



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
FACULTAD: METALURGIA - ELECTROMECAÁNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO DE DIPLOMA

En opción al título de ingeniero Mecánico

**Título: Determinación de las causa de rotura de las asas del
elevador de cangilones de la planta de preparación de
mineral.**

Autor: Erick Alfredo Pérez García

Tutor(es): Ms C. Ing. Geovany Ruiz Martínez.
Ing. Juan José Vidal Carmenaty.

Moa-2013
“Año 55 de la Revolución”

Moa 11 de Julio de 2012

Opinión del tutor

Nombre del tutor: M Sc. Geovany Ruiz Martínez

Grado científico: Máster en Ciencias

Área del conocimiento en la que es especialista: Mecánica de Materiales

Centro: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

Título del trabajo: *Determinación de las causa de rotura de las asas del elevador de cangilones de la planta de preparación de mineral.*

Autor: Erick Alfredo Pérez García

Introducción

Como señalara en el Informe Central al IV Congreso del Partido Comunista de Cuba nuestro Comandante en Jefe Fidel Castro, "...es necesario acelerar los planes priorizados junto al proceso de rectificación, ya con ideas y conceptos nuestros, basados en el desarrollo de las investigaciones científicas y su aplicación urgente a la industria, ya que estamos alcanzando logros extraordinarios en este campo.

De aquí la importancia en el ahorro de materiales, energía eléctrica y otros recursos. Con la finalidad de mitigar los efectos causados por la crisis mundial.

La tesis presentada por el diplomante posee un correcto desarrollo de la metodología de la investigación científica, manifestándose una estrecha relación entre los elementos metodológicos que la integran; la parte fundamental está constituida por introducción, 3 capítulos, conclusiones generales, recomendaciones y bibliografía.

Grado de independencia alcanzado

El diplomante logró independencia en la solución de la problemática planteada, se apropió de los métodos y procedimientos ingenieriles para la solución de problemas en el área del conocimiento relacionada con la Ingeniería Mecánica y realizó el cumplimiento de las tareas en el tiempo programado.

Disciplina del alumno y dedicación al trabajo

La disciplina del alumno fue buena y dedicó tiempo extra para lograr el cumplimiento del objetivo.

Utilización de la bibliografía relacionada con el tema de investigación

Usó de forma adecuada las referencias bibliográficas relacionadas con la investigación, la revisión es actual y expone las principales problemáticas relacionadas con la simulación y la mecánica de materiales.

Aplicación de los conocimientos adquiridos en el trabajo

En la realización del trabajo la diplomante aplicó conocimientos adquiridos durante toda la carrera, partiendo de las asignaturas básicas, tales como: Matemática, física, química, dibujo, entre otras. El uso de software profesionales: Mathcad, Autocad, Excel y ANSYS.

Valor de los resultados de la tesis

El valor de los resultados está dado en la posibilidad de tomar decisiones en la industria durante la importación de vienes.

Conclusiones

El trabajo cumple con los objetivos definidos, se propone admitir el informe presentado como ejercicio de fin de la carrera y que se le solicita al tribunal le conceda a el Diplomante: **Erick Alfredo Pérez García** el título de Ingeniero Mecánico.

Dado en Nicaro a los 26 del mes de Junio de 2013

M Sc. Geovany Ruiz Martínez

Ing. Juan José Vidal Carmenaty



DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo: Erick Alfredo Pérez García

Autor de esta Tesis de Maestría, certifico su propiedad intelectual a favor del I.S.M.M. de Moa, el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

Firma del Autor

Erick Alfredo Pérez García

Firma del tutor

M Sc. Ing. Geovany Ruiz Martínez

Firma del tutor

Ing. Juan José Vidal Carmenaty



AGRADECIMIENTO

Agradezco a los profesores del ISMMM y del aula Propia de la empresa "Comandante René Ramos Latourt". En especial Ms. C. Geovanny Ruiz Martínez. Por la dedicación que tuvieron en el proceso de nuestra formación.

A mis Compañeros de trabajo, en especial al Ing. Juan José Vidal Carmenaty por la ayuda ofrecida durante la elaboración de este trabajo.

Un agradecimiento especial a Marcia Mastrapa (Jefa de departamento de Capacitación) que sin su esfuerzo no se hubiese logrado la apertura del aula propia de Nicaro.

El apoyo de Mis padres por ser el motor impulsor en nuestra formación, Agradezco a mi familia que en todo momento me apoyo para alcanzar esta meta.

Agradezco a mis hijas que aunque no estuvo presente en esta etapa de desarrollo de mi tesis pero sí estuvo presente desde el inicio de mis estudios de la especialidad.

Y finalmente no por última menos importantes, agradezco a la Revolución la oportunidad que me ha brindado para la superación profesional y especialmente a Nuestro Comandante en jefe.



DEDICATORIA

El resultado de este trabajo quiero dedicarlo a todo aquel que de una forma u otra hayan contribuido a la realización del mismo, siendo este mi sueño durante la trayectoria de mi carrera. Con mucho amor, trabajo y perseverancia hoy veo el fruto de mis esfuerzos, expresados en este trabajo, el cual va dedicado a todos aquellos que lo merecen en especial. A las persona que más amo en el mundo, mis Padres, mis hijas, mi hermano a su esposa, mis primas, mi tía y mis amigos.

Agradezco infinitamente a mis tutores y profesores que siempre me supieron orientar y me guiaron el camino a seguir.



PENSAMIENTOS

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

Ernesto Guevara de la Serna "Che"

"Ningún científico piensa con formulas. Antes de que comience a calcular, debe tener en su cerebro el curso de sus razonamientos, esto último, en la mayoría de los casos, pueden ser expuestos en palabras sencillas. Los cálculos y las formulas constituyen el paso Siguiente."

Albert Einstein

"El desarrollo de la ciencia es un drama, un drama de ideas. Ella debe cautivar e interesar a todo aquel quien ama la ciencia"

Albert Einstein



RESUMEN

En el presente trabajo se realizó el estudio sobre las causas que originan la rotura en la asas del elevador de cangilones de la planta de preparación de mineral en la empresa “Comandante René Ramos Latourt”, para ello se prepararon ocho probetas, cuatro de las asas de fabricación nacional y las restante de las asas importadas, las mismas fueron cortadas de forma longitudinal con dimensiones de 20 X 20, las cuales correspondían a las zonas cercanas a la avería, según el procedimiento descrito en (ASTM E 3 – 95 y Norma NC 10 – 56: 86). NC 10-56:86 y ASTM E3-95; se le realizó el análisis químico y microestructural, además el cálculo de resistencia y estos resultados se corroboraron a través de la simulación empleando el MEF, con ayuda de software profesional ANSY (versión 11.0). Se evaluaron los defectos de las muestras considerando la microestructura. Se tuvo en cuenta la incidencia del proceso sobre el hombre y el medio ambiente; se analizó la incidencia de la rotura en el proceso productivo y su repercusión en la economía de la empresa.



ABSTRACT

In the present work we carried out the study on the causes of the break in the handle of the bucket elevator to the ore preparation plant at the company "Comandante René Ramos Latour", for that eight specimens were prepared, four of the handles domestically produced and imported handles remaining, they were cut longitudinally with dimensions of 20 X 20, which corresponded to the areas close to the fault, according to the procedure described in (ASTM E 3-95 Standard and NC 10-56: 86). NC ASTM 10-56:86 and E3-95; underwent chemical and microstructural analysis, and calculation of resistance and these results were corroborated by the simulation using the MEF using ANSY professional software (version 11.0). Is an evaluron defect considering the microstructure samples. It took into account the impact of the process on man and the environment; we analyzed the incidence of breakage in the production process and its impact on business economics.

ÍNDICE

CONTENIDO	Páginas
Introducción	1
CAPITULO I. MARCO TEÓRICO	
1.1- Introducción	4
1.2- Breve reseña histórica fábrica de níquel “Comandante René Ramos Latour”	4
1.3- Descripción del flujo tecnológico de la planta de preparación de mineral	5
1.3.1- Planta de Preparación de Mineral	6
1.3.2- Generalidades de los secaderos de cilindros rotatorios	7
1.3.3- Característica del sistema de molienda	10
1.4- Descripción de los elevadores de cangilones	10
1.5- Generalidades acerca del acero AISI 1045 y su empleo industrial	11
1.6- Composición química del acero AISI 1045	11
1.7- Estado tensional y deformacional	13
1.7.1- Solicitaciones mecánicas	14
1.8- Principios generales del análisis de procesos mediante la simulación	16
1.8.1- Método de Elementos Finitos aplicados a problemas ingenieriles	17
1.9- Conclusiones del capítulo	19
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS	
2.1- Introducción	20
2.2- Fundamentación de las propiedades a investigar	20
2.3- Selección y preparación de muestras para el análisis microestructural	21
2.3.1. Selección de las muestras	21
2.3.2. Corte de las probetas	22
2.3.3. Desbaste de las muestras	22
2.3.4. Pulido de las muestras	22



2.3-5. Limpieza, lavado y secado de las probetas antes del ataque químico	23
2.4- Ataque químico de las muestras seleccionadas	23
2.5- Análisis microestructural por el método de examen microscópico	23
2.6- Propiedades de los aceros empleados en las asas	24
3.6.1- Propiedades mecánicas de los aceros AISI 1040 y AISI 1035	25
2.7- Análisis tenso-deformacional mediante métodos numéricos	26
2.8- Simulación por el Método de Elementos Finitos de la barrilla	32
2.8.1- Algoritmo para la simulación (ANSYS versión 11.0)	32
2.9- Conclusiones del capítulo	33
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y VALORACIÓN DE LOS RESULTADOS	
3.1- Introducción	34
3.2- Análisis de la composición química	34
3.3- Resultados del análisis metalográfico	35
3.4- Resultados del cálculo de flexión en las asas	36
3.5- Resultados de la simulación con el empleo de ANSYS (11.0)	37
3.6- Valoración económica	41
3.7- Impacto medio ambiental	42
3.7.1- Principales problemas ambientales detectados en la planta	43
3.7.2- Influencia del polvo en el medio ambiente	43
3.7.3- Medidas para la protección del medio ambiente implementadas en la planta	45
3.8- Conclusiones del capítulo	46
CONCLUSIONES GENERALES	47
RECOMENDACIONES	48
BIBLIOGRAFÍA	49



INTRODUCCIÓN

Actualmente nuestro país se ha visto en la necesidad de actualizar la continuidad de su modelo económico, con el objetivo de garantizar la continuidad e irreversibilidad del socialismo, el desarrollo económico de la nación y el nivel de vida de la población. Para ello se aprobaron los lineamientos de la política económica y social del partido y la revolución, entre los que se destacan los relacionados con la política industrial.

La Empresa Comandante René Ramos Latour, de Nicaro, pionera de la producción de níquel en Cuba., figura entre las fábricas niquelíferas de mayor tradición con un peso importante en el aporte económico al país.

La planta de níquel Comandante René Ramos Latour esta situada en Nicaro, municipio Mayarí, provincia Holguín, fue construida bajo los auspicios de la compañía General Service Administ y transferida a la Nicaro Nikel Company. La construcción de esta se inicia en marzo de 1942 y en los días finales de 1943 el mundo conoce la factibilidad del profeso Caron.

Nicaró surgió como proyecto de guerra, pues el objetivo del gobierno de Estados Unidos era cubrir las necesidades de su industria bélica en medio del a contienda de la segunda guerra mundial. El 31 de marzo de 1947 culmina su primera etapa productiva, logrando en tres años la cifra de más de 28 mil toneladas de níquel.

