resultados.

Se pueden usar de 0,6 a 1,25 % de cromo que actúa como elemento estabilizador de carburos y contenidos bajos en silicio de 1,5 a 2 % para limitar la grafitización, que es una de las causas del hinchamiento.

#### **1.7.5 Fundiciones de alta dureza con 1 a 3 % de cromo**

Empleando contenidos de cromo variables de 1 a 2 % se obtienen fundiciones blancas de dureza muy elevada. Estas fundiciones se emplean bastante poco, casi exclusivamente en casos en que interesa gran resistencia al desgaste y a la abrasión, y no importa mucho la tenacidad del material. Para la fabricación de placas de blindaje, piezas de rozamiento, zapatas de freno, guías de rodadura, son muy empleadas fundiciones blancas de 2 a 3 % de cromo, con durezas variables 400 a 450 HB.

#### **1.7.6 Fundiciones aleadas al alto cromo**

Las fundiciones con alto porcentaje de cromo se pueden clasificar en dos familias:

1. Fundiciones con 6 a 25 % de cromo, que son fundiciones blancas de muy elevada dureza: 400 a 550 HB.
2. Fundiciones con 33 % de cromo, que son de estructura ferrítica.

Las primeras son de gran resistencia al desgaste y buena resistencia al calor, y las segundas tienen muy buena resistencia a la oxidación a temperaturas muy elevadas.

#### **1.7.7 Fundiciones aleadas con aluminio**

Recientemente se han comenzado a fabricar y emplear ciertas fundiciones con aluminio.



Sin embargo, en la actualidad todavía su empleo es muy limitado, porque su fabricación es muy difícil. La adición de cantidades de aluminio superiores al 6,5 % hace desaparecer el grafito en las fundiciones y hace que aparezca la matriz formada por ferrita y carburos complejos. Esta estructura ferrítica como la de las fundiciones al silicio es inoxidable y resistente al calor.

Las dos clases más importantes son:

1. Las fundiciones con 7 % de aluminio que tienen buena resistencia al calor y pueden utilizarse hasta 950 °C. Se mecanizan bastante bien. Su resistencia a la tracción es de unos 18 MPa y su dureza de 300 HB.
2. Las fundiciones con más de 8 % de aluminio que tienen muy buena resistencia a la oxidación y pueden ser utilizadas a más altas temperaturas, hasta unos 1000 °C. Son difíciles de mecanizar salvo con muelas abrasivas. Su resistencia a la tracción es de unos 13 MPa, su dureza suele variar de 250 a 500 HB.



### **1.8 Conclusiones del Capítulo 1**

1. El análisis bibliográfico realizado posibilitó profundizar en los elementos teóricos del desgaste que propician la falla en los componentes de bombas centrífugas fabricadas de hierro fundido.
2. Se fundamentaron las teorías que abordan el comportamiento de la resistencia al desgaste de los hierros fundidos en condiciones agresivas de trabajo.
3. Existen disímiles tipos de aleaciones de hierro fundido, cada una de ellas concebidas para situaciones específicas; por lo que es de vital importancia conocerlas a fondo y emplearlas donde realmente pueda cumplir con las condiciones de trabajo a las que serán sometidas.



## **CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1 Introducción**

La ininterrumpida supervisión y la adopción de medidas en aras de prevenir las fallas en los equipos industriales, constituyen uno de los puntos claves en cada uno de los procesos.

Atendiendo a las significativas pérdidas económicas y la amplia gama de efectos negativos que provocan, se hace necesario el conocimiento y caracterización a fondo de las regularidades que definen el comportamiento del objeto de estudio ante las condiciones impuestas. En tal sentido en este capítulo se plantea como **objetivo** fundamentar los elementos de la investigación y exponer los métodos, procedimientos y condiciones experimentales establecidas en el análisis y solución del problema.

### **2.2 Fundamentación de los factores a investigar**

El conocimiento de las causas de falla de la voluta de las bombas (DENVER) para transportar pulpa sin lixiviar debe estar precedido de una exhaustiva investigación que permita establecer el comportamiento de los materiales empleados en las mismas. Basados en las características del material a trasegar, la respuestas de los materiales involucrados y la relación existente entre su composición química, estructura y propiedades, es posible establecer los efectos sobre la durabilidad y causas del tipo de falla que se manifiesta.

Teniendo en cuenta que para retardar el desgaste de las volutas a las mismas se les aplica un recubrimiento de neoprén y es inevitable su deterioro con el tiempo, la investigación se centra en investigar las causas que originan el desgaste del metal de la tapa de succión de las volutas una vez desgastado el revestimiento. Es por ello, que se establecen como factores a investigar el tipo de material, la dureza y microestructura del material de la tapa de succión y los aros de reacondicionamiento empleados anteriormente; así como el tipo, dureza y microestructura de un nuevo material a recomendar para fabricar los aros.

### **2.3 Metodología para el desarrollo de la investigación**

Con el propósito de dar solución al problema planteado, verificar la hipótesis y cumplir el objetivo, se estableció un plan experimental, el cual contempla los siguientes aspectos:

1. Recolección de información sobre el comportamiento histórico de las bombas DENVER.
2. Análisis químico de los diferentes materiales empleados en la zona objeto de estudio.
3. Análisis microestructural de cada uno de ellos.
4. Realización de ensayos de dureza a los materiales analizados.
5. Estudio de la influencia de los factores tecnológicos y funcionales en las fallas manifestadas.
6. Propuesta de una alternativa de solución.

#### **2.3.1 Recolección de información sobre el comportamiento histórico de las bombas DENVER**

En la recopilación de la información necesaria se procesó una extensa base de datos de informes y registros de averías de la Planta de Lixiviación de la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba”- Moa Nickel S.A.

Se procedió al análisis de algunos de los planos y documentos originales brindados por la empresa fabricante, con el objetivo de conocer las condiciones de diseño iniciales de las bombas.

De igual manera, se consultaron informes de su procedencia, así como de cada uno de los materiales utilizados tanto por los fabricantes como por los tecnólogos en las reparaciones realizadas a las mismas.

### **2.3.2 Toma y preparación de muestras de los materiales analizados**

Siguiendo las normas ASTM E 3-95, se tomaron 5 muestras pertenecientes a volutas de 5 bombas que se encontraban averiadas, de las cuales se pudieron obtener ejemplares del material original desde su puesta en explotación, muestras de 5 aros de implante empleados en reparaciones realizadas con anterioridad y cuyas volutas se encontraban averiadas y muestras del nuevo material a recomendar para la fabricación de los nuevos aros.

**Corte:** Las operaciones de corte se realizaron con una cortadora de metales aplicando refrigeración intensa con emulsión refrigerante para evitar transformaciones adicionales en la estructura producto del calentamiento durante el corte.

**Pulido:** El pulido de las muestras fue realizado inicialmente de forma manual sobre una superficie de cristal empleando papel abrasivo de las series 60, 80, 100, 150, 300, 350, 500, 600, 800, 1200 y finalmente en los laboratorios del ISMMM en una Pulidora Metalográfica modelo MONTASUPAL empleando paños de fieltro y una solución de pasta abrasiva de Cromo con granulometría de 3  $\mu\text{m}$ .

**Limpieza, lavado y secado:** Después de la adecuada preparación de las superficies, las probetas se lavan con tetracloruro de carbono para eliminar restos de grasa, polvo y pasta de pulir cuidando no frotar la superficie pulida. Posteriormente se limpian con etanol absoluto para eliminar cualquier vestigio de humedad. Finalmente son secadas al aire caliente.

### **2.3.3 Análisis químico de los diferentes materiales empleados**

Se comprobó la composición química de las muestras para verificarlas con los estándares y establecer su correspondencia con la aleación a investigar. El análisis químico se realizó empleando un Espectrómetro de Masa ESPECTROLAB 230 con electrodo de carbón bajo arco sumergido en atmósfera de argón en el Laboratorio del Taller de Fundición de la Empresa Mecánica del Níquel.



Este equipo basa su funcionamiento en una chispa generada por la energía eléctrica, la cual provoca la excitación de los átomos en una atmósfera inherente de argón. Este haz de luz pasa a través de un cable de fibra óptica hacia un prisma donde se producen las líneas espectrales de cada elemento analítico, las cuales son leídas por un fototubo que a su vez transforma las señales ópticas en eléctricas que son procesadas por el equipo determinando la curva de calibración de alta y baja concentraciones para cada elemento químico.

El SPECTROLAB es insensible a las fluctuaciones de temperatura, vibraciones y suciedad que se pueda colocar cerca de la producción, reduciendo el tiempo requerido para ir de la toma de muestra hasta la obtención de un análisis completo.

Los procesos de toma de la muestra son extremadamente importantes para la obtención de análisis precisos. El personal debe ser cuidadosamente entrenado en ambos procesos para lograr resultados correctos y reproducibles.

### **2.3.3.1 Preparación de la muestra para el análisis en el ESPECTROLAB**

Al preparar las muestras, se deberá cumplir los requisitos siguientes:

1. La muestra debe ser representativa y no contener inclusiones de escoria, fracturas o huecos.
2. El proceso para la toma y preparación de la muestra debe ser lo más simple y fácil que sea posible.
3. La superficie de la muestra debe estar plana (para sellar completamente la cámara de muestra).
4. Se debe evitar el “remolde” y el “levantamiento” cuando difiere en la dureza de la base y de los materiales de aleación.
5. Se debe evitar los depósitos provocados por la manipulación de la muestra.
6. Se debe evitar el empañamiento y la formación de óxido sobre la superficie.