El 1 de febrero de 1952 la empresa reinicia sus operaciones, elevando casi al doble su capacidad productiva. Durante este período los trabajadores facilitaron la obtención de un nuevo producto de notable aceptación en la industria del acero, el óxido de níquel sinterizado, además de que se construyó la línea del ferrocarril que unía la mina Ocuja con la Romana.

En los años 1955 hasta 1956, la planta fue ampliada en un 75 % de la capacidad inicial del diseño, para hacer la operación económicamente atractiva. En septiembre de 1960 la planta fue nacionalizada, pasando a manos de la revolución y a partir de ahí se han llevado a cabo en la misma diversas inversiones con el fin de mejorar su flujo productivo.



En la planta de preparación de minerales encontramos varios equipos, entre los que se destacan los elevadores de cangilón, los mismos se encargan de transportar el mineral desde las correas calientes hasta los molinos.

Los elevadores de cangilon tienen una altura de 30 metros, poseen 114 cangilones, la misma gira a una velocidad alrededor de 12 rev/min. Impulsada por un reductor acoplado a un motor que transmite una potencia de 45-55 kW y 1800 rev/min. El mineral entra a una temperatura entre 60 - 80 °C. Además el mismo está provisto de dos cadenas y asas, las cuales son las encargadas de sujetar los cangilones, así como un sprock motriz, de cola y un tren ceñidor. El mismo posee una capacidad de 250 Ton/h.

Situación problemática

En la planta de preparación de minerales de la empresa Comandante René Ramos Latour de Nicaro se ha visto afectada por numerosas roturas de las asas de los elevadores de cangilones. Lo cual provoca abundantes paros que afectan no solo el proceso productivo de la planta, sino de la empresa en general. De ahí que sea de gran importancia el estudio de la rotura de estos elementos para poder determinar las causas y a partir de ello proponer posibles soluciones.

Problema

Frecuentes averías en las asas de los elevadores de cangilon de la planta de preparación de minerales de la empresa “Comandante René Ramos Latour”.

Hipótesis

Si se realiza el análisis de esfuerzos internos aplicando técnicas computacionales, metalográfico y de factores operacionales. Se podrá caracterizar los mecanismos de rotura que se originan en el mismo.

Objeto de Investigación

Las asas del elevador de cangilon de la empresa Comandante René Ramos Latour.

Campo de Investigación: Estructura interna y tensión mecánica de las fundiciones



Objetivo

Determinar las causas que originan la rotura en las asas de los elevadores de cangilon de la planta de preparación de minerales de la empresa Comandante René Ramos Latour.

Objetivos específicos:

1. Analizar el comportamiento mecánico y microestructural de las asas del elevador de cangilones.
2. Analizar la influencia de las variaciones geométricas en la resistencia mecánica de las asas.

Tareas

1. Establecimiento del estado del arte y sistematización de los conocimientos y teorías relacionadas con el objeto de estudio.
2. Recopilación de materiales y preparación de probetas.
3. Análisis la influencia de los cambios en la estructura metalográfica.
4. Análisis de los resultados y fundamentación de las causas que originan la rotura en las asas del elevador de Cangilones.



CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO- METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1- Introducción

El transporte de mineral desde el punto de vista productivo es de vital importancia para la operación de la planta de preparación de minerales, mediante el mismo se transporta todo el mineral procedente desde los secaderos hasta los molinos.

En la empresa “Comandante René Ramos Latour”, el transporte de mineral juega un papel determinante debido a que en este proceso se transporta todo el mineral que se procesa en la planta.

En este sentido el **objetivo** del capítulo es:

Exponer los fundamentos teóricos del proceso de transporte de mineral en los elevadores de cangilones que permita la evaluación del comportamiento de los parámetros de trabajo en el objeto de estudio.

1.2- Breve reseña histórica fábrica de níquel “Comandante René Ramos Latour”

En Marzo de 1942 comenzó la construcción en Nicaro de la primera planta de obtención de Níquel a partir de las lateritas. El motivo de la construcción de la fábrica fue el aumento de la demanda del Níquel como metal estratégico para la Segunda Guerra Mundial (S.G.M). La puesta en marcha y la primera producción de óxido de Níquel se produjo en diciembre de 1943.

Al terminar la S.G.M., al bajar el precio del Níquel, la planta fue cerrada en marzo de 1947.

Al producirse la guerra en Corea en 1951, se rehabilitó la planta y reinició su operación en 1952.

En los años 1955 a 1956, la planta fue ampliada un 75 % la capacidad inicial de diseño, para hacer la operación económicamente atractiva.

En Septiembre de 1960 la planta es nacionalizada, pasando a manos del estado cubano a partir de 1976 se inició un proceso de rehabilitación tecnológico general de la planta, con el objetivo de efectuar la reparación y modernización total de los equipos fundamentales.



En el año 1977 se efectúan una serie de estudios en laboratorios de un centro de investigaciones en La Habana, para definir una tecnología para la separación del Cobalto. Los resultados se aplicaron en pruebas a escala piloto en Nicaro para construir luego una planta demostrativa y construir una planta de separación a escala industrial.

En 1981 se adquiere una nueva unidad de molienda (la Nro. 7).

En 1982 la planta alcanza la mayor producción de su historia.

A partir de 1983 se comienza la separación del Cobalto con una instalación provisional diseñada y construida en Nicaro.

En junio de 1988 entra en operación una Nueva Planta de Molienda que sustituye totalmente a la antigua planta, quedando de ella en operación sólo. La Unidad Nro. 7, junto a las 2 nuevas unidades de tecnología de doble cámara de molienda.

En 1996 se comienza a aplicar petróleo aditivo al mineral en la Planta de Preparación de Mineral, posterior al secado y antes de la molienda, con lo cual se hace posible eliminar la Planta de Gas para el gas reductor de los hornos de reducción.

También en 1996 se moderniza completamente la Planta de Hornos quedando sólo 11 hornos de los 22 que existían, a los cuales se les aplica la tecnología de avanzada PRIOR. Paralelamente se le moderniza el sistema de transporte neumático desde Silos a las tolvas de los hornos.

Como se evidencia en lo anteriormente descrito, a lo largo de la historia de la fábrica, se ha efectuado un trabajo de ampliación, rehabilitación y modernización, introduciéndose en ella los logros de la ciencia y la técnica.

1.3- Descripción del flujo tecnológico de la planta de preparación de mineral

En la planta de preparación de mineral es donde se inicia el proceso de preparación del material de la fábrica, según la tecnología carbonato amoniaco. El mineral llega al depósito desde la mina de pinares de Mayarí. Por medio de las cuatro grúas indias el mineral es arrojado a los alimentadores móviles. De los alimentadores móviles es transportado por medio de las correas A y B hasta la



trituradora. Luego por medio de las correas A2 y correas B2 pasa a los machetes que son alimentados por la correas A3 y correas B3 hasta los alimentadores. Por medio de las correas A4 y correas B4 se alimenta el depósito interior. Los alimentadores alistan a los secadores, que está formado por cámara de paso de combustión, botella y tambor secador. La misma descarga a las correas calientes CC1 y CD1, por medio de los elevadores C y D se alimenta la tolva inicial. La tolva inicial descarga a la cinta dosificadora y esta a la cinta alimentadora del molino, El mineral penetra al molino de bolas a través de la boquilla de alimentación y se reduce su tamaño por la acción de la carga de bolas y el revestimiento. El mineral molido sale por el dispositivo de descarga incorporado con este fin, ayudado por la acción del barrido de aire que acelera el paso de las partículas molidas a través del molino.

La molienda se produce de forma combinada por percusión y aplastamiento en régimen de catarata y por fricción y aplastamiento en régimen de cascada. Los molinos descargan en el depósito desde donde sale a los silos.

1.3.1- Planta de Preparación de Mineral

Para el secado del mineral en esta planta se emplean los tambores rotatorios. Los secadores son cilindros alargados formados por una cámara de combustión (donde se producen los gases calientes que secan el mineral), y un cilindro (donde el mineral recibirá el proceso de secado).

El mineral es recepcionado en el depósito donde es homogeneizado y posteriormente dosificado al proceso de secado para lo cual se cuenta con 4 grúas indias y 3 alimentadores móviles. El mineral es llevado por transportadores de banda hasta la sección de secado después de pasar una etapa de trituración gruesa hasta < 100 mm en 2 trituradoras de rodillos dentados.

En la sección de secado hay instalados 7 secadores de tambor rotatorio. Los gases para el secado son suministrados por la combustión del petróleo en la cámara de combustión de cada uno de ellos.

El mineral secado es llevado por medio de transportadores de bandas y elevadores de cubos a la tolva de recepción de la sección de molienda.



La molienda se efectúa en 2 molinos de bolas de doble cámara de molienda, y un molino cilíndrico de extremos cónicos con una etapa inicial de trituración primaria en molino de martillos.

El producto final de la molienda y el polvo de colección primaria y secundaria es enviado a los silos de planta de hornos por medio de bombas neumáticas.

Productos intermedios de cada área.

Depósito exterior

En el área del Depósito exterior las grúas deben suministrar un producto homogeneizado en las proporciones antes especificadas con una humedad $< 37\%$. A la salida de los alimentadores móviles el mineral debe tener una granulometría $< 400\text{ mm}$. Después de las trituradoras de rodillos el mineral debe tener una granulometría $< 100\text{ mm}$. Este es el mineral que se suministra a secadores.

1.3.2- Generalidades de los secaderos de cilindros rotatorios

Según lo establecido en el (Manual de operaciones de la planta de preparación de mineral, 2009), estos equipos no son más que cilindros alargados formados por una cámara de combustión donde se producen los gases calientes que van a secar el mineral, y por el cilindro donde el mineral recibirá el proceso de secado. Estos tambores pueden ser cortos (hasta ocho metros) y largos (mayores de ocho metros) y poseen en su interior elementos levantadores que son los encargados de permitir la transferencia de calor entre gas caliente y el mineral, además el tambor secador posee un sistema motriz, acoplado al cuerpo de este, que le permite rotar alrededor de su eje.

El tambor secador exteriormente se apoya en dos llantas que posee sobre dos pares de rodillo.

Internamente el secadero esta formado cerca de la cámara de combustión por unas guías o deflectores soldados al cuerpo del tambor que son los que dirigen el mineral hacia el interior de la parte cilíndrica del tambor.



En esta parte cilíndrica existen otros elementos llamados levantadores de mineral, también soldados al cuerpo del tambor que se encarga de permitir el contacto gases-mineral y con ello el proceso de secado. Como se observa estos levantadores dividen al tambor en seis partes, lo que permite que se favorezca el secado por lo siguiente:

- ✓ Permite que la carga alimentada al secadero sea repartida uniformemente en el interior del mismo.
- ✓ Evitar sobrecargar unos levantadores más que otros, lo que conllevan a la formación de cortinas de mineral, uniformes durante la caída del mismo debido a la rotación del tambor.
- ✓ Posibilita un mayor contacto y por ello una mayor evaporación de la humedad que trae el mineral.
- ✓ Permite que debido a la uniformidad de la carga, el motor trabaje más establemente y se requiera menor potencia para mover el secadero.

En los secadores se reduce la humedad del mineral desde 37 % a $< 4,5$ % y se suministra a molienda. El polvo fino de la colección de polvo y limpieza de gases se deposita en la tolva de producto final con granulometría $< 0,074$ mm.

El tambor secador posee un sistema motriz, acoplado al cuerpo de este, que le permite rotar alrededor de su eje. El mismo se apoya exteriormente en dos llantas que posee sobre dos pares de rodillo. Internamente el secador está formado, cerca de la cámara de combustión, por unas guías o deflectores soldados al cuerpo del tambor que son los que dirigen el mineral hacia el interior de la parte cilíndrica.

En esta parte cilíndrica existen levantadores de mineral, estos están soldados al cuerpo del tambor y son los encargados de permitir la transferencia de calor entre el gas caliente y el mineral y con ello el proceso de secado.

Estos levantadores dividen al tambor en 6 partes, lo que favorece el proceso de secado porque:



Permite que la carga alimentada al tambor sea repartida uniformemente en el interior del mismo.

Evita sobrecargar un levantador más que otros, provocando la formación de cortinas de mineral uniformes durante la caída del mismo, debido a la rotación del tambor.

Posibilita un mayor contacto entre los gases calientes - mineral y una mayor evaporación de la humedad que trae el mineral.

Permite que el motor trabaje más establemente y se requiera de menor potencia para mover el secador, debido a la uniformidad de la carga.

En la construcción de las instalaciones internas de los secadores cilíndricos se tiene en cuenta el grosor, la densidad y las propiedades de dispersión del material sometido al secado, además de garantizar la distribución uniforme de este en la sección transversal del cilindro.

Existen diferentes formas de construir los elementos interiores del secador.

- ✓ Sectoriales,
- ✓ Periféricos,
- ✓ En forma de cruz,
- ✓ Sectoriales con anillos interiores.

En el secado del mineral laterítico en las Empresas del Níquel actualmente se utilizan los levantadores sectoriales, estos se emplean fundamentalmente cuando el material tratado no puede caer desde una altura muy elevada y pueda quebrarse, además de dividir en varias porciones el producto alimentado para facilitar la transferencia de calor entre las partículas.

Para el tratamiento del mineral laterítico se recomienda utilizar levantadores periféricos, la laterita puede dejarse caer desde una altura elevada sin que se produzcan hendiduras en los granos, además mientras mayor es la altura de vuelo de las partículas se favorece el proceso de transferencia de calor y masa y ayuda a romper los pelets que se forman debido a que en la medida en que se va



secando el producto se incrementa la fuerza de atracción entre las partículas sólidas y se produce la aglutinación de estas.

1.3.3- Característica del sistema de molienda

En los molinos se recibe el mineral con tamaños máximos de 100 mm y lo reduce a más de 83 % de la clase $< 0,074$ mm. Este proceso se efectúa directamente en los molinos de bolas de doble cámara de molienda con un circuito cerrado que devuelve al molino el material fuera de especificación. En la Unidad Nro. 7 existe una trituración primaria en molino de martillos que reduce las partículas que entran al molino de bolas a < 3 mm. El molino de bolas da el tamaño final a las partículas en un circuito cerrado de molienda. El producto final de molienda captado en los ciclones y en el sistema de limpieza de gases es entregado a la tolva de recepción del producto final, listo para ser bombeado a los silos de la Planta de Hornos.

Características del producto final.

Humedad: De 4 a 6%.

Fineza: > 83 % de la clase $< 0,074$ mm.

5 % de la clase $> 0,149$ mm.

Clase $< 0,149 > 0,074$ mm el resto.

La composición química es la misma que a la entrada del proceso de preparación.

1.4- Descripción de los elevadores de cangilones

Básicamente un elevador de cangilones es un aparato que se utiliza para el manejo de materiales verticalmente considerados a granel, consiste en un cangilon cuya función es transportar el material, cuenta con una cadena para transmitir la potencia y para que los cangilones puedan ser desplazados. Los elevadores de cangilones continuos tienen la tarea de transportar materiales de gran peso con una velocidad reducida. Todos los elevadores que tienen cargas centrifugas poseen cangilones los cuales toman el mineral de un equipo encargado de su continua alimentación. En la planta de preparación de minerales de la empresa “Comandante René Ramos Latour” de Nicaro, los elevadores de



cangilones están compuestos de 114 cubos o cangilones, un sprock motriz, un tren ceñidor, un sprock de cola, un reductor y un motor de 45kw.

1.5- Generalidades acerca del acero AISI 1045 y su empleo industrial

Se llaman aceros de construcción a aquellos que se emplean para la fabricación de elementos de máquinas, estructuras y construcciones. El contenido de carbono en este grupo de aceros comúnmente no supera el 0,5-0,6%. El acero de construcción debe poseer alta resistencia, plasticidad y viscosidad en combinación con excelentes propiedades de ingeniería. El acero debe elaborarse fácilmente por presión (laminado, forjado, estampado) y por corte y baja tendencia a las deformaciones y formaciones de grietas durante el temple (Lajtin, 1985; Sabinet, 2005).

El empleo industrial de este material en nuestro país es muy difundido, porque tiene amplia aplicación, el mismo presenta, una fácil maquinabilidad, es un acero muy dúctil, forjable, alcanzando valores de dureza de 56-58 HRC, cuando se somete a proceso de temple, es un acero medio de contenido carbono, su producción es nacional el cual requiere de un valor mínimo de costo de producción. Por consiguiente, este es un material adecuado para ejes, pasadores, tornillos (Bengton, 1991).

En nuestro país se conocen reportes de estudios sobre el tema desde hace aproximadamente 30 años en el Departamento de Construcción de Maquinaria de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Oriente en el Departamento de Procesos Tecnológicos de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Las Villas se acometieron las primeras acciones hace 25 años. Se obtuvieron resultados preliminares del orden teórico-experimental y también a escala industrial reducida, desarrollándose incluso el herramental necesario. En toda esta etapa los resultados obtenidos fueron fragmentados y no tuvieron la sistematicidad necesaria. (Díaz, 2002; Mallo, 1987).

1.6- Composición química del acero AISI 1045

La composición química estándar del acero AISI 1045 editada por la American Society for Metals, muestra la designación adoptada por la AISI y SAE, las cuales



a su vez, coinciden con el sistema de numeración Unified Numbering System–UNS, de la American Society for testing Materials – ASTM y la SAE, se refleja a continuación en la tabla 1.1.

Tabla 1.1. Composición química estándar del acero AISI 1045.

Carbono: es el ingrediente fundamental en el acero, ejerce una gran influencia sobre las propiedades físicas y mecánicas del acero. Eleva su resistencia, dureza y templabilidad. El aumento del carbono en el conformado por rodadura eleva de forma creciente una resistencia al desgaste.

Cromo: la adición del elemento cromo origina la formación de diversos carburos de cromo que son muy duros; sin embargo, el acero resultante es más dúctil que un acero de la misma dureza producido simplemente al incrementar su contenido

C%	Si%	Mn%	Cr%	Mo%	Ni%
0,45	0,25	0,65	0,40	0,10	0,40

de carbono. La adición de cromo amplía el

intervalo crítico de temperatura.

Níquel: amplía el nivel crítico de temperatura, no forma carburos u óxidos. Esto aumenta la resistencia sin disminuir la ductilidad. El cromo se utiliza con frecuencia junto con el níquel para obtener la tenacidad y ductilidad proporcionadas por el níquel, y la resistencia al desgaste y la dureza que aporta el cromo. En la deformación en frío aumenta la resistencia y conformabilidad del acero.

Manganeso: el manganeso se adiciona a todos los aceros como agente de desoxidación y desulfuración, pero si el contenido de manganeso es superior al 1%, el acero se clasifica como un acero aleado al manganeso. Reduce el intervalo crítico de temperaturas.

Silicio: eleva la resistencia, la elasticidad y la conductividad magnética del acero. Un elevado contenido de silicio en el acero dificulta la conformación del acero. En los aceros al carbono no debe exceder de 0,3 a 0,4.

Molibdeno: el molibdeno forma carburos y también se disuelve en ferrita hasta cierto punto, de modo que intensifica su dureza y la tenacidad. El molibdeno baja sustancialmente el punto de transformación. Debido a esto, el molibdeno es de lo



más eficaz para impartir propiedades deseables de templabilidad en aceite o en aire.

Azufre: forma con el hierro combinaciones químicas, sulfuros de hierro, que hacen que el acero calentado al rojo sea quebradizo. Este elemento es perjudicial en el proceso de tratamiento térmico, el mismo se disuelve en el hierro, no obstante en el conformado en frío no hay elevadas temperaturas que provoque una alteración en la formación de fase.

El fósforo: se encuentra siempre disuelto en los granos de ferrita a los que comunica gran fragilidad. Es un elemento perjudicial porque reduce considerablemente la tenacidad y origina fragilidad en frío.

El cobre: ofrece una elevada conductividad del calor, y aporta al acero ductilidad, introduce resistencia a la corrosión. En el trabajo en frío eleva la resistencia y dureza del acero y en proporciones inferiores a 0,5, aumenta también su conformabilidad.

Como se aprecia en la bibliografía consultada, está relacionada la influencia de los elementos de aleación con las propiedades mecánicas y funcionales del acero AISI 1045. Es significativo el papel que tiene el manganeso (en el rango de 0,65 a 0,90 %) conjuntamente con el carbono en el incremento de la resistencia mecánica, particularmente la resistencia a la dureza, al igual que la capacidad de endurecimiento por rodadura; las cuales constituyen las propiedades que se quieren obtener en las piezas que se fabrican con este material.

1.7- Estado tensional y deformacional

Caraballo (2006) plantea que las tensiones son resultado de la interacción de las partículas del cuerpo, la cual aparece durante su carga con fuerzas exteriores, tales fuerzas tratan de cambiar la posición de las partículas del cuerpo o provocar su desplazamiento, fenómeno que es contrarrestado por las tensiones que surgen en dicho cuerpo. Estas tensiones en un mismo punto serán, por regla general, diferentes en las distintas direcciones, y solamente en algunos casos de carga pueden ser iguales.

Analizando la tensión de un punto A de un cuerpo cargado, referidos a los planos pequeños perteneciente a dos partes diferentes del cuerpo dividido por la sección I-I que pasa por el punto tenemos que si bajo la acción de las cargas exteriores:

1. Los planos tratan de separarse uno del otro o acercarse, entre ellos surgen correspondientemente las tensiones normales σ de tracción o compresión.
2. Los planos tratan de desplazarse uno con respecto al otro, en ellos surgen las tensiones tangenciales τ
3. Uno de los planos trata de alejarse del otro, manteniéndose paralelo a éste en cualquier dirección arbitraria, en tal plano surgen simultáneamente tanto las tensiones normales σ como tangenciales τ , y su resultante será la tensión p , cuyo vector coincide con esta dirección.

Podemos definir al estado tensional de un punto ETP a todos los valores de tensiones normales y tangenciales que corresponden a los diferentes planos que pueden pasar por dicho punto.