7. No se deben sujetar las muestras no magnéticas con un dispositivo magnético de agarre. Las muestras se deben fijar de forma mecánica.
8. Se debe evitar la intrusión de abrasivos con las muestras blandas.
9. No se deben utilizar los dispositivos de preparación de las muestras para otros propósitos (puede ocurrir la contaminación).
10. Las dimensiones de la muestra deben caber en la repisa de chispeo y deben permitir la preparación de la superficie.
11. En general, lo mejor es moldear la muestra en un molde que permita un enfriamiento rápido de la superficie y una rápida solidificación, esto garantiza tamaños menores de los granos o de las estructuras cristalinas y produce una superficie más homogénea en la muestra para el análisis.
12. Cuando se preparan muestras de diferentes aleaciones, el papel abrasivo debe cambiarse.
13. Debe evitarse “frotar” y “repicar” la muestra cuando la dureza de la base y del material aleado es diferente.
14. Después de preparar la muestra se coloca con la superficie preparada hacia debajo de manera que cubra completamente la abertura de la repisa de chispeo.
15. Se baja el sujetador de muestra de forma que mantenga a la muestra firmemente en su lugar. La altura del sujetador puede ajustarse según la altura de la muestra usando el tornillo manual del sujetador.
16. El sujetador debe estar en contacto con la muestra para cerrar el circuito de seguridad que permite comenzar el chispeo.
17. Se presiona la tecla de función F9 en el teclado para comenzar la medición. El instrumento comienza a chispear, y en la parte inferior de la pantalla se muestra el mensaje “Espere”.



18. Después de una pequeña pausa se muestra en la pantalla de análisis, o Ventana de Chispeo, el resultado en la parte superior de la pantalla donde se reserva un área para la identificación de la muestra.

### **2.3.3.2 Obtención del contenido de carbono real de las muestras**

En el Espectrómetro el contenido de carbono presente en los hierros fundidos resulta inexacto y poco confiable debido al grado de libertad en que se encuentra el grafito en estos materiales. Por esta razón, en la realización de estudios importantes, se hace necesaria la ejecución de la nombrada “Prueba del Carbono” mediante la cual se puede obtener el valor real de este elemento en las aleaciones objeto de estudio.

El equipo empleado en la realización de dichas pruebas es el Carbon Sulfur Analicer Emia, Modelo: Shoriba, de fabricación alemana del Laboratorio de Corrosión de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara. Este dispositivo está basado en el método de combustión con analizador infrarrojo automático. El mismo se sustenta por la combustión de la muestra (virutas del material a analizar) en presencia de oxígeno, en un horno de alta frecuencia, dando lugar a la formación de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), logrando la determinación cuantitativa de estos componentes a través del analizador infrarrojo, en correspondencia con el peso de la muestra y los factores de calibración. El flujo ininterrumpido de oxígeno garantiza la limpieza del sistema, evitando además la ocurrencia de interferencia de los sensores u otras partes del analizador.

Las virutas fueron extraídas de la muestra con la ayuda de la Máquina Taladradora Automática modelo 2M112. N°100 464 fabricada en la URSS. Para ello se empleó una broca de  $\varnothing$  5 mm y bajas velocidades de corte para asegurar la integridad de las muestras de virutas a tomar.

### **2.3.4. Análisis metalográfico**

El análisis metalográfico se realizó según las Normas NC 10-55:86 y NC 10-56:86.

**Ataque de las superficies a investigar:** Las superficies ya preparadas se atacaron químicamente con Nital, una solución de alcohol y Ácido Nítrico, según

ASTM E 407. En la norma ASTM E 407 se identifica al Nital con el número 74 y su composición se indica como: 1-5 mL HNO<sub>3</sub> + 100 mL de metanol o etanol al 99 %. En este caso, se empleó Nital al 2 % (2 mL HNO<sub>3</sub> + 100 mL etanol). El tiempo de ataque sobre la superficie pulida fue de 15 segundos aproximadamente.

**Limpieza y secado:** Después de atacadas, las superficies de las muestras se lavaron con agua destilada y posteriormente en alcohol para finalmente secarlas en aire caliente.

**Observación:** Se empleó un microscopio óptico NOVEL con cámara fotográfica SONY (DXC-107/107P, 12 V CD) empleando distintas combinaciones de objetivo y ocular para obtener imágenes de 100 a 400 aumentos.

### **2.3.5 Ensayos de dureza a los materiales analizados**

Las muestras fueron preparadas debidamente para su posterior medición el durómetro digital portátil “Leeb Hardness Tester” modelo PHT-1800 Phase II, perteneciente al departamento de corrosión de la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba”- Moa Nickel S.A., cumpliendo a cabalidad en todo momento con cada una de los parámetros recogidos en el manual de dicho equipo y según lo establecido por la norma ASTM E 92.

Este equipo es capaz de medir dureza en materiales en las diferentes escalas: Vicker, Brinell, Rocwell C y Rocwell B.

### **2.3.6 Influencia de los factores tecnológicos y funcionales en las fallas manifestadas**

Con el objetivo de establecer una correcta correspondencia entre los tipos de fallas manifestadas en las bombas y los factores que dieron lugar a las mismas se hizo necesario el estudio de los factores tecnológicos y de funcionabilidad que pudieron influir de forma negativa en la durabilidad de las mismas.

Entre los factores funcionales se consideraron los siguientes:

- ✓ Tiempo y régimen de operación
- ✓ Temperatura de trabajo



- ✓ Características de la pulpa a transportar
- ✓ Movimiento y velocidad del fluido

De igual manera, se tuvieron en cuenta los siguientes factores tecnológicos:

- ✓ Material empleado en la fabricación de la voluta
- ✓ Material empleado en las reparaciones realizadas
- ✓ Montaje y puesta en marcha del equipo
- ✓ Sistemática en las labores de mantenimiento

### **2.3.7 Propuesta de solución**

La propuesta de solución a la problemática planteada está fundamentada sobre la base de los resultados arribados en cada una de las investigaciones, así como de los ensayos y estudios de laboratorio desarrollados. Se consultaron catálogos de materiales, normas y procedimientos de soldadura para de esta manera sugerir las mayores mejoras posibles en correspondencia con la funcionabilidad y durabilidad requeridas por estos equipos.



## **2.4 Conclusiones del capítulo 2**

1. Han quedado fundamentados los principales factores a investigar a partir de la necesidad de una descripción y caracterización detallada del objeto de estudio; en aras de definir sus particularidades a través de la implementación de métodos científicos adecuadamente estructurados.
2. Quedaron descritas cada una de las técnicas y procedimientos prácticos y experimentales, que darán arribo a los resultados necesarios en la solución del problema.
3. El equipamiento y tecnologías a utilizar cuentan con una minuciosa y detallada información de las mismas, brindando confiabilidad y precisión en cada uno de sus resultados.



## **CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

### **3.1 Introducción**

La realización de un correcto análisis de los resultados arribados mediante una investigación, constituye un punto clave en la puesta en práctica de la solución más acertada para un determinado problema.

Luego de dejar establecidos el Estado del Arte, la fundamentación de los factores a investigar y explicar los métodos, procedimientos y condiciones experimentales para los análisis en la solución del problema, se procede a la discusión de los resultados a partir de la sistematización de los criterios y postulados que sustentan las teorías que corroboran la veracidad de la hipótesis planteada.

A partir del estudio del funcionamiento y comportamiento histórico de las bombas DENVER; la composición química, estructura y propiedades de los materiales presentes en la zona objeto de análisis, así como los factores tecnológicos y funcionales que inciden en las fallas, se realiza una propuesta de solución al problema planteado y la repercusión económica y social en que incurren las mismas.

En tal sentido este capítulo tiene como **objetivo** efectuar la valoración crítica de los resultados alcanzados y con ello explicar los fundamentos científicos que emergen como solución al problema planteado, a partir de la interpretación exhaustiva de los regularidades obtenidas.

### **3.2 Comportamiento histórico de las volutas en las bombas DENVER**

De acuerdo con la base de datos consultada (Ver Anexo 1), desde el mes de agosto de 2002 hasta la fecha, se han utilizado 93 tapas del lado de succión en este tipo de bombas, de las cuales 13 se han puesto en los últimos 365 días.

En la búsqueda de alternativas de solución, alrededor de 35 ejemplares de estas tapas han sido objeto de reparaciones en al menos una ocasión. Si se promedian estos valores podemos arribar a la conclusión de que dichos elementos poseen un

tiempo de vida útil sin averías catastróficas, que conlleven a la falla y posterior parada del equipo, de un mes aproximadamente.

Las reparaciones realizadas, las cuales consistían en la fabricación de un nuevo aro de succión (Anexo 2), y la posterior inserción mediante soldadura, no resolvieron el problema manifestado, debido a que las características presentes en el material utilizado tampoco satisficieron ante las condiciones de trabajo extremadamente agresivas a las que se ven sometidos dichos componentes.

En la figura 3.1(a y b) se puede apreciar las fallas manifestadas en algunos de estos dispositivos.