Separando un volumen elemental del material en el contorno del punto analizado en el cuerpo sometido a carga, en los planos que delimita a dicho elemento surgen tanto tensiones normales como tangenciales:

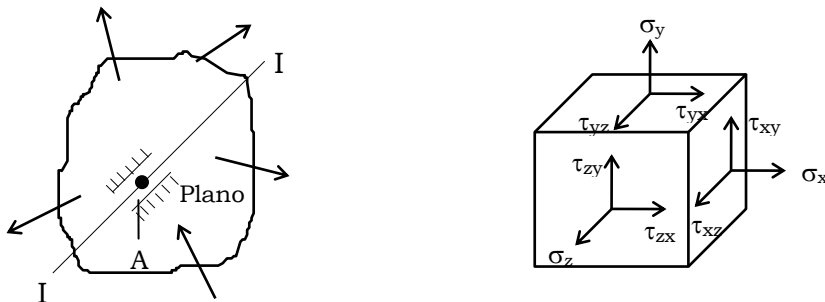


Figura 1.5 Esquema de tensiones en un plano y en un cuerpo.

1.7.1- Solicitaciones mecánicas

Torsión:

Las tensiones son resultado de la interacción de las partículas del cuerpo, la cual aparece durante su carga con fuerzas exteriores, tales fuerzas tratan de cambiar la posición de las partículas del cuerpo o provocar su desplazamiento, fenómeno que es contrarrestado por las tensiones que surgen en dicho cuerpo. Estas tensiones en un mismo punto serán, por

regla general, diferentes en las distintas direcciones, y solamente en algunos casos de carga pueden ser iguales (Caraballo 2006).

El estado tensional de la torsión es caracterizado por la presencia en la sección transversal de la barra, del momento torsional $M_z = M_{tor}$ como único esfuerzo interno; es decir, es el momento que actúa en el plano de la sección transversal de la barra (las demás componentes de las fuerzas interiores son nulas). Una barra está sometida a torsión, si en sus secciones transversales surgen momentos torsores, es decir, momentos que se encuentran en el plano de la sección. La barra que trabaja a torsión se llama árbol. Generalmente estos momentos torsores interiores son consecuencia de momentos exteriores que se transmiten al árbol en lugares donde se colocan poleas, ruedas dentadas, etc. (Ver Figura), (Caraballo 2006).

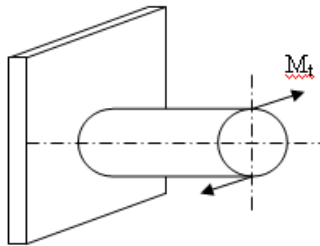
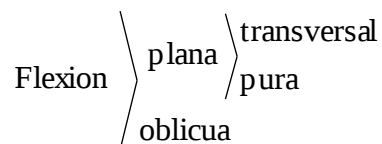


Figura 1.6 Esquema de cuerpo cilíndrico sometido a torsión.

Flexión:

Muy a menudo la barra se somete a la acción de una carga transversal o a la de pares exteriores, cuyo plano de acción pasa por el eje de la barra (como por ejemplo la viga mostrada en la Figura 1). En sus secciones transversales aparecen momentos flectores, es decir momentos interiores que actúan en un plano perpendicular al de la sección transversal de la barra. Cuando actúa este tipo de carga el eje de la barra se encorva. Este tipo de sollicitación se denomina **flexión**.

Esta a su vez se clasifica en:



Las barras que trabajan principalmente a flexión se denominan comúnmente vigas.

La flexión plana se denomina pura, si el momento flector es el único esfuerzo interno que surge en la sección transversal de la barra.

Con mayor frecuencia, en las secciones transversales de la barra simultáneamente al momento flector, aparecen también fuerzas cortantes, en este caso se denomina flexión plana transversal.

El diseño de una viga consiste esencialmente en seleccionar la sección transversal que proporcione la resistencia más efectiva a la cizalladura y a la flexión producida por las cargas aplicadas.

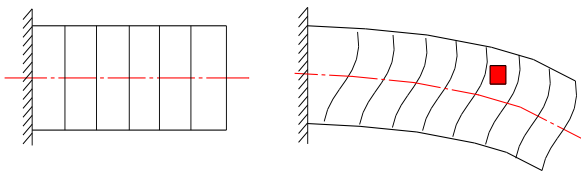


Figura 1.7 Viga flexionada

1.8- Principios generales del análisis de procesos mediante la simulación

La combinación de la computadora y los software profesionales conforman la simulación digital, que es una herramienta capaz de solucionar sistemas compuestos por numerosas variables, ecuaciones y parámetros de equipos. Actualmente se han obtenido experiencias útiles en la aplicación de estas técnicas con programas tales como: ANSYS, COSMOS DESIGN y MATLAB. La simulación presupone el conocimiento del comportamiento de los elementos del sistema y se utiliza cuando no es posible, o al menos no es económico, estudiar el sistema real directamente.

Simulación: es el estudio de un sistema mediante un modelo. Si se refiere a un modelo matemático se tendrá la simulación matemática, en general, es el estudio de un sistema, o parte de dicho sistema, mediante el trabajo del modelo matemático o del modelo físico.

Modelo matemático: es una representación simplificada de los aspectos del proceso real que está siendo investigado en términos de ecuaciones matemáticas u otras formulaciones de esta naturaleza que permiten llegar a resultados cuantitativos precisos.



Para construir un modelo matemático que represente el proceso bajo estudio se hace uso de los principios físicos y químicos así como de otras relaciones no fundamentales basadas en la experimentación para obtener las ecuaciones que constituyen el modelo. Estas ecuaciones son luego trabajadas para predecir qué efecto se logrará sobre el proceso al tomar los valores deseados en las variables de interés.

Para obtener el modelo matemático que represente el proceso que está siendo investigado es necesario seguir una trayectoria bien definida y desglosada en diferentes pasos adecuadamente ordenados los cuales constituyan un enfoque lógico y consistente. El tipo de estructura matemática se utilizará acorde al nivel de detalles del proceso que se representa, y debe ser el resultado de un compromiso entre la complejidad que tenga dicha descripción matemática al abarcar numerosos detalles del proceso y la simplicidad matemática requerida para un fácil y adecuado trabajo del modelo en su aplicación.

1.8.1- Método de Elementos Finitos aplicados a problemas ingenieriles

El desarrollo y éxito del método de Elementos Finitos se expande con el creciente desempeño de las computadoras digitales. En la antigüedad ya se habían empleado los “Elementos Finitos” para determinar un valor aproximado de π . Arquímedes usó ideas similares para determinar el área de figuras planas. Este hecho dio una premisa para el desarrollo del cálculo integral por Newton y Leibniz dos mil años después.

Walter Ritz (1878–1909), físico suizo fue el primero en formalizar el método de Elementos Finitos. Él propuso que las frecuencias de las líneas espectrales de los átomos podían ser expresadas por diferencias entre un relativamente pequeño número de “elementos”. Ritz desarrolló la formulación matemática del método de Elementos Finitos, con base en el cálculo variacional. El método de Ritz es también conocido como variacional o formulación clásica.

La incorporación del cálculo matricial al método de Elementos Finitos fue propuesta por el ingeniero ruso Boris G. Galerkin (1871-1945). Galerkin publicó sus primeros trabajos en base al método clásico durante su prisión en 1906 por



orden del zar en la Rusia prerrevolucionaria. En muchos textos rusos el método de Elementos Finitos de Gallerkin se conoce como método de Bubnov-Gallerkin. Él publicó un trabajo usando esta idea en 1915. El método también fue atribuido a Bubnov en 1913.

La aplicabilidad del método de Elementos Finitos fue detenida por lo extenso de los cálculos necesarios para resolver un sistema de un considerable número de elementos finitos. El desarrollo de los ordenadores digitales durante la década de 1950, permitió la aplicación del método de elementos finitos a la solución de ecuaciones diferenciales.

El método de elementos finitos es una herramienta general para la solución de problemas de contorno gobernados por ecuaciones diferenciales ordinarias o parciales. En esencia se trata de una técnica que sustituye el problema diferencial por otro algebraico, aproximadamente equivalente, para el cual se conocen técnicas generales de resolución. Para ello hace uso de la "discretización" o subdivisión de una región sobre la cual están definidas las ecuaciones en formas geométricas simples denominadas elementos finitos. Las propiedades materiales y relaciones gobernantes en estos elementos se expresan en función de los valores desconocidos en las "esquinas" de los elementos o nodos. (Ingham y Moreland, 1993).

Una de las ventajas de este método es su facilidad de implementación en un programa computacional, que a su vez es una condición básica para su utilización ya que para el tratamiento de un problema en particular debe efectuarse un número muy elevado de operaciones para resolver sistemas algebraicos del orden de cientos o miles de ecuaciones. No obstante, esta cantidad no es una limitación con las computadoras estándar de hoy. (Ingham y Moreland, 1993).

Las ideas básicas de este método se originaron en avances en el análisis estructural de la industria aeronáutica en la década del '50. En la década del '60 el método fue generalizado para la solución aproximada de problemas de análisis de tensión, flujo de fluidos y transferencia de calor. El primer libro sobre elementos finitos fue publicado en 1967 por Zienkiewicz y Cheung (Cortínez 2006). En la



década del '70 el método fue extendido al análisis de problemas no lineales de la mecánica del continuo (Girón 2006). Hoy el método permite resolver prácticamente cualquier situación física que pueda formularse mediante un sistema de ecuaciones diferenciales.

1.9- Conclusiones del capítulo

1. Se estableció el estado del arte de las asas del elevador de cangilones de la planta: Preparación de mineral de la empresa “Comandante René Ramos Latour”.
2. Se realizó una búsqueda de información exhaustiva fundamentando las propiedades y características del material, se explicó el funcionamiento de cada elemento que lo integra.
3. Se expuso un resumen de las principales características del MEF para resolver problemas de ingeniería.

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1- Introducción

La metalografía es el estudio de las características estructurales o de constitución de un metal o una aleación, para relacionar ésta con las propiedades físicas y mecánicas. Sin duda la parte más importante de la metalografía es el examen microscópico de una probeta adecuadamente preparada. Tales estudios proporcionan una abundante información sobre la constitución del metal o aleación investigada.

En la proyección, diseño y explotación de los elevadores de cangilones de la planta de preparación de minerales de la empresa René Ramos Latour, la realización de experimentos metalográficos. Esta técnica ha sido siempre una potente herramienta para el tratamiento, verificación de hipótesis y la solución a los problemas de averías en elementos y equipamientos industriales.

Como **objetivo** de este capítulo se plantea: Fundamentar las propiedades a investigar y explicar los métodos, procedimientos y condiciones experimentales para la solución del problema.

2.2- Fundamentación de las propiedades a investigar

Las fallas de equipos que operan a temperaturas elevadas constituyen uno de los principales análisis de estudios de la industria niquelífera del país, por las grandes pérdidas económicas y los negativos efectos sociales que implican. En este caso, se requiere de un análisis más completo, ya que las temperaturas y el tiempo afectan la durabilidad de los mismos bajo la acción de los esfuerzos.

Sin embargo, un análisis del tiempo de rotura o falla no está completo sin los consiguientes criterios metalográficos para establecer el mecanismo de la falla inicial, para ello es necesario una apropiada manipulación y selección de las muestras.

Las roturas en las asa son de constante preocupación debido a las considerables pérdidas económicas y efectos secundarios que implican; por lo que se hace necesario definir las regularidades del comportamiento mecánico

de los mismos. Dichas regularidades se caracterizan por rasgos peculiares de la aleación, el medio corrosivo en el que se encuentra y la variación de dureza producto a elevadas temperaturas.

Lo expuesto trae consigo el empleo de técnicas de ensayos para identificar el carácter de la rotura en las asa. Para ello se planificaron los experimentos y cálculos siguientes:

2.3- Selección y preparación de muestras para el análisis microestructural.

En la preparación metalográfica se realiza un conjunto de operaciones, siguiendo las normas NC 10-56:86 y ASTM E3-95, las cuales se resumen en el orden siguiente:

1. Selección de la muestra.
2. Toma o corte de la muestra.
3. Preparación de la muestra.
4. Análisis químico.
5. Ataque químico de la muestra.
6. Análisis microscópico.
7. Obtención de microfotografías

2.3.1- Selección de las muestras

La selección de las muestras para realizar el análisis microestructural es de gran importancia, se debe garantizar una probeta representativa del material a examinar en el microscopio. Se procura que las probetas seleccionadas tengan las mismas características del metal estudiado y ser útiles para el ensayo propuesto.

Según el informe técnico sobre las averías ocurridas en los elevadores de cangilones de la planta de preparación de minerales de la empresa René Ramos Latour, las roturas más frecuentes en los levadores han sido ubicadas en zonas de tramos donde existen contacto entre las asas y la cadena, por lo

que las muestras que se tomaron proceden de estas áreas y lo más cercano posible a la superficie de fractura.

2.3.2- Corte de las probetas

La operación de corte de la probeta se realiza con sierra mecánica o sinfín mecánico, con refrigeración constante para evitar el calentamiento producido por la fricción durante el proceso y que pudiera provocar transformaciones en la estructura por cambios de fase. Las probetas fueron normadas según norma ASTM E 646 – 00.

2.3.3- Desbaste de las muestras

El desbaste de las muestras se efectúa sobre papeles abrasivos de diferentes grados, colocados sobre discos giratorios. Al pasar de un abrasivo a otro, debe girarse la probeta 90 grados y desbastar hasta que se borren por completo las huellas del abrasivo anterior, teniendo siempre el cuidado de lavar la probeta con agua abundante. Se aconseja pasar la probeta por toda la serie de abrasivos: 150, 160, 240, 320, 400, 600, 1000, pues eliminar algún abrasivo retarda la operación en vez de acelerarla.

Conviene emplear un papel nuevo para cada probeta, los papeles usados se emplean para finalidades específicas porque sus partículas abrasivas desgastadas tienden a producir distorsión del metal superficial. También debe tenerse en cuenta que la superficie opuesta de la probeta debe ser paralela para facilitar el soporte en el microscopio.

Al final del desbaste, deben lavarse con agua abundante tanto las probetas como las manos del operador para evitar que las partículas del abrasivo o del metal en la etapa del desbaste pasen a la pulidora lo cual los haría inservibles.

2.3.4- Pulido de las muestras

Kehl (1994), plantea que el pulido de una probeta metalográfica tiene por objeto eliminar de su superficie las rayas finas producidas en la última operación de desbaste y conseguir una superficie sin rayas y con alto pulimento.

Para el proceso de pulido se emplea la pulidora metalográfica de marca Metasinx (checa), la cual está ubicada en el laboratorio de Control de Metales de la UEB EMCE Felton, para lograr el acabado final, en el proceso se utilizó un paño de fieltro grueso usando como sustancia abrasiva el óxido de cromo (Pasta GOI). A continuación se muestran las probetas tomadas del metal del elevador (figura 2.1), se eligieron teniendo en cuenta la zona normal del asa y la zona donde ha tenido lugar una avería.



Figura 2.1. Probetas de las asas sin avería y averiadas.

2.3.5- Limpieza, lavado y secado de las probetas antes del ataque químico

Después de la adecuada preparación de las superficies, las probetas se lavan con acetona 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 (Kehl, 1994) y se secan con papel de filtro.

2.4. Ataque químico de las muestras seleccionadas

Inmediatamente después de limpiar las superficies a investigar, se procede a realizar el ataque por inmersión de las muestras durante 5 segundos con el reactivo nital, al cuatro por ciento (mezcla de cinco ml de ácido nítrico (HNO_3) diluido en 95 ml de alcohol), según normas cubanas de ensayo de materiales 04-61/1984. Después de atacadas, las superficies de las muestras se lavan con agua destilada y posteriormente con alcohol, para finalmente secarlas en aire caliente.

2.5. Análisis microestructural por el método de examen microscópico

El análisis metalográfico se realizó según los procedimientos establecidos en las normas NC 10-56:86 y ASTM E3-95. Se procedió a la selección y preparación de muestras y ataque químico de las superficies a investigar. Se aplicaron técnicas de microscopía óptica (MO) con un microscopio óptico NOVEL modelo NIM - 100 de magnificación hasta 800X y cámara de video acoplada y tensión de aceleración entre 10 y 20 kv.



Figura 2.2. Microscopio Óptico NOVEL modelo Nj-120A.

La observación de la superficie a analizar es necesario fotografiarla para procesar la información. La observación microscópica permite reconocer la presencia de inclusiones no metálicas como sulfuros, silicatos, aluminatos, óxidos, microporosidades, microgrietas y grafito.

2.6- Propiedades de los aceros empleados en las asas

La Tabla 2.1 y 2.2 presentan las propiedades físicas a temperatura ambiente, para los aceros AISI 1040 y AISI 1030 según Materiales (1996), Key to Steel (2002). Las propiedades físicas pueden variar ligeramente con la forma y el tamaño del producto, pero tales variaciones no suelen ser de importancia crítica para su aplicación.

Tabla 2.1 Propiedades físicas del AISI 1040.

Densidad	[kg/dm ³]	8,56
Módulo de dilatación	[10 ⁻⁵ °C ⁻¹]	17,2
Módulo de elasticidad longitudinal a 600 °C	[N/mm ²]	160
Módulo de elasticidad transversal	[10 ⁵ kg/cm ²]	9.0
Capacidad de calor específico a 20 °C	[J/(kg.°C)]	550
Punto fusión	°C	1 392 – 1 432
Coeficiente de Poisson	NA	0.4
Conductividad térmica	W/m°K	[100 °C] → 19
Coeficiente de expansión térmica	[10 ⁻⁶ °C ⁻¹]	[0/100°C] → 18,02

Tabla 2.2. Propiedades físicas del AISI 1035.

Densidad	[kg/dm ³]	8.45
Módulo de dilatación	[10 ⁻⁵ °C ⁻¹]	17,0
Módulo de elasticidad longitudinal a 600 °C	[N/mm ²]	150
Módulo de elasticidad transversal	[10 ⁵ kg/cm ²]	8.0
Capacidad de calor específico a 20 °C	[J/(kg.°C)]	540
Punto fusión	°C	1 381 – 1 400
Coeficiente de Poisson	NA	0.3
Conductividad térmica	W/m°K	[100 °C] → 18
		[500 °C] → 23
Coeficiente de expansión térmica	[10 ⁻⁶ °C ⁻¹]	[0/100°C] → 17,02

3.6.1- Propiedades mecánicas de los aceros AISI 1040 y AISI 1035

Según, Key to Steel, (2002) las propiedades mecánicas de este material dependen del tipo de aleación y son función del proceso de fabricación y de los tratamientos superficiales a los que ha sido sometido.

Tabla 2.3. Propiedades mecánicas del acero AISI 1040.

Dureza (Brinell)	Recocido	[HB]	150 – 200
	Trabajo en frío		
Dureza (Rockwell)	Recocido	[HRB]	80 – 95
	Trabajo en frío	[HRC]	
Resistencia a la tracción	Recocido	R _m (N/mm ²)	600 – 700
	Trabajo en frío		
Límite elástico	Recocido	R _p (N/mm ²)	210 – 421
	Trabajo en frío		
Elongación en 50 mm	Recocido	[%]	66
	Trabajo en frío		
Resistencia al impacto		k _{cu} l(J/cm ²)	170
		k _{vy} l(J/cm ²)	190

Tabla 2.3 Propiedades mecánicas del acero AISI 1030(Key to Steel, 2002)

Dureza (Brinell)	Recocido	[HB]	140 – 290
	Trabajo en frío		
Dureza (Rockwell)	Recocido	[HRB]	76– 93
	Trabajo en frío	[HRC]	
Resistencia a la tracción	Recocido	R_m (N/mm ²)	595 – 650
	Trabajo en frío		
Límite elástico	Recocido	R_p (N/mm ²)	200 – 400
	Trabajo en frío		
Elongación en 40 mm	Recocido	[%]	65
	Trabajo en frío		
Resistencia al impacto		k_{cu} (J/cm ²)	160
		k_{vII} (J/cm ²)	180

2.7- Análisis tenso-deformacional mediante métodos numéricos

Para el análisis tenso-deformacional por el método analítico se tendrá en cuenta que el asa está empotrado en sus extremos y libre en el otro provocando que se flechte, siendo la parte empotrada la más rígida y por ende la más propensa al fallo. Para facilitar el análisis se tomará del asa como una viga rectangular con dos cargas puntal, que generará la flexión en el asa, esto se debe a la fuerza de tracción producida por la cadena (ver figura 2.2).

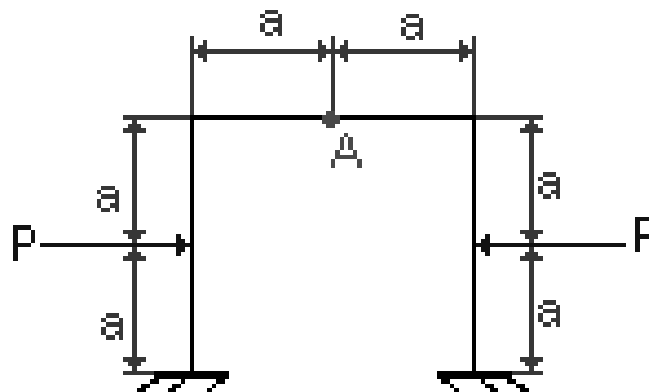


Figura 2.2. Esquema de análisis de las asas.

Primero se determina el grado de hiperestaticidad del pórtico.

$$G = 3c - a$$

2.1

donde:

G: grado de hiperestaticidad del sistema.

c: número de marcos cerrados.

a: número de articulaciones.

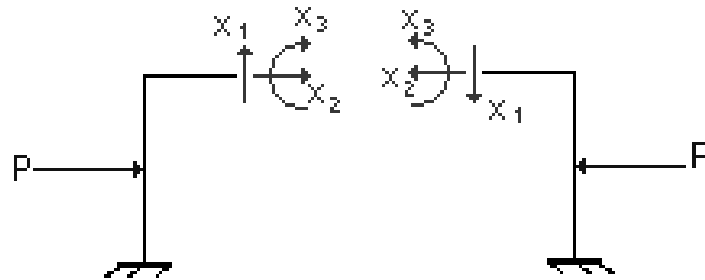


Figura 2.3. Sistema equivalente de las asas.

Las cargas internas asimétricas son las x_1 , por lo que se hacen nulas.

Como el grado de hiperestaticidad de la estructura es tres el sistema de ecuaciones tendrá tres ecuaciones con tres incógnitas.

$$\delta_{11}x_1 + \delta_{12}x_2 + \delta_{13}x_3 + \Delta_{1P} = 0 \quad 2.2$$

$$\delta_{21}x_1 + \delta_{22}x_2 + \delta_{23}x_3 + \Delta_{2P} = 0$$

$$\delta_{31}x_1 + \delta_{32}x_2 + \delta_{33}x_3 + \Delta_{3P} = 0 \quad 2.3$$

2.4

donde:

x_1 , x_2 y x_3 : Son las ligaduras adicionales del sistema

δ_{11} : Desplazamiento producido por x_1 , en dirección de x_1 .