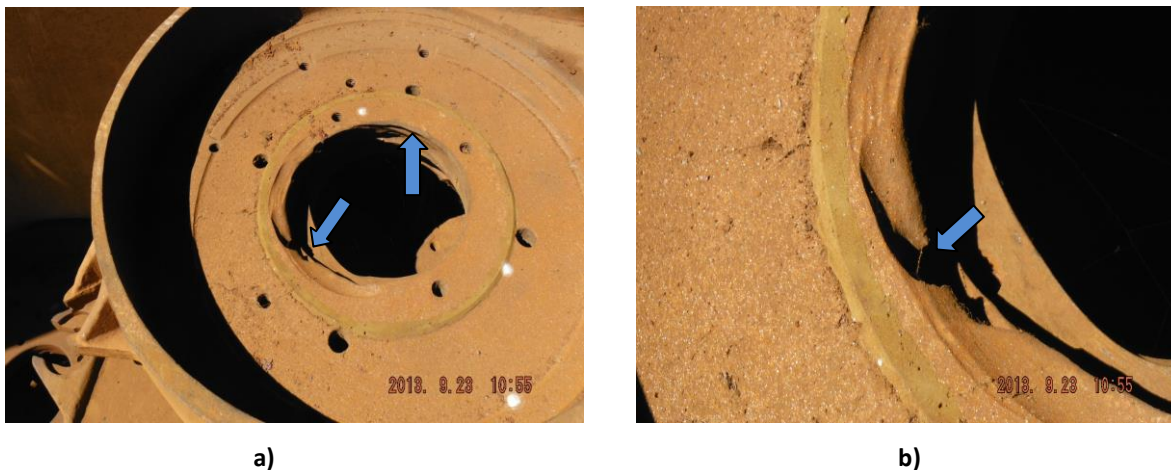


Figura 3.1. Desgaste en forma de canales en la zona de la succión de la voluta

### 3.3 Análisis químico de los diferentes materiales empleados

Los resultados obtenidos de los análisis en el estudio de la composición química en los diferentes materiales investigados se encuentran recogidos en la tabla 3.1 que a continuación se muestra.

Tabla 3.1 Composición química promedio (% en masa) de los materiales analizados

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
<b>Material original de las tapas</b>							
3,588	1,827	0,444	0,022	0,029	0,039	0,040	0,005
<b>Material de los aros empleados en las reparaciones</b>							
3,345	2,792	0,202	0,047	0,014	0,086	0,036	0,005

Como se observa, el material empleado originalmente en la fabricación de las volutas de las bombas se identifica como hierro fundido ASTM A 48 Clase 25, mientras que el utilizado en los aros de las reparaciones se identifica como hierro fundido ASTM A 48 Clase 60. Según la norma, la matriz de estos materiales puede ser fundición blanca o gris, de alta resistencia o maleable, en dependencia de las velocidades de enfriamiento que se manejen durante la fundición. Se nota la ausencia de elementos de aleación como Cr, Ni y Mo que pudieran favorecer las propiedades mecánicas de estas aleaciones para satisfacer los requisitos funcionales que demandan los equipos analizados ante la abrasividad del material que se bombea.

### 3.4 Análisis microestructural

En todos los casos, el análisis microestructural arrojó la presencia de grafito en una u otra forma, lo que desecha la posibilidad de que en la fabricación o recuperación de las volutas, se hayan utilizado fundiciones blancas.

#### Material original

Como se observa en la Figura 3.2, el material original de la voluta (ASTM A 48 Clase 25) posee una estructura de placas de grafito en una matriz perlítica, donde se pueden distinguir las capas o láminas alternas de las dos fases que la componen (ferrita o hierro- $\alpha$  y cementita).

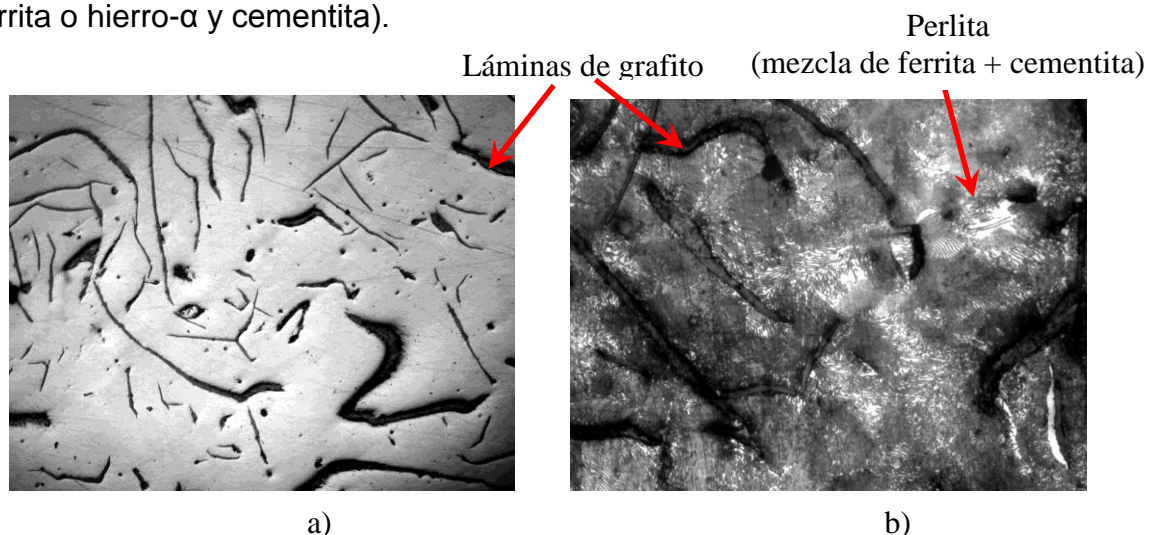


Figura 3.2. Microestructura perlítica del hierro gris ASTM A 48 Clase 25.

a) Sin atacar. 200 X b) Atacada con Nital al 2 %. 300 X



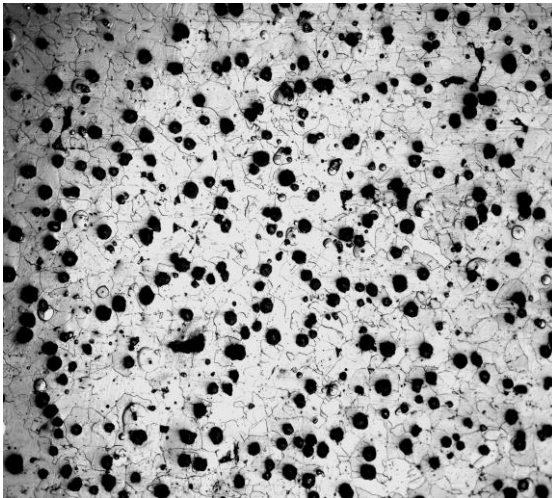
La perlita aparece en forma de "colonias", en las que las capas delgadas claras se corresponden con la ferrita, mientras que la cementita aparece como capas delgadas más oscuras. La mayoría de las capas de cementita son tan delgadas que los límites de fases adyacentes no se distinguen.

En las regiones adyacentes al límite, la resistencia y la rigidez de la fase cementita restringe la deformación de la fase ferrita más blanda; es decir, la cementita refuerza a la ferrita.

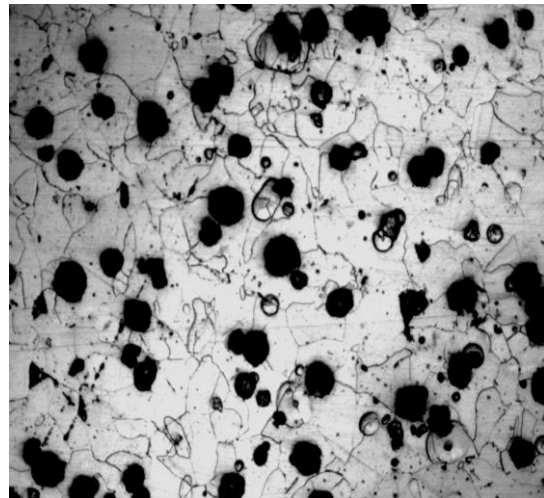
Existen dos tipos de perlita: la perlita fina y la gruesa. En la microestructura analizada se puede notar la presencia de perlitas finas que les confieren mejores propiedades de dureza y resistencia mecánica a la fundición.

### **Material de las reparaciones**

Al analizar el material empleado en los aros de las reparaciones realizadas (ASTM A 48 Clase 60), se pudo observar que el mismo presenta una estructura con predominio del grafito esferoidal en una matriz de ferrita, según la Figura 3.3.



Atacada con Nital al 2 %. 200 X



Atacada con Nital al 2 %. 400

Figura 3.3 Grafito esferoidal en matriz de ferrita del hierro gris A 48 Clase 60

Esta microestructura permite conferir al material la denominación de fundición de alta resistencia. Esta fundición de alta resistencia solo se diferencia de la fundición gris de las volutas por el contenido de Si, que es superior en un 1 %



aproximadamente según la Tabla 3.1. El grafito globular debilita muy poco la matriz metálica, lo que garantiza una alta resistencia a la tracción. Según Lajtin (1985), la presencia de la ferrita o hierro- $\alpha$  (alfa) en la matriz proporciona buena plasticidad al material y la pérdida de resistencia en este caso, es insignificante.

### **3.5 Ensayos de dureza**

Los resultados del promedio de cinco ensayos de dureza y el valor promedio total se muestran en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Mediciones de dureza realizadas a los materiales

<b>Mediciones realizadas</b>	<b>VALORES DE DUREZA DE LOS MATERIALES (HB)</b>			
	<b>ASTM A 48 Clase 25</b>		<b>ASTM A 48 Clase 60</b>	
1	171	170	150	150
	174		148	
	166		152	
2	176	174	157	155
	172		153	
	174		155	
3	181	181	163	158
	182		158	
	180		153	
4	185	182	151	155
	183		160	
	178		154	
5	185	184	148	151
	181		154	
	186		151	
<b>Promedio total</b>		<b>178</b>		<b>154</b>

Como se puede observar, los valores de dureza para estos elementos son muy bajos, lo que no garantiza una adecuada resistencia al desgaste y, como consecuencia, al entrar en contacto la pulpa con la superficie de la tapa de la voluta, la pérdida del material de la misma es inevitable bajo los efectos de la erosión de las partículas en suspensión. Inclusive, los valores de dureza de los aros restituidos durante las reparaciones, son inferiores a los de la voluta, lo que

permite identificar una inadecuada selección del material para el relevo de los mismos. Esta diferencia entre las durezas promedio reportadas en la tabla 3.2 (178 HB para ASTM A 48 Clase 25 y 154 HB para ASTM A 48 Clase 60) se atribuye a las microestructuras de las matrices de ambos materiales. En este caso, la perlita es más dura que la ferrita por la presencia del carburo de hierro (cementita) en la mezcla.