δ_{12} : Desplazamiento producido por x_1 , en dirección de x_2 .

δ_{13} : Desplazamiento producido por x_1 , en dirección de x_3 .

δ_{21} : Desplazamiento producido por x_2 , en dirección de x_1 .

δ_{22} : Desplazamiento producido por x_2 , en dirección de x_2 .

δ_{23} : Desplazamiento producido por x_2 , en dirección de x_3 .

δ_{31} : Desplazamiento producido por x_3 , en dirección de x_1 .

δ_{32} : Desplazamiento producido por x_3 , en dirección de x_2 .

δ_{33} : Desplazamiento producido por x_3 , en dirección de x_3 .

Δ_{1p} : Desplazamiento producido por x_1 , en dirección de la fuerza externa.

En el sistema de ecuaciones canónicas se anulan todos los términos que tienen implícita la incógnita superflua x_1 .

$$\delta_{22}x_2 + \delta_{23}x_3 + \Delta_{2P} = 0 \quad 2.5$$

$$\delta_{32}x_2 + \delta_{33}x_3 + \Delta_{3P} = 0 \quad 2.6$$

Para determinar los desplazamientos se recurre al método de Vereshiaguin.

Primero hay que obtener los gráficos de fuerzas internas para cada carga por separado.

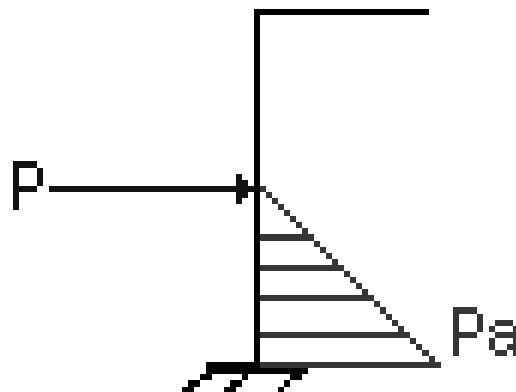


Figura 2.4. Gráfico M_p (Para la carga externa).

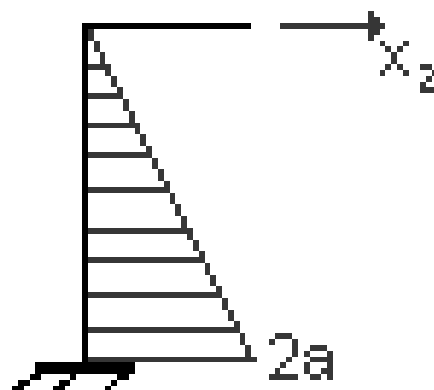


Figura 2.4. Gráfico M_2 (Para la incógnita superflua $x_2=1$).

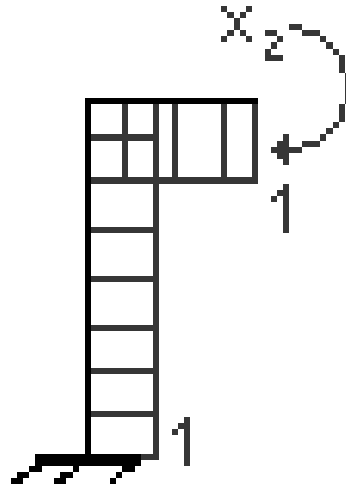


Figura 2.5. Gráfico M_3 (Para la incógnita superflua $x_3=1$).

Si se aplica el método de Vereshaguín y a través de tablas se determinan las ecuaciones de desplazamiento.

$$\delta_{22} = M_2 \times M_2 = \frac{1}{EI} * \frac{hsl}{3} = \frac{8a^3}{3EI} \quad 2.7$$

donde:

E: Modulo de elasticidad; (MPa).

I: Momento de inercia de la sección; (mm^4)

$$\delta_{23} = \delta_{32} = M_2 \times M_3 = \frac{1}{EI} * \frac{hsl}{2} = \frac{2a^2}{EI} \quad 2.8$$

$$\delta_{33} = M_3 \times M_3 = \frac{1}{EI} * (hsl + hsl) = \frac{3a}{EI} \quad 2.9$$

$$\Delta_{2P} = M_2 \times M_P = \frac{1}{EI} * \frac{hl}{6} * (2S_1 + S_2) = \frac{5Pa^3}{6EI} \quad 2.10$$

$$\delta_{3P} = M_3 \times M_P = \frac{1}{EI} * \frac{hsl}{2} = \frac{Pa^2}{2EI} \quad 2.11$$

Al sustituir estos valores en el sistema de ecuaciones canónicas se obtiene:

$$\frac{8a^3}{3EI} \times X_2 + \frac{2a^2}{EI} \times X_3 + \frac{5Pa^3}{6EI} = 0 \quad 2.12$$

$$\frac{2a^2}{EI} \times X_2 + \frac{3a}{EI} \times X_3 + \frac{Pa^2}{2EI} = 0 \quad 2.13$$

A partir de las ecuaciones canónicas se obtienen los valores de las reacciones

$$x_2 = \frac{3}{8} P \quad 2.14$$

$$x_3 = -\frac{5}{12} Pa \quad 2.15$$

Con estos valores se construyen los gráficos reales de fuerzas internas para las incógnitas halladas en el sistema canónico.

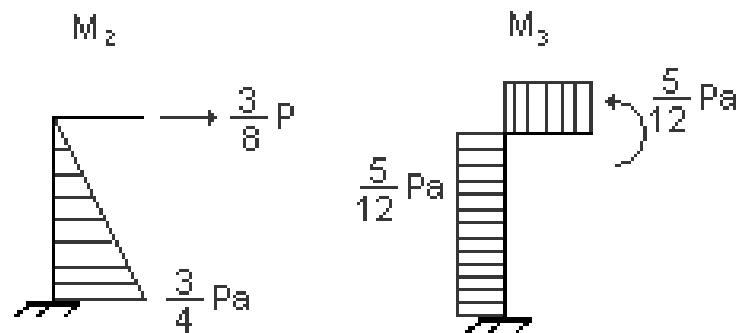


Figura 2.6. Gráficos reales de las fuerzas internas.

Ahora se construye el gráfico total de fuerzas internas en el pórtico. Para ello, en lugar de las reacciones desconocidas deben colocarse los valores obtenidos para ellas del sistema de ecuaciones canónicas y aplicar el método de las secciones. Otra forma de construir el gráfico es sumar el gráfico de fuerzas internas debidas a la carga aplicada a la estructura con los gráficos de las fuerzas x_1 y x_2 , obteniéndose un gráfico como el que se presenta a continuación:

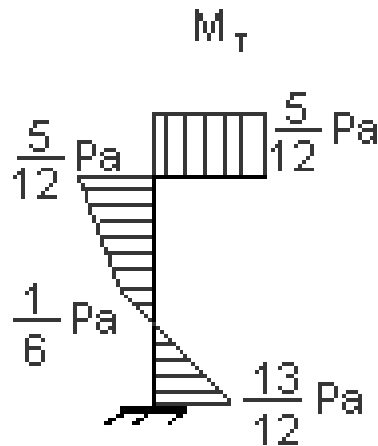


Figura 2.7. Gráfico total de las fuerzas internas.

Esta última expresión permite calcular la tensión normal en cualquier punto de la sección transversal de la viga si se conoce el momento flector y el momento de inercia de la sección.

El gráfico de momento flector por el método de las secciones.

$$\sigma = \frac{Mf}{I} \delta_{máx} \quad 2.16$$

El Momento de inercia para las secciones se determinó por las expresiones siguientes

Para sección rectangular:

$$I = a_r \cdot b_r^3 / 12 \quad 2.17$$

Para sección circular

$$I = 0,1 \cdot d^4 \quad 2.18$$

Donde:

a_r : Lado mayor de la sección; (mm).

b_r : Lado menor de la sección; (mm).

d : Diámetro del asa; (mm).

Para la comprobación de la resistencia se compararan los esfuerzos de tensión máximos con los admisibles.

$$\sigma = \frac{M_f}{I} \delta_{m\acute{a}x} \leq [\sigma] \quad 2.18$$

2.8- Simulación por el Método de Elementos Finitos de la barrilla

El cálculo se realiza empleando el Método de los Elementos Finitos (MEF) con ayuda del paquete de software ANSYS (V.11.0).

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

Esta presentación aproximada de la realidad en forma de un modelo numérico permite la resolución del problema, donde los coeficientes se calculan automáticamente por el ordenador a partir de la geometría y propiedades físicas de cada elemento. Sin embargo queda en manos del usuario decir hasta que punto la discretización utilizada en el modelo representa adecuadamente el modelo de la estructura.

Las variables a tener en cuenta en la simulación del proceso de solidificación son:

1. coeficiente de Poisson,
2. módulo de elasticidad longitudinal,
3. módulo de elasticidad transversal.

2.8.1- Algoritmo para la simulación (ANSYS versión 11.0)

El algoritmo desarrollado por etapas para el análisis que desarrolla el paquete ANSYS fue (ver anexo 3):

Primera etapa: Modelado de tubos de pequeñas dimensiones sometidos a temperatura de fusión.

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



Tercera etapa: Generación del mallado y condensación.

Cuarta etapa: Procesamiento de datos y expansión a través de los diferentes pasos.

2.9- Conclusiones del capítulo

1. Se expuso la metodología de cálculo de resistencia de las asas, las propiedades físicas del material y las condiciones de trabajo.
2. Se estableció el método de elementos finitos así como sus etapas a seguir para la simulación.

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS Y VALORACIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1- Introducción

En el presente capítulo se realizará un análisis de los resultados obtenidos a lo largo del trabajo y se establece un conjunto de criterios y postulados que sustentan las teorías que corroboran la veracidad de la hipótesis planteada como resultado del análisis y el procesamiento de la información obtenida a través de la observación o la realización de los experimentos, los cálculos y las simulaciones. Se realiza además una valoración económica de los costos de reparación de elevador de cangilones, así como el impacto medioambiental que trae consigo la rotura de los mismos.

El objetivo del capítulo es analizar los resultados del desarrollo de este trabajo y la explicación de los fundamentos que dan la solución al problema planteado, así como la valoración económica y el impacto medioambiental.

3.2- Análisis de la composición química

Al analizar la composición química del acero se determinó que la misma se corresponde con la establecida en el epígrafe 2.3 del capítulo II. Se comprueba que las asas rotas fabricadas en la empresa mecánica del níquel pertenecen a un acero del tipo AISI 1035 (tabla 3.1) y las demás corresponden con las asas importadas, las cuales son producidas por una firma de procedencia alemana y son equivalente a un AISI 1040 (tabla 3.2) según lo establecido por la norma AISI – ASTM 1020.

Tabla 3.1. Composición química de las asas producidas en Cuba. AISI 1035.

Muestra	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cb	Al	Co
Cubana	0,37	0,28	0,7	0,01	0,01	0,09	0,07	0,009	0,17	0,12	0,01

Tabla 3.2. Composición química de las asas importadas. AISI 1040.

Muestra	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cb	Al	Ti	Co
Alemana	0,41	0,39	1,29	0,015	0,03	0,15	0,06	0,009	0,21	0,02	0,02	0,01

Se puede observar que aunque existen algunas diferencias mínimas en el porcentaje de sus componentes, estas se encuentran en el rango establecido para la clasificación del acero dentro de los estándares por lo que los mismos pueden ser usados como sustitutos de los empleados con anterioridad.