### **3.6 Factores tecnológicos que inciden en las fallas**

Los factores tecnológicos que inciden en las fallas manifestadas son analizados partiendo de los índices fundamentales que pueden haber dado lugar a la ocurrencia de las mismas y que se encuentran recogidos en la metodología planteada en el Capítulo 2 del presente trabajo.

#### **3.6.1 Materiales empleados en la fabricación y recuperación de las volutas**

Como se había planteado con anterioridad el material empleado en la fabricación de la voluta de las bombas DENVER SRL 5x4 es el hierro gris A 48 Clase 25, según la norma de la ASTM.

De acuerdo por lo recogido en la propia norma, estos materiales están concebidos para usos ingenieriles de manera general, y principalmente para piezas sometidas a altos esfuerzos de tensión.

De igual forma sucede con el material utilizado para la fabricación del aro desgastado en las recuperaciones precedentes, el hierro gris ASTM A 48 Clase 60, el cual presenta características similares al original y no están creados para trabajar en medios abrasivos.

Al observar la composición química de ambos materiales, podemos notar el bajo contenido de elementos necesarios, como el Ni, Cr, Mo, que aportan dureza y resistencia al desgaste en las aleaciones, constituyendo estas características negativas para someterlos a estos medios de trabajo.

Por tales razones, podemos afirmar que la selección de estos materiales constituye un factor tecnológico esencial que propició las averías en las piezas investigadas.

### **3.6.2 Montaje y puesta en marcha del equipo**

Durante las investigaciones, al analizar el montaje y arranque de estas bombas, se pudo comprobar que se han cumplido estrictamente todas las medidas de seguridad recogidas en los procedimientos descritos por los manuales que rigen la seguridad de las mismas. Además se cuenta con el personal altamente capacitado y conocedor de las reglas vigentes.

Por estas razones se puede atestiguar que el factor tecnológico tratado no a contribuido ni en menor escala con la propagación de las fallas presentadas.

### **3.6.3 Sistemática en las labores de mantenimiento**

La planificación de las tareas de mantenimiento al equipo han sido correctamente confeccionadas, ejecutadas en tiempo y forma y siguiendo cada uno de los pasos recogidos en los manuales, siendo además verificadas y controladas a plenitud por los jefes de turno y responsables de la Planta de Lixiviación a la cual pertenecen.

Es necesario agregar que en la mayoría de los casos las intervenciones a estos componentes son debidas a las fallas imprevistas que se presentan, ya que la magnitud del problema analizado es bastante elevada.

#### **3.6.3.1 Descripción de las actividades de mantenimiento que se le realizan a las bombas**

Las actividades de mantenimiento serán ejecutadas por el personal de mantenimiento que permanece en el área, bajo la supervisión continua y sistemática del Jefe de Turno. Los objetivos contemplados entre otros en este modelo son:

- Mantenimiento periódico (diario). Sin parada del equipo:
  - . Estado de fijaciones, pernos y anclajes.
  - . Salideros y fuga de aceite, agua, etc.



- . Ruidos anormales, vibraciones, calentamiento anormal.
- . Transmisiones mecánicas (funcionamiento, elementos integrantes).
- . Parámetros de trabajo (presión de trabajo, caudal, nivel de lubricante, presión del lubricante, etc.)
  - Reparaciones pequeñas:
    - . Revisar la bomba en general
    - . Revisar el lubricante.
    - . Revisar conexiones eléctricas y motor.
    - . Revisar sistema de instrumentación.
    - . Revisar la sujeción de la bomba del motor y el estado de la cimentación.
  - Reparaciones medianas:
    - . Abrir la bomba, revisar el estado del impelente y sujeción.
    - . Realizar el tramado del eje y el impelente.
    - . Revisar el estado del sello mecánico.
    - . Revisar rodamiento.
    - . Detectar temperatura.
    - . Revisar revestimiento de goma.
    - . Revisar todas las piezas desgastadas: impelente, tapa de succión, par de fricción, etc.
    - . Cambiar o recuperar las piezas desgastadas.
    - . Revisar el balance del rotor.
    - . Reparar las tuberías y los instrumentos del cimientado.
    - . Montar bomba, probar en vacío, pintar, poner guardera.
  - Reparaciones generales:
    - . Desmontar la bomba y trasladar al Taller.
    - . Desarmar completamente el equipo.
    - . Cambiar todas las piezas desgastadas.
    - . Reparar sistemas eléctricos e instrumentos.
    - . Reparar base.
    - . Reparar motor eléctrico.
    - . Armar y montar la bomba y el motor.



- . Lubricar.
- . Pintar.
- . Probar el equipo con carga.

### **3.7 Factores funcionales que inciden en las fallas**

Las condiciones de operación y funcionabilidad de los equipos, aún cuando por cuestiones de diseño no pueden ser alteradas, constituyen un punto clave en la propiciación de las fallas, por lo que resulta de gran importancia realizar un análisis estricto de las mismas.

#### **3.7.1 Tiempo y régimen de operación**

Las bombas DENVER SRL 5x4 fueron puestas en explotación por la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba”- Moa Nickel S.A. en 1959. Actualmente estos equipos presentan un régimen de operación constante y riguroso, debido a que la producción de la Planta a la que pertenecen requiere de un flujo de trabajo ininterrumpido. La planificación y ejecución de las labores de mantenimiento para los elementos de cada tren se encuentra condicionada por la producción del mismo, en este caso cada 200 000 toneladas de mineral procesado, esto es aproximadamente cada 3 meses.

El nivel de explotación al que son sometidos estos dispositivos influye de manera directa en la propagación de las fallas manifestadas, aunque cabe señalar que desde su diseño ellos fueron concebidos para trabajar a capacidades similares sin temor a la ocurrencia de averías tan frecuentes.

#### **3.7.2 Temperatura de trabajo**

La temperatura máxima a la cual debe bombarse la pulpa sin lixiviar por medio de estas bombas es de 86 °C, según las condiciones de diseño iniciales, debido a que a esta temperatura no ocurren transformaciones considerables en el material de las mismas.

Durante la investigación se pudo corroborar que el historial de temperatura a la salida de los tanques de almacenamiento de mineral hacia las bombas DENVER

SRL 5x4 oscila entre 80 - 85 °C, lo que significa que el factor funcional analizado no influye de manera significativa en la propagación de las fallas, además la viscosidad del fluido a transportar no da lugar al fenómeno de cavitación que pudiera aparecer a estas temperaturas.

### **3.7.3 Características de la pulpa a transportar**

De acuerdo con los estudios realizados (Izquierdo, 1989) la pulpa sin lixiviar transportada por estas bombas contiene entre un 40 – 46 % de sólidos en suspensión. Estas partículas, resultan ser altamente abrasivas ya que su composición química (óxidos de Ni, Co, Fe, Mn, Mg, Al, Zn, Cr, Cu, Si) le otorgan propiedades, de dureza principalmente, que la hacen ser un agente adhesivo – abrasivo a gran escala. No obstante a lo anteriormente señalado, estas características se encuentran en el rango permitido por los diseñadores.

De manera concluyente en el análisis de este factor funcional es posible afirmar que aunque desde un principio se conocían estas características del fluido de trabajo de dichos equipos, este sí constituye un factor clave en el deterioro de los elementos analizados.

### **3.7.4 Movimiento y velocidad del fluido**

Según Izquierdo (1989), en la tecnología ácida a presión, la pulpa bombeada a la planta de lixiviación se mueve por la tubería siguiendo un flujo laminar. En este caso, se puede asumir que el flujo es congruente con las líneas de corriente de la tubería y la velocidad de las partículas se considera lineal, en ausencia de flujo rotacional (Giles, 1999). Al llegar a la zona de succión y penetrar a la voluta, ocurre una variación brusca en la velocidad del flujo y, bajo los efectos de la rotación del rodete (impelente) esta cambia de lineal a angular. Como resultado, el flujo alcanza una elevada energía cinética y las partículas de la pulpa en suspensión adquieren una cantidad de movimiento proporcional a la velocidad angular. La elevada energía cinética de las partículas en suspensión incrementa los efectos de choque primero, sobre el revestimiento de neopreno de la voluta y ponen al descubierto la superficie metálica, que bajo los mismos efectos locales

de la erosión de la pulpa y la baja dureza del metal, origina el desgaste en la zona de entrada del impelente, según el mecanismo de desgaste expuesto por (Strett, 1978) y descrito en el epígrafe 1.5.2.1.

Conforme el líquido es succionado, la corriente se hace congruente con los álabes del impelente, disminuye la energía de rotación del flujo y la cantidad de movimiento de las partículas; por lo que los efectos del desgaste por el impulso de las mismas se reduce considerablemente, resultado congruente con Giles (1999) y como consecuencia, el recubrimiento de neopreno del impelente y la zona de descarga de la voluta conserva su buen estado.

Basado en el análisis anteriormente descrito, se puede afirmar que el factor funcional analizado es el promotor principal de la aparición y propagación de las averías por desgaste presentadas en las volutas de las bombas DENVER.

### **3.8 Propuesta de solución**

La propuesta de solución al problema planteado consiste en sustituir el material para fabricar el aro de la tapa de succión de la bomba DENVER por un hierro fundido, pero aleado con elementos que permitan la formación de cementita aleada que incremente la dureza del material. En este caso, se propone el hierro gris ИЧXH4 (GOST 6769-87), cuyas características y propiedades se muestran a continuación:

**Composición química:** C = 3,012, Si = 2,017, Ni = 4,38, Cr = 1,20, Mn = 0,94, Mo = 0,52

Como se observa, los contenidos de Carbono y Silicio se mantienen alrededor de los valores de la fundición ASTM A 48 Clase 60 (3 % y 2 % respectivamente) y se añade alrededor de 4 % de Níquel para favorecer el proceso de grafitización y evitar obtener fundición blanca. La acción conjunta de estos tres elementos, además, incrementa los valores de resistencia del material. Se incrementa el contenido de Manganeso y se añaden los elementos Cromo y Molibdeno porque son fuertes formadores de carburos. En este caso, se obtendría una cementita aleada con Mn, Cr y Mo que eleva la dureza y resistencia al desgaste del material.

Como el módulo de elasticidad del Manganeso, el Cromo y el Molibdeno es muy alto, las adiciones al hierro fundido provocan un aumento del módulo de elasticidad. La presencia del cromo también favorece la formación de la perlita, pues aumenta la solubilidad del carbono en la austenita e impide de esta forma la formación de la ferrita.

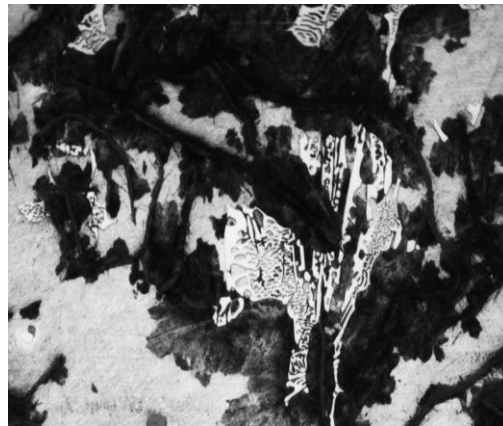
**Dureza:** Según la Norma GOST 6769-87, los valores de dureza del material propuesto para condiciones normales de fundición se encuentran en el rango admisible (250 a 400 HB), ya que posee valores alrededor de los 345 HB.

### **Análisis microestructural**

En la figura 4 se muestra la microestructura de las probetas analizadas de hierro fundido ИЧХН4 (equivalente al ASTM A 532 Clase I Tipo A), propuesto para la realización de las posteriores reparaciones a las volutas de las bombas DENVER. Como se observa, este presenta una estructura compuesta por grafito en forma de placas o láminas y carburos complejos en una matriz de perlita.



Atacada con Nital al 2 %. 200 X



Atacada con Nital al 2 %. 400 X

Figura 4. Microestructura del hierro fundido ИЧХН4 (GOST 6769-87)

Este tipo de aleación brinda la ventaja, además, de ser fabricada en la Empresa Mecánica del Nickel Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche, de donde puede ser adquirida sin mayores problemas. Las características tecnológicas y detalles de fabricación para el aro a confeccionar, ya están establecidas en la Empresa y se salen del marco y objetivo de este trabajo.



No obstante, aunque tampoco es objetivo del trabajo, es recomendable disponer a tiempo de una tecnología pertinente de soldadura, pues se propone un nuevo material. En el anexo 3 se sugieren las especificaciones para la soldadura de unión del aro de hierro fundido ИЧХН4 con hierro gris ASTM A 48 Clase 25.

### **3.9 Valoración económica**

Es importante controlar adecuadamente la estructura de la aleación no solo por los efectos que puedan tener los elementos de esta sobre la formación de estructuras anómalas que empeoran la calidad de la misma al disminuir las propiedades de resistencia al desgaste, sino también por los efectos económicos negativos aparejados, por una parte, a los elevados costos de mantenimiento por concepto de intervenciones que se ejecutan como consecuencia de las averías tan frecuentes, y por otro lado las roturas repentinas que ocurren durante las operaciones y las pérdidas productivas reportadas como resultado de la paralización de las instalaciones para la realización de las intervenciones.

Desde el punto de vista de la producción podemos señalar que las averías por imprevistos de estas bombas a partir de las fallas analizadas, no constituyen un elemento de extrema relevancia en los procesos productivos, debido a que por cada tren funcionan dos ejemplares de este tipo y el tiempo máximo en realizar los mantenimientos correctivos no superan los 3 días.

Pero si lo analizamos desde el punto de vista de los gastos en que incurre la compra de una nueva tapa, o ya sea la recuperación de la misma, nos podemos percatar de la magnitud del problema planteado y la necesidad imperante de una pronta solución.

Tomando en cuenta las frecuencias de estas averías en determinados períodos, y que el precio de una tapa nueva es de 5 279, 59 CUC (sin mano de obra) y el de una reparación con cambio del aro de succión oscila alrededor de los 1 300 CUC obtendríamos valores de gastos por reparaciones similares a los mostrados en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Costos de las reparaciones para diferentes períodos.

	<b>3 MESES</b>	<b>5 MESES</b>	<b>1 AÑO</b>	<b>3 AÑOS</b>	<b>5 AÑOS</b>
<b>TAPA NUEVA</b>	10 559 CUC	26 395 CUC	58 069 CUC	174 207 CUC	274 508 CUC
<b>TAPA REPARADA</b>	2 600 CUC	5 200 CUC	14 300 CUC	42 900 CUC	67 600 CUC

Pretendiendo que con la propuesta de solución planteada se reduzcan las fallas en estos componentes en al menos 3 averías por año y considerando que se evitará la utilización de una tapa nueva en cada reparación, se tendría una disminución de los costos cercana a los 53 000 CUC por cada año, lo que resultaría, de manera positiva, un gran impacto para la economía de la empresa.

### **3.10 Impacto medio ambiental**

La protección del medio ambiente se ha convertido, en los últimos años, en una de las cuestiones que más inquietan a la humanidad. Los grandiosos medios técnicos de que dispone el hombre para explorar las riquezas naturales, el acelerado desarrollo de la economía y el crecimiento de la población, han dado lugar a consecuencias indeseables para la humanidad, tales como:

El agotamiento de los recursos naturales, la contaminación ambiental, los ruidos, la pérdida de los valores estéticos del medio circundante y la merma acelerada del fondo genético, entre otros. No es por lo tanto casual que las organizaciones científicas, sociales, políticas, los estados y gobiernos de muchas partes del mundo se hayan preocupado por tomar medidas que, de una forma u otra, están dirigidas a garantizar un uso racional de los recursos naturales y la protección del medio ambiente.

El período industrial moderno se ha caracterizado por la creación masiva de máquinas y los procesos de fabricación que emplean energía. Las principales fuentes de éstas son los carbones, el petróleo, el gas natural y de alguna otra manera la energía hidráulica y nuclear.



El estado de salud del trabajador depende en gran medida de las condiciones de trabajo, su entorno laboral y su labor específica, pues en este medio es donde el mismo se expone a los diferentes contaminantes, entre los que se encuentran el polvo industrial, ruido, gases, etc.

Desde el punto de vista de las reparaciones al aro de la voluta de la bomba DENVER, las cuales se realizan en los talleres, debemos tener en consideración algunos factores contaminantes y otros que atentan a la salud de los operarios tales como: el ruido, desprendimiento de virutas metálicas, temperaturas elevadas, gases nocivos, riesgo por golpes, entre otros.

El ruido es la contaminación del medio de mayor proporción presente en estas máquinas y a veces no se le toma en cuenta su efecto. El torno es una máquina herramienta que por su funcionamiento no está exonerada de este factor contaminante. Podemos plantear que el ruido a determinada intensidad y tiempo de duración provoca daños (en algunos caso irreparables) en nuestro organismo, como son la pérdida de la audición (puede ser total o parcial), irritaciones, cansancio físico, dolores de cabeza, tensiones musculares, mareo y náuseas. Estudios científicos han demostrado que en algunas personas la susceptibilidad al ruido es tan grande que puede provocarle problemas cardíacos.

Por otro lado, las virutas recogidas de los procesos de maquinado y los restos de otros elementos desechados, son juntados y almacenados para su posterior vertimiento en el área especificada. La acumulación de una gran cantidad de desechos metálicos como estos trae consigo el deterioro del ecosistema.



### **3.11 Conclusiones del Capítulo 3**

1. Las averías presentadas en las volutas de las bombas DENVER SRL 5x4 se deben a la mala selección de los materiales empleados en ellas, y a los efectos provocados por el cambio brusco y acelerado en el régimen del fluido que se traslada por el interior de las mismas.
2. El material propuesto para la sustitución del casquillo de la tapa de succión de la bomba cumple con los requerimientos necesarios para desempeñar trabajo en medios altamente abrasivos.
3. La valoración económica desarrollada arrojó valores de gastos elevados para las soluciones precedentes, y un ahorro económico significativo por la implementación del material propuesto.