Pero es bueno agregar que las asas importadas presenta una mejor distribución entre los elementos de aleación, dominados por el manganeso, carbono y silicio:

El **carbono**, hasta contenidos ligeramente superiores a 1,00 % proporciona elevada resistencia mecánica, incrementa la dureza, el límite de fluencia (hasta aproximadamente 350 MPa), la capacidad de endurecimiento y la resistencia al desgaste abrasivo; disminuyendo en contraposición los valores de resistencia al impacto y de la elongación relativa.

Manganeso: el manganeso se agrega a todos los aceros como agente de desoxidación y desulfuración, pero si el contenido de manganeso es superior a 1%, el acero se clasifica como un acero aleado al manganeso. Reduce el intervalo crítico de temperaturas, elemento que inhibe la fragilidad en caliente al formar sulfuro de manganeso (Inchaurza, 1971a).

El porcentaje de carbono analizado en las asas lo ubica en el grupo de los aceros hipoeutectoides que contienen también perlita, pero junto con ella aparecen granos de ferrita libre en cantidad mayor, cuanto menor sea la cantidad de carbono en el acero. Con contenidos de carbono muy pequeños, la estructura resultara exclusivamente ferrita α , según fue reportado por Callister (1999).

3.3- Resultados del análisis metalográfico

Como se muestra en la micrografía de la figura 3.1, se forma una estructura de ferrita y perlita laminar con granos gruesos esto está dado por el tratamiento térmico a la aleación (enfriamiento desde 90 °C), como se observa en la tabla 3.1, esta aleación presenta bajo contenido de manganeso.

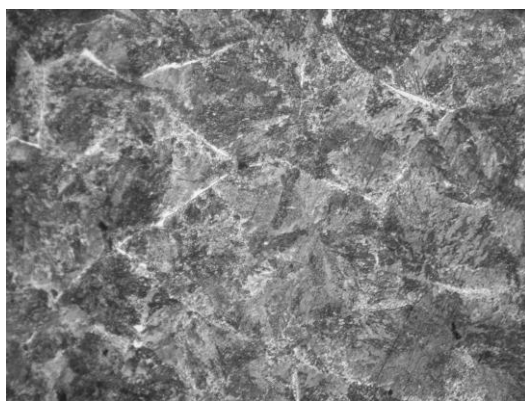


Figura 3.1. Microestructura del asa fabricada en la Empresa Mecánica del Níquel (100 X).

La micrografía mostrada en la figura 3.2 muestra una estructura de ferrita y perlita laminar, sólo que se diferencia a la de la micrografía de la figura 3.1 en el tamaño del grano, es bueno precisar que la causa está dada por el calentamiento hasta 743 °C y el enfriamiento lento.



Figura 3.2. Microestructura del asa fabricada en Alemania (100 X).

Por tanto a pesar que la estructuras similares podemos deducir que el material de las bridas fundidas en el Combinado Mecánico “Gustavo Machin Hoe de Beche” de Moa no es muy favorable para la fabricación de las asas del Elevador de Cangilones.

3.4- Resultados del cálculo de flexión en las asas

Los cálculos se realizaron por el método de expuesto por Craig, (2002). Como se muestra en la tabla 3.3, los valores de esfuerzos normales no exceden los esfuerzos de tensión admisibles en ningunas de los tipos de asas, en la tabla 3.1 se muestran los resultados de los cálculos de resistencia de las asas fabricadas en cuba, si se comparan los resultados de las tabla 3.1 con los de la tabla 3.2 que se corresponden con las asa importadas, se puede apreciar que la diferencias entre los parámetros admisibles y los actuantes es menos acentuada en las asa importada, producto a que estas presentan un mejor acabado superficial y son de sección seme circulares, sin embargo las fabricadas en cuba tienen la sección transversal de manera muy irregular, tendiendo a la cuadrada, lo que favorece a la formación concentradores de tensiones y disminuye su resistencia al impacto.

Tabla 3.3. Resultados de cálculo de flexión en las importadas.

Variables	Símbolos	Valor	Unidad
<i>Esfuerzo normal máximo</i>	$\sigma_{m\acute{a}x}$	74,637	MPa
<i>Esfuerzo normal admisible</i>	$[\sigma]$	410,345	MPa
<i>Flecha máxima</i>	$Y_{m\acute{a}x}$	4,018	mm
<i>Momento flector máximo</i>	Mf	195	N.m
<i>Módulo de la sección a flexión</i>	ω_x	$1,714 \times 10^{-6}$	m^3
<i>Momento de Inercia</i>	I_x	$8,748 \times 10^3$	mm^4
<i>Tensión normal dinámica máxima</i>	$[\sigma_d]$	154,78	MPa

Como se aprecia en la tabla 3.4, la tensión normal dinámica alcanza los 309, 535 MPa, el cual puede ser considerado peligro, debido a que un aumento de los valores de velocidad durante el izaje de los cangilones provoca que las cargas de impacto crezcan bruscamente y por ende las tensiones pueden aumentar y ocasionar la rotura de las asas.

Tabla 3.4. Resultados de cálculo de flexión en las asas producidas en Cuba.

Variables	Símbolos	Valor	Unidad
<i>Esfuerzo normal máximo</i>	$\sigma_{m\acute{a}x}$	149,27	MPa
<i>Esfuerzo normal admisible</i>	$[\sigma]$	427,57	MPa
<i>Flecha máxima</i>	$Y_{m\acute{a}x}$	2,318	mm
<i>Momento flector máximo</i>	Mf	195	N.m
<i>Módulo de la sección a flexión</i>	ω_x	$3,987 \times 10^{-7}$	m^3
<i>Momento de Inercia</i>	I_x	$1,6 \times 10^4$	mm^4
<i>Tensión normal dinámica máxima</i>	$[\sigma_d]$	309,535	MPa

3.5- Resultados de la simulación con el empleo de ANSYS (11.0)

La simulación de las ASAS perteneciente al elevador de cangilones de la planta de preparación de mineral de la empresa “Comandante René Ramos Latour” se realizó

en el programa ANSYS (V.11.0) por el cual se obtuvo los resultados de desplazamientos y tensiones normales provocados por las por las cadenas de tracción que van a originar la flexión en las ASAS.

Se introdujeron a su vez el módulo de elasticidad, coeficiente de poisson y densidad como propiedades físicas del material, se construyó un modelo geométrico a escala real de las asas y se discretizaron con elemento triangulares (20nodos95).

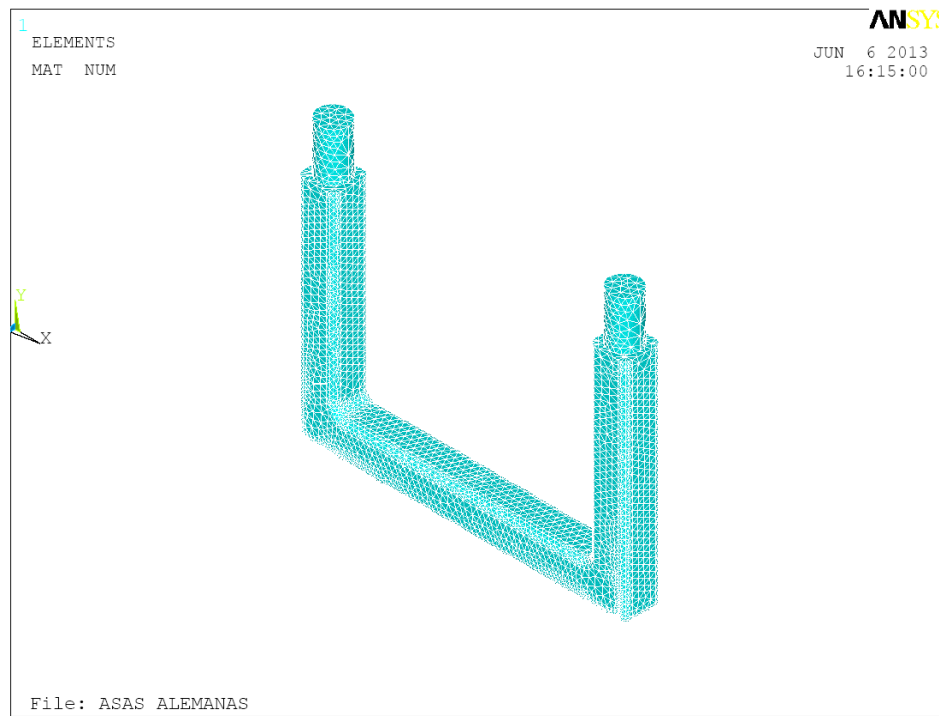


Figura: 3.3. Geometría y mallado del ASA importada.

Como se puede apreciar en la figura 3.4 el asa producida en la empresa mecánica del níquel no tiene una geometría que con muchos ángulos vivos y la distribución de la red de malla en el elemento no es la mejor.

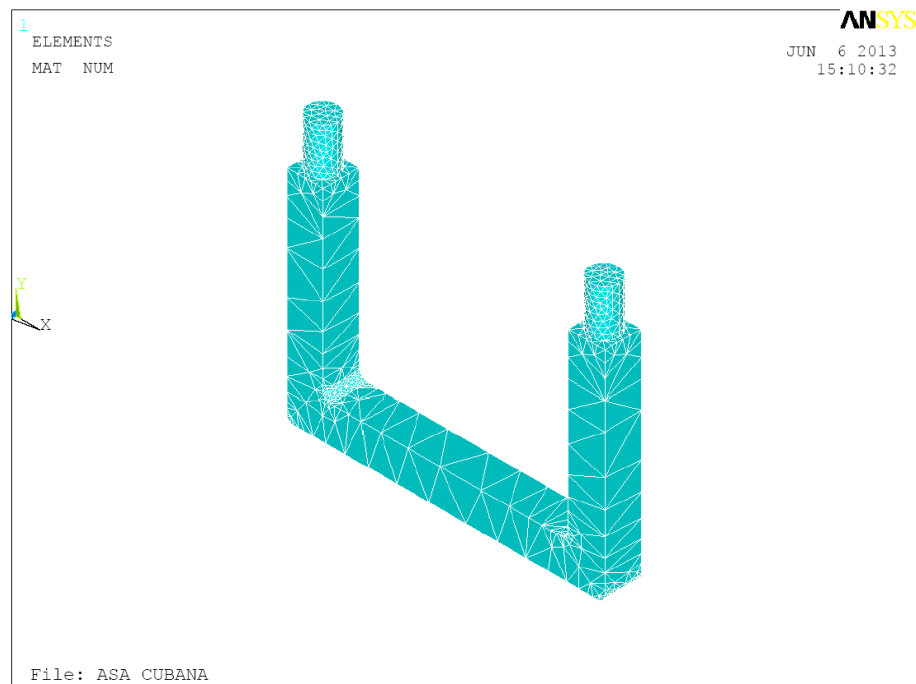


Figura 3.4. Geometría y mallado del asa producida en la empresa mecánica del níquel.

Los desplazamientos máximos se encuentran en la parte inferior de las asas, acentuándose más en las asa producida en nuestro país, esto fenómeno está dado porque estas tienen menor rigidez, como se observó en el análisis químico las asas producidas en la empresa mecánica del níquel presentan menor contenido de carbono y manganeso que las asas importadas (ver figuras 3.5 y 3.6).