## **CONCLUSIONES GENERALES**

1. El desgaste que se genera en la tapa de succión de las volutas de las bombas DENVER ha sido producto de la erosión de los sólidos en suspensión presentes en la pulpa, que inciden de manera directa sobre el material de hierro fundido, los cuales son originados por el movimiento irregular y desproporcionado que describe el fluido al pasar desde la tubería acoplada en la succión de la bomba hacia el interior de la misma.
2. Tanto el material original de la voluta, el hierro fundido gris ASTM A 48 Clase 25, como el utilizado en la fabricación de los aros en las reparaciones realizadas, el ASTM A 48 clase 60, contienen muy bajos porcentajes de elementos químicos necesarios ( $Mo < 0,06$ ;  $Cr < 0,087$ ;  $Ni < 0,041$ ) que le otorgan valores de dureza poco significativos (menor que 180 HB), lo que propició la ocurrencia de las averías frecuentes en dichas bombas.
3. Los estudios realizados revelan que el material propuesto para la fabricación de los aros en las posteriores reparaciones, sí posee las características necesarias para realizar trabajo en medios altamente abrasivos, pues contiene:  $C = 3,012$ ;  $Ni = 4,38$ ;  $Cr = 1,20$ ;  $Mn = 0,94$ ;  $Mo = 0,52$ ;  $Si = 2,017$ ; elementos que conjuntamente con su estructura perlítica y carburos combinados le otorgan valores de dureza que ascienden hasta 345 HB.
4. Las pérdidas económicas anuales por concepto de reparaciones de este tipo de volutas oscila alrededor de 58 069 CUC. En caso de implementar la propuesta de solución analizada habría una reducción en estos costos de al menos 53 000 CUC por cada año de trabajo para las condiciones actuales de explotación.



## **RECOMENDACIONES**

1. Sugerir a la Dirección de la Empresa que realice una valoración exhaustiva sobre la posibilidad de fabricar las tapas del lado de succión en las volutas de las bombas DENVER 5x4 de hierro fundido ИЧХН4.
2. Si fuese posible la aprobación de la propuesta planteada realizar la fabricación de al menos un ejemplar y ponerlo a prueba, tomando mediciones respecto al tiempo de duración del mismo.



## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. American Welding Society (AWS) "Welding Handbook". 8va Edición. 2009.
2. Amorim, R. Análisis de Corrosión en estructuras Metálicas. 1997.
3. Annual Book of ASTM Standards, Ohio: ASTM. Vol. 03.05. 1993.
4. Annual Book of ASTM Standards, Ohio: ASTM. Vol. 01.02. 1994.
5. Avery, H. Mantenimiento Industrial por soldadura. ABEX Corporation. Boletín técnico. No. 22.1980.
6. Bengton, U., Design requirements materials properties a basic for materials selection. American society for testing. USA. 1991.
7. Normas Cubanas:  
NC 10-55:86. Metalografía. Microfotografías. Escala de las Imágenes.  
NC 10-56:86. Metalografía. Microestructura de Metales de aleaciones duras. Métodos de ensayo.
8. Normas internacionales:  
ASTM E 3-95. Preparation of Metallographic Specimens.  
ASTM E 92. Harness Testing.
9. Burgos, J. Relleno superficial por soldaduras. Curso recuperación de piezas por soldaduras. Universidad central de Venezuela. 1996.
10. Callister, W.D. Materials Science and Engineering. An Introduction. John Wiley & Sons, Inc, Publishers. 2003.
11. Caraballo, M. A. Endurecimiento del acero Hadfield en presencia de cargas explosivas. Tesis presentada en opción al título de Doctor en Ciencias Técnicas. Departamento de Mecánica, ISMMM. 2003.
12. Castillo, F. Lecturas de Ingeniería 3, Hierros Fundidos. Departamento de Ingeniería. Laboratorio de Tecnología de Materiales. Cuautitlán Izcalli. 2007.
13. Cruz, A. y Scotti, A.: Evaluación del comportamiento operacional de electrodos tubulares revestidos para revestimiento duro por SMAW. Informe parcial de proyecto CAPES-MES 06. Universidad Federal de Uberlandia. 2007.



14. Fleisher, G. Verschleiss and Zuverlässigkeit. Vurlag TechnikBudem. 1980.
15. Giles, R. V. Mecánica de los Fluidos e Hidráulica. Mcgraw Hill. 1999
16. Guliaev, A. Metalografía. Tomos I y II. Moscú. Editorial MIR. 1983.
17. Izquierdo, R. Hidrotransporte de pulpa laterítica del régimen estructural. Tesis presentada en opción al título de Doctor en Ciencias Técnicas. Departamento de Mecánica, ISMMM. 1989.
18. Kachev, V. V. fisch tein BM .Metode pogischionige dolgovechmosti ditalier mschin. Ed. maschinstroginigi. Moscú. 1971.
19. Keyser, C. Ciencia de materiales para Ingeniería. Ed. Limusa. México. 1992.
20. Lajtin, Y., Metalografía y tratamiento térmico de los metales. 4ta Edición. Editorial Mir Moscú. 1985.
21. *Manual de operaciones. Planta de Lixiviación. Empresa "Comandante Pedro Sotto Alba".* Moa. 2005.
22. Martínez, F. Castañeda S. Fundamentos teóricos del desgaste abrasivo. Revista Construcción de Maquinaria. No. 8, mayo-agosto. 1983.
23. Pástor, M. Introducción a la Metalurgia de la Soldadura. Ecuador: Editorial ESPOCH. 2002.
24. Rabinowicz, Ernest (1995). Friction and wear of materials. July 1995 | ISBN-10: 0471830844 | ISBN-13: 978-0471830849 | Edition: 2 ...
25. Rodríguez, H. Metalurgia de la Soldadura. Edit Pueblo y Educación. 1983.
26. Streeeter, John.: Curso sobre recuperación de piezas, Serie técnica. 1980.
27. Strett, H. Desgaste superficial. Schwisttechnik., Viena. No. 3. 1978.
28. Velazco, P. Breve reseña histórica de la Empresa "Comandante Pedro Sotto Alba"-Moa Nickel S.A. Sala de Historia. 2000.



Anexo 1. Historial de volutas (lado succión) extraídas desde el almacén para bombas DENVER SRL 5x4

Artículo	10100139006		VOLUTA, LADO SUCCION, SRL 5X4						
Almacén	100		ALMACEN CENTRAL						
Fecha	TT	TO	Orden	Pos.	Cantidad	Stock físico	Relación	Proyc.	Login Code
✓ 30-06-2002	Ajt	WC	700001	0	2.0000	2.0000			bsp
01-08-2002	IRM	PO	200351	1	2.0000	4.0000	07332A		ftamayo
10-09-2002	S.D	SO	400238	420	1.0000	3.0000	203		400001
06-11-2002	S.D	SO	500666	480	1.0000	2.0000	203		500002
07-11-2002	S.D	SO	500666	640	1.0000	1.0000	203		500002
07-04-2003	IRM	PO	201348	2	4.0000	5.0000	07332B		ftamayo
28-05-2003	S.D	SO	401012	14	1.0000	4.0000	203		400001
30-06-2003	S.D	SO	401102	28	1.0000	3.0000	203		400001
13-08-2003	S.D	SO	401204	76	1.0000	2.0000	203		400001
25-11-2003	S.D	SO	401367	159	2.0000	0.0000	203		400001
28-01-2004	IRM	PO	203347	1	4.0000	4.0000	07332B		ftamayo
09-02-2004	S.D	SO	401525	288	1.0000	3.0000	203		400001
23-03-2004	S.D	SO	502918	100	1.0000	2.0000	203		14896
11-05-2004	S.D	SO	401692	6	2.0000	0.0000	203		400001
21-06-2004	IRM	PO	204579	4	1.0000	1.0000	07332B		ohromero
28-06-2004	IRM	PO	204690	2	1.0000	2.0000	07332B		ftamayo
02-09-2004	IRM	PO	205121	2	2.0000	4.0000	07332B		ftamayo
02-09-2004	IRM	PO	205121	2	-2.0000	2.0000	07332B		ftamayo
09-11-2004	S.D	SO	401930	3	1.0000	1.0000	203		400001
10-12-2004	IRM	PO	205121	2	2.0000	3.0000	07332B		ogames
22-12-2004	S.D	SO	401999	135	2.0000	1.0000	203		15646
04-05-2005	S.D	SO	402301	16	1.0000	0.0000	204		2382
22-06-2005	IRM	PO	206697	1	2.0000	2.0000	07332B		ftamayo
16-07-2005	IRM	PO	207469	1	1.0000	3.0000	07332B		ohromero
23-08-2005	IRM	PO	206391	2	1.0000	4.0000	07332B		ftamayo
09-11-2005	S.D	SO	402708	263	1.0000	3.0000	203		15646
06-01-2006	S.D	SO	506382	8	1.0000	2.0000	203		14896
11-01-2006	IRM	PO	208742	4	1.0000	3.0000	07332B		ogames
23-01-2006	S.D	SO	402870	475	1.0000	2.0000	203		15646
05-02-2006	S.D	SO	402949	579	1.0000	1.0000	203		2382
24-03-2006	IRM	PO	209161	1	1.0000	2.0000	07332B		ogames
14-04-2006	IRM	PO	209223	1	1.0000	3.0000	07332B		fsreyes
14-04-2006	IRM	PO	209387	1	1.0000	4.0000	07332B		fsreyes
03-06-2006	S.D	SO	403149	225	1.0000	3.0000	203		9077
11-07-2006	S.D	SO	403216	39	1.0000	2.0000	203		400001
12-07-2006	S.D	SO	403238	18	1.0000	1.0000	203		400001

Anexo 1. Continuación (Página 2)

Almacén			100 ALMACEN CENTRAL						
Fecha	TT	TO	Orden	Pos.	Cantidad	Stock físico	Relación	Proyc.	Login Code
27-07-2006	S.D	SO	403295	14	1.0000	0.0000	203		9077
07-09-2006	IRM	PO	210205	2	1.0000	1.0000	07332B		fsreyes
02-10-2006	S.D	SO	507582	116	1.0000	0.0000	203		15379
04-10-2006	IRM	PO	210496	1	2.0000	2.0000	07332B		ogames
03-11-2006	S.D	SO	403412	66	1.0000	1.0000	203		9077
09-11-2006	IRM	PO	210590	2	1.0000	2.0000	07332B		efalva
08-02-2007	S.D	SO	508509	80	1.0000	1.0000	203		15379
12-02-2007	S.D	SO	508509	100	1.0000	0.0000	203		15379
15-05-2007	IRM	PO	211374	2	2.0000	2.0000	07332B		apalma
07-06-2007	S.D	SO	403837	1	1.0000	1.0000	203		400001
27-06-2007	IRM	PO	211878	1	2.0000	3.0000	07332B		fsreyes
06-07-2007	S.D	SO	509463	24	1.0000	2.0000	203		16076
10-07-2007	S.D	SO	509463	34	1.0000	1.0000	203		14896
15-09-2007	IRM	PO	212682	3	1.0000	2.0000	07332B		fsreyes
15-10-2007	S.D	SO	509905	66	1.0000	1.0000	203		14896
14-11-2007	S.D	SO	510134	36	1.0000	0.0000	203		14896
24-12-2007	IRM	PO	212985	8	1.0000	1.0000	07332B		fsreyes
24-12-2007	S.D	SO	880192	326	1.0000	0.0000	203		4705
17-03-2008	IRM	PO	212748	4	1.0000	1.0000	07332B		fsreyes
17-03-2008	IRM	PO	212985	8	1.0000	2.0000	07332B		fsreyes
01-04-2008	S.D	SO	510867	16	1.0000	1.0000	203		16076
18-04-2008	IRM	PO	213554	1	1.0000	2.0000	07332B		fsreyes
04-06-2008	S.D	SO	511305	33	1.0000	1.0000	B50		14896
23-06-2008	S.D	SO	511441	33	1.0000	0.0000	B50		14896
30-06-2008	IRM	PO	214016	2	1.0000	1.0000	07332B		fsreyes
04-09-2008	IRM	PO	214770	1	1.0000	2.0000	07332B		fsreyes
04-09-2008	IRM	PO	214944	2	1.0000	3.0000	07332B		fsreyes
02-10-2008	S.D	SO	511918	38	2.0000	1.0000	B50		14896
22-10-2008	S.D	SO	404671	251	1.0000	0.0000	203		400001
09-12-2008	IRM	PO	215149	2	2.0000	2.0000	07332B		fsreyes
16-01-2009	IRM	PO	215671	1	1.0000	3.0000	07332B		apalma
12-03-2009	IRM	PO	215926	1	3.0000	6.0000	07332B		fsreyes
18-05-2009	S.D	SO	404991	150	1.0000	5.0000	203		9077
07-07-2009	S.D	SO	405043	18	1.0000	4.0000	203		400001
11-12-2009	S.D	SO	405198	99	1.0000	3.0000	B59		9077
27-02-2010	S.D	SO	405333	46	1.0000	2.0000	203		9077



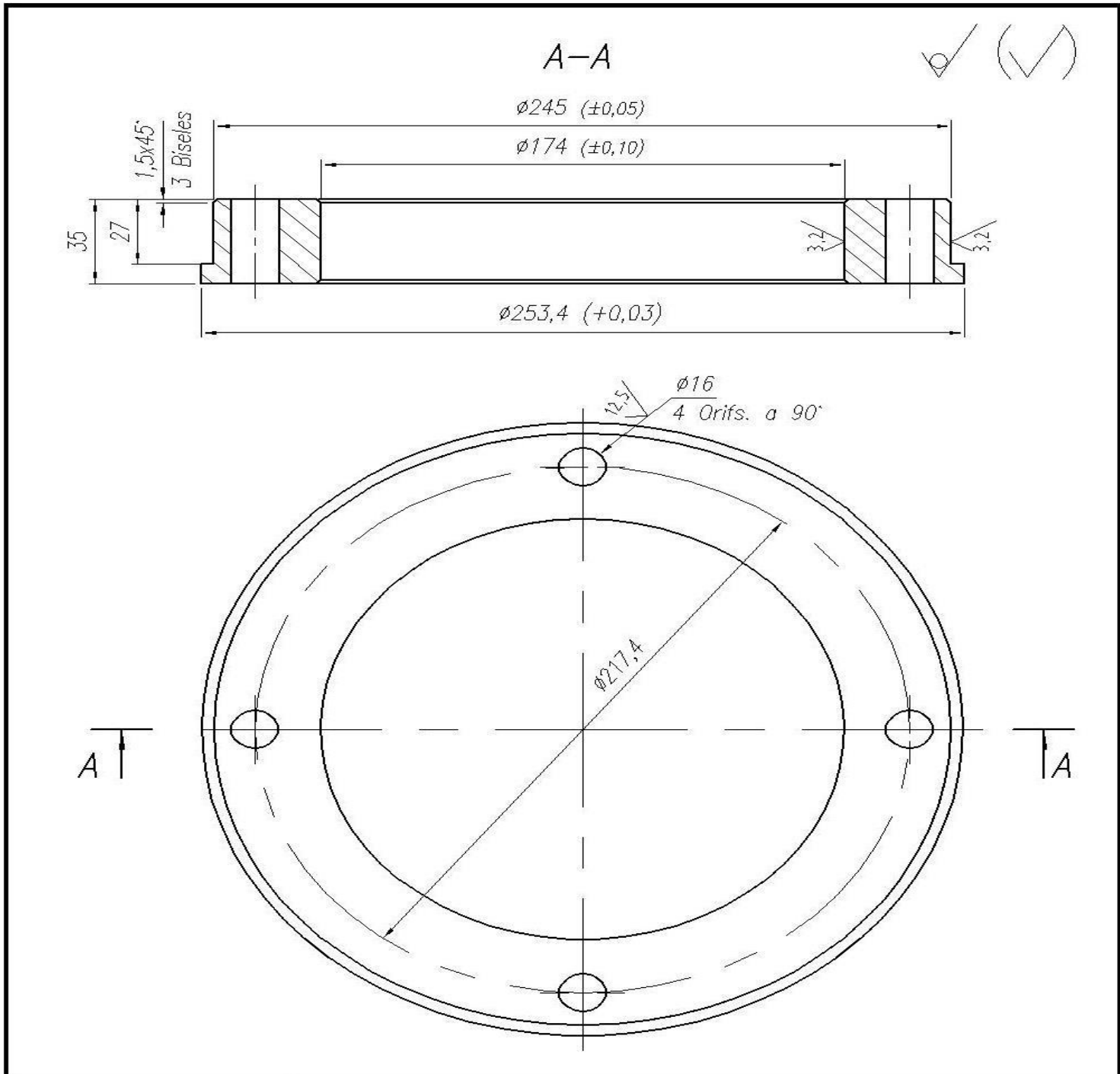
Anexo 1. Continuación (Página 3)

Almacén		100		ALMACEN CENTRAL		Rela-		Proyc.	Login Code
Fecha	TT	TO	Orden	Pos.	Cantidad	Stock físico	ción		
29-03-2010	S.D	SO	405236	45	1.0000	1.0000	203	8912	
06-04-2010	S.D	SO	405408	30	1.0000	0.0000	203	400001	
01-07-2010	IRM	PO	218459	5	1.0000	1.0000	07332B	apalma	
03-07-2010	S.D	SO	405491	1	1.0000	0.0000	203	9077	
25-08-2010	IRM	PO	218873	1	4.0000	4.0000	07332B	fsreyes	
26-08-2010	S.D	SO	405519	382	1.0000	3.0000	203	9077	
26-08-2010	S.D	SO	405519	384	1.0000	2.0000	203	9077	
02-09-2010	S.D	SO	405543	2	1.0000	1.0000	203	9077	
29-09-2010	IRM	PO	218724	1	4.0000	5.0000	07332B	apalma	
18-10-2010	S.D	SO	515948	27	1.0000	4.0000	C07	16076	
27-10-2010	S.D	SO	405587	30	1.0000	3.0000	203	400001	
13-11-2010	S.D	SO	405647	63	1.0000	2.0000	203	9077	
25-11-2010	S.D	SO	405647	88	1.0000	1.0000	203	400001	
04-01-2011	S.D	SO	516346	4	1.0000	0.0000	203	16076	
18-05-2011	IRM	PO	219954	2	4.0000	4.0000	07332B	rruiz	
18-05-2011	IRM	PO	220758	5	4.0000	8.0000	07332B	dfdez	
08-06-2011	S.D	SO	405947	34	1.0000	7.0000	203	9077	
29-07-2011	S.D	SO	880539	160	1.0000	6.0000	203	16400	
19-08-2011	S.D	SO	406007	164	1.0000	5.0000	203	9077	
08-09-2011	S.D	SO	517665	36	1.0000	4.0000	C64	16076	
28-09-2011	S.D	SO	517769	27	1.0000	3.0000	C64	16076	
30-09-2011	S.D	SO	406030	135	1.0000	2.0000	203	9077	
26-10-2011	S.D	SO	517987	22	1.0000	1.0000	C64	16076	
29-11-2011	S.D	SO	406114	88	1.0000	0.0000	203	400001	
08-12-2011	IRM	PO	221531	4	4.0000	4.0000	07332B	rruiz	
30-12-2011	S.D	SO	406154	107	1.0000	3.0000	203	9077	
18-01-2012	S.D	SO	406227	92	1.0000	2.0000	203	400001	
10-03-2012	S.D	SO	518711	63	1.0000	1.0000	D02	16076	
04-04-2012	S.D	SO	518840	159	1.0000	0.0000	D02	9538	
04-05-2012	IRM	PO	222631	4	6.0000	6.0000	07332B	apalma	
09-05-2012	S.D	SO	406373	125	1.0000	5.0000	203	9077	
11-05-2012	S.D	SO	406373	134	1.0000	4.0000	203	9077	
17-05-2012	S.D	SO	406403	56	1.0000	3.0000	203	9077	
07-07-2012	S.D	SO	406486	30	1.0000	2.0000	203	9077	
25-08-2012	S.D	SO	406259	309	1.0000	1.0000	203	8912	
01-10-2012	IRM	PO	223163	1	7.0000	8.0000	07332B	dfdez	