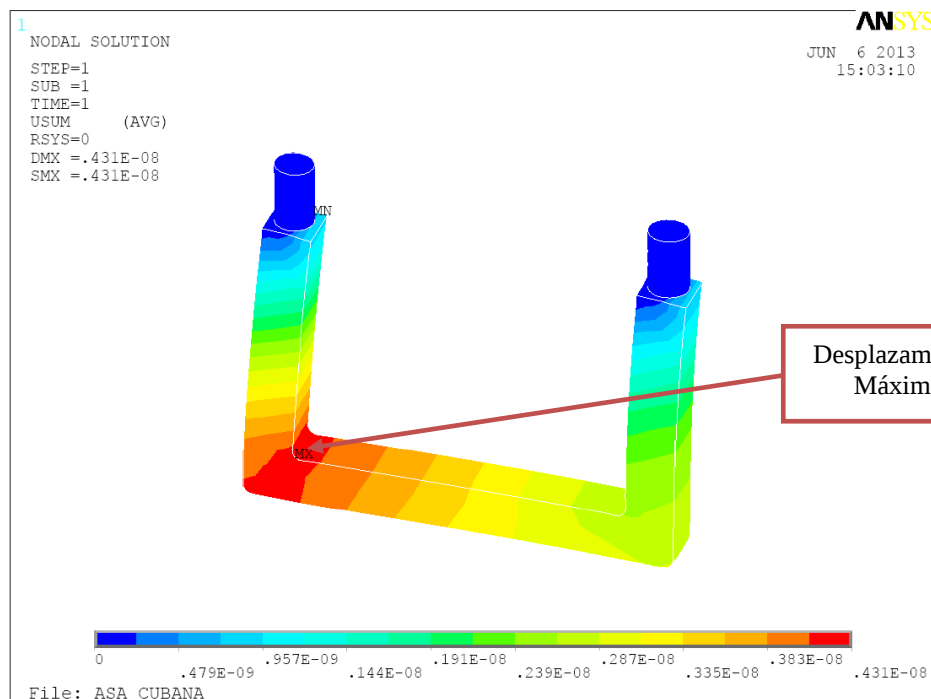


Figura: 3.5 Desplazamiento en el asa producida en la empresa mecánica del níquel.

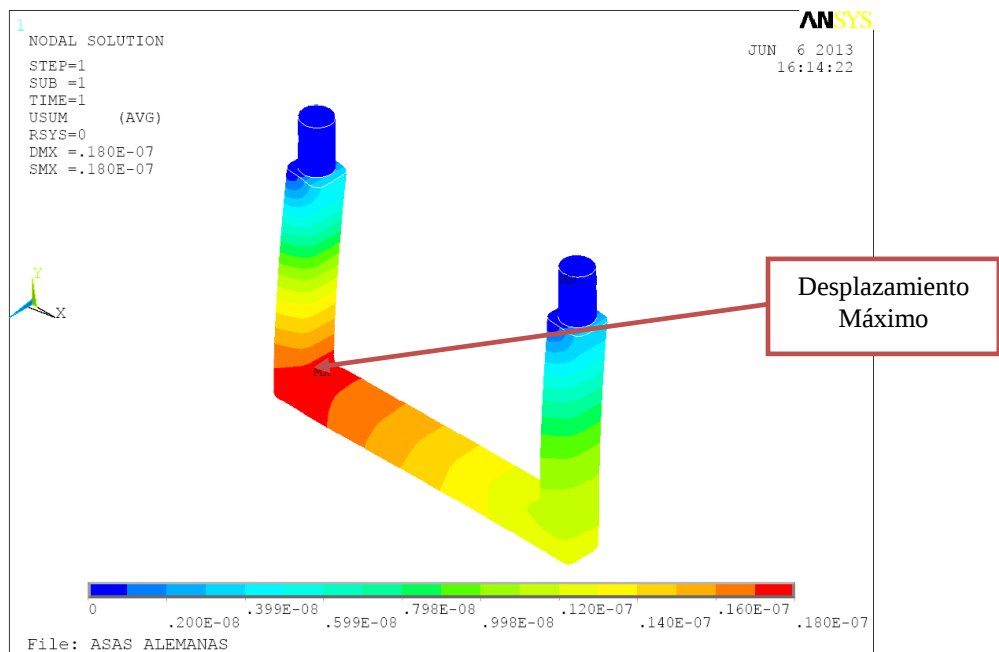


Figura: 3.6. Desplazamiento en el asa importada.

Como se puede observar en la figura 3.7 los valores de tensiones máximas en el asa producidas por la empresa mecánica del níquel alcanza los 219, 156 MPa, y si lo comparamos con los valores de tensión máxima del asa fabrica en Alemania (ver figura 3.8) podemos observar que en el asa fabricada en Alemania hay una mejor distribución de los esfuerzos de tensión y esto son alcanzan la mitad del valor que alcanza el asa producida en nuestro país

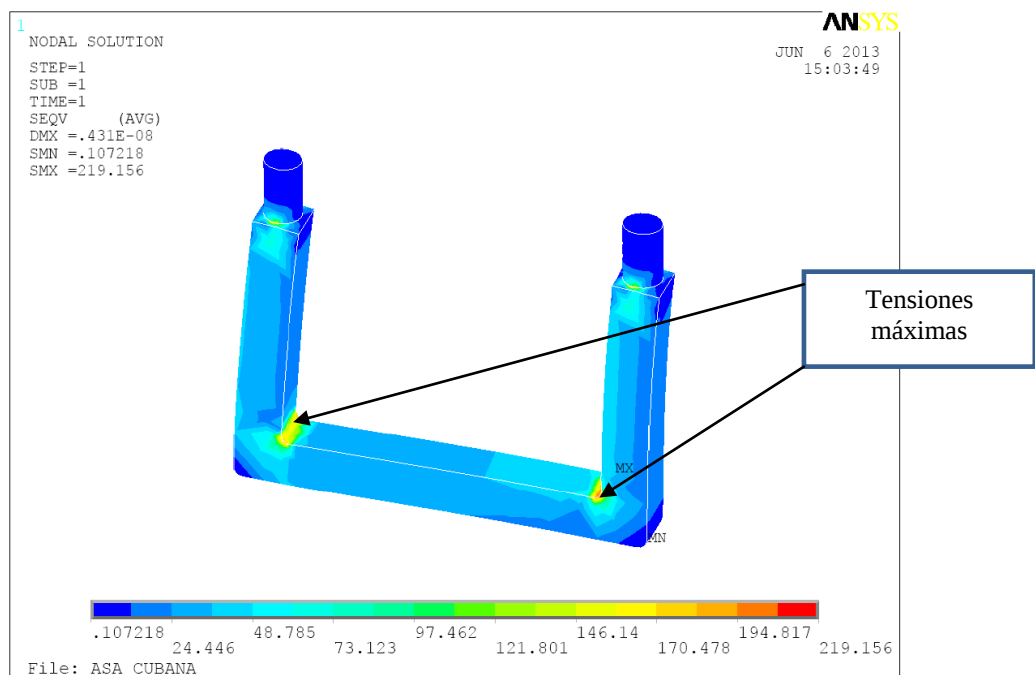


Figura: 3.7. Tensiones de Von Mises en el asa fabricada en la empresa mecánica del níquel.

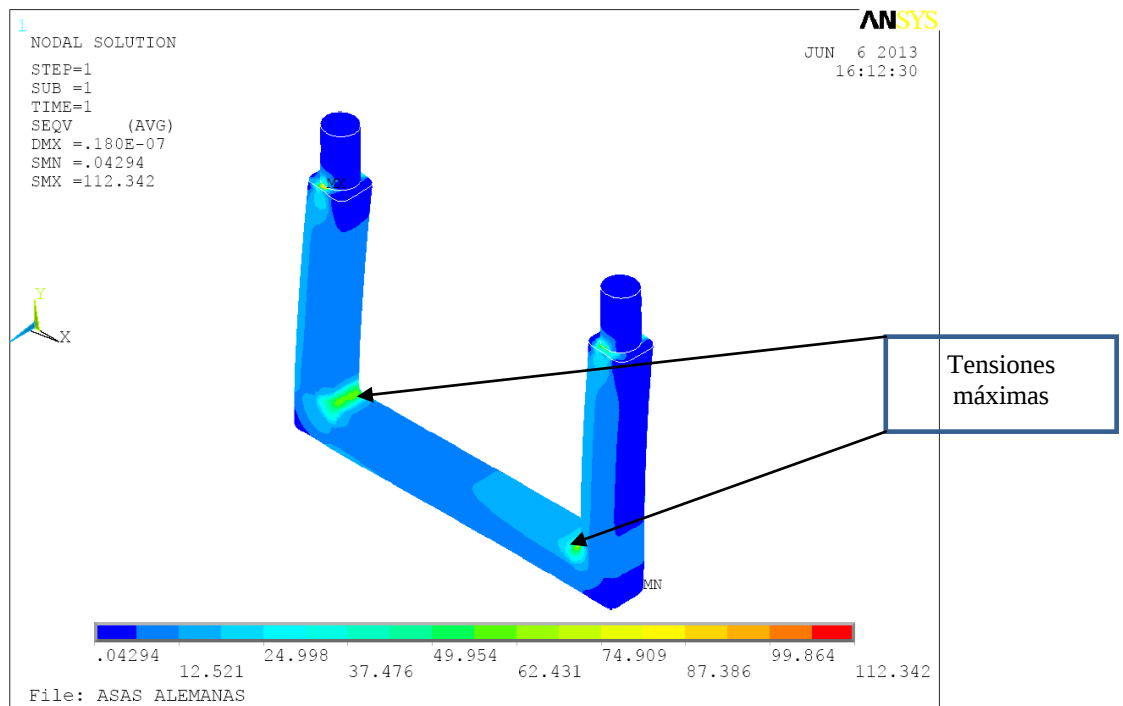


Figura: 3.8. Tensiones de Von Mises en el asa fabricadas en Alemania.

3.6- Valoración económica

Como se puede apreciar el costo de las asas de los elevadores de cangilones es de 64 CUC y 102,42 CUP en el mercado internacional, lo cual trae consigo que sea más factible para el país su compra que su fabricación, la cual está valorada en 83,21 CUC y 154,72 en CUP.

Los altos costos por fabricación están valorados en todos los parámetros que hay que tener en cuenta para la misma como son:

- ✓ Tiempo de trabajo del trabajador,
- ✓ Horas de fundición,
- ✓ Horas de maquinado,
- ✓ Costo del material,
- ✓ Transporte,
- ✓ Alimentación de los trabajadores.

Si se tiene en cuenta que en el período 2012-2013 salieron de servicio 153 asas fabricadas en Alemania (RUD), cada unidad tiene valor de 64, 00 CUC y 102, 42 MN, podemos afirmar que la empresa gastó 9 792,00 CUC/año y 15 670,26 CUP.

En el período 2012-2013 salieron de servicio 459 asas fabricadas en la Empresa Mecánica del Níquel (CKA-64), cada unidad tiene valor de 83, 21 CUC y 154, 72 CUP, el costo de compra en el mercado nacional de las asas del elevador de Cangilones 38 193,39 CUC/año y 71 016,48 CUP.

Si se parte de los costos de compra de las asa para el elevador de Cangilones, podemos afirmar que las asas fabricadas en Alemania tienen mayor longevidad y además su costo de compra es menor por lo que sería más rentable seguir importando las mismas. Esto generaría un ahorro de 30 401,39 CUC y 55 364, 22 CUP.

3.7- Impacto medio ambiental