Anexo 1. Continuación (Página 4)

Almacén		100		ALMACEN CENTRAL		Rela-			
Fecha	TT	TO	Orden	Pos.	Cantidad	Stock físico	ción	Proyc.	Login Code
29-11-2011	S.D	SO	406114	88	1.0000	0.0000	203		400001
08-12-2011	IRM	PO	221531	4	4.0000	4.0000	07332B		rruiz
30-12-2011	S.D	SO	406154	107	1.0000	3.0000	203		9077
18-01-2012	S.D	SO	406227	92	1.0000	2.0000	203		400001
10-03-2012	S.D	SO	518711	63	1.0000	1.0000	D02		16076
04-04-2012	S.D	SO	518840	159	1.0000	0.0000	D02		9538
04-05-2012	IRM	PO	222631	4	6.0000	6.0000	07332B		apalma
09-05-2012	S.D	SO	406373	125	1.0000	5.0000	203		9077
11-05-2012	S.D	SO	406373	134	1.0000	4.0000	203		9077
17-05-2012	S.D	SO	406403	56	1.0000	3.0000	203		9077
07-07-2012	S.D	SO	406486	30	1.0000	2.0000	203		9077
25-08-2012	S.D	SO	406259	309	1.0000	1.0000	203		8912
01-10-2012	IRM	PO	223163	1	7.0000	8.0000	07332B		dfdez
12-10-2012	S.D	SO	519960	36	1.0000	7.0000	D02		16076
19-11-2012	S.D	SO	520081	35	1.0000	6.0000	D02		16076
27-11-2012	S.D	SO	520183	26	1.0000	5.0000	D02		16076
18-12-2012	S.D	SO	406259	432	1.0000	4.0000	203		2108
21-12-2012	S.D	SO	406631	118	2.0000	2.0000	203		9077
26-12-2012	S.D	SO	406631	165	1.0000	1.0000	203		14244
10-01-2013	S.D	SO	880651	3	1.0000	0.0000	203		14248
23-04-2013	IRM	PO	224338	1	5.0000	5.0000	07332B		dfdez
02-05-2013	S.D	SO	406837	185	1.0000	4.0000	203		5049
10-05-2013	S.D	SO	520979	31	1.0000	3.0000	D14		16076
13-05-2013	S.D	SO	520979	42	1.0000	2.0000	D14		16076
16-05-2013	S.D	SO	520979	49	1.0000	1.0000	D14		16076
12-06-2013	S.D	SO	521177	30	1.0000	0.0000	D14		16076
03-07-2013	IRM	PO	224737	2	5.0000	5.0000	07332B		fsreyea
11-07-2013	S.D	SO	521271	48	1.0000	4.0000	D14		16076
17-07-2013	S.D	SO	406914	83	1.0000	3.0000	203		5049
24-07-2013	S.D	SO	406914	123	2.0000	1.0000	203		9077
17-08-2013	S.D	SO	406931	27	1.0000	0.0000	203		9077
26-11-2013	IRM	PO	225586	1	5.0000	5.0000	07332B		agarcia
03-12-2013	S.D	SO	407040	7	2.0000	3.0000	203		5049
05-01-2014	S.D	SO	407106	13	2.0000	1.0000	203		9077
28-01-2014	IRM	PO	225726	3	6.0000	7.0000	07332B		dfdez
11-02-2014	S.D	SO	522124	80	1.0000	6.0000	D26		16076

**ANEXO 2. PLANO DE LA PIEZA**



					ARO PARA TAPA DE SUCCIÓN PLANO DE PIEZA	ISMM			
						Etapas de Elaboración			
Mod	Cant	No. Notif	Firma	Fecha		Masa	Esc	Hoja.No	Cant de hojas
Dib		L.DURÁN		17/5/14		7,5 kg	1 : 2	1	1
Proy		L.DURÁN		22/5/14					
Rev									
Cont.nor									
Cont.téc									
Aprob									
					Hierro fundido 14XH4				

**EQUIPO O PIEZA:** Voluta de Bomba Denver de Pulpa sin Lixiviar. ( Soldadura de aro para la reparación de defectos provocados por la abrasión - erosión de la pulpa con partículas en suspensión de alta dureza)

**Preparación de la unión:** Unión de filete de una soldadura a solapa. Aplicar disco de desbaste hasta lograr brillo metálico en ambos lados de la junta a soldar. Alinear correctamente el platillo a la voluta y luego puntear, los puntos de soldadura formarán parte de la unión soldada, una vez lograda la correcta alineación, proceder a soldar.

**Control post-soldadura:**

Aplicar inspección mediante defectocopia en colores o radiografía.

**WPS DE REFERENCIA:** Proceso: SMAW Tipo: Manual:

**Unión:** A Solapa  
**Respaldo:**  
**Cara de raíz:** --  
**Separación de raíz:** --  
**Cordón recto:** Pasada de la raíz.  
**Cordón balanceado:** no se admite.  
**Limpieza inicial:** Disco abrasivo, cepillo de acero, piquetas.  
**Método de resanado:** -  
**Equilibrio de Distorsión:**  
**Ensayo aplicar:** Inspección Visual y defectocopia en colores.

**CROQUIS:**

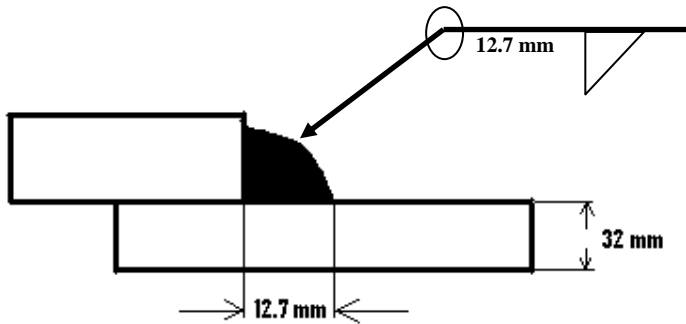


Fig.1 Soldadura ortogonal, unión a solape.

**POSICIONES:** 1G;

**PROGRESION:** Ascendente

**PRECALENTAMIENTO en °C.**

**T. Pre calentamiento (Rango):** N/P

**T. Mant. Prealent:** N/P

**T. Máx. e/ Pasada:** N/P

**Alivio de tensiones. Si ( \_X\_ ) No ( \_ ) .**

Martillado ligero sobre el cordón.

**TRATAMIENTO TERMICO.**

**Templar:** N/P

**Revenido:** N/P

**Normalizado:** N/P

**Recocido:** N/P

**Rango Tiempo:** N/P

**Enfriamiento:** En cal.

**REGIMEN TERMICO DEL METAL APORTE (°C):**

**Revestimiento.**

Rutílico x  
Celulósico Básico

**T. Conservación:**

**T. Secado, 2hr a:** N/P

**T. Uso:**

**MATERIAL BASE:** Hierro Fundido Gris (Bomba )  
**Composición Química:** C=3.5, Si=1.82, Mn=0.44, P=0.02, S=0.02, Cr=0.039, Ni=0.04, Mo=0.005. **Dureza:**185 HB

**MATERIAL BASE:** Hierro Fundido GRIS (Platillo de cambio.)  
**Composición Química:** C=3.012, Si=2.02, Mn=0.93, P=0.039, S=0.014, Cr=1.20, Ni=4.8, Mo=0.25. **Dureza:** 350HB (362 HV)

Rango de espesor: 32 mm.

METAL DE APORTE:	RAÍZ	Relleno y Cubierta
------------------	------	--------------------

No. Grupo ASME

No. Grupo Análisis

**Gas de protección:** Flujo, L/ min.

**Pureza %:** Ø de boquilla:

**Gas de respaldo:** Flujo, L/ min.

Clasificación de ASME : A.W.S: E-NiFe-CI-A A.W.S: E-NiFe-CI-A							
Especificación de ASME: AWS:A5.15 AWS:A5.15							
Composición Química: C=1.6, Si=0.03, Mn=0.6, P=0.03, S=0.03, Ni=55.0							
Pasada(s) soldadura	Proceso(s)	Metal de Aporte		Corriente			Tamaño y tipo de tungsteno
		Clase	Ø	Tipo y polaridad	Rango y amperaje	Rango y voltaje	
I II,III	SMAW SMAW	E-ST E-ST	2.5 3.25	CDPI CDPI	70-80 95-110	25-35 25-35	
<b>Defectos:</b> No se admiten.							
<b>Elaborado por:</b>		<b>Nombre:</b> Luis Antonio Durán Aguilera			<b>Firma:</b>		<b>Fecha: 18/05/2014</b>
<b>Aprobado por:</b> Doctor en Ciencias Técnicas		<b>Nombre:</b> Alberto Velázquez del Rosario.			<b>Firma:</b>		<b>Fecha: 23/05/2014</b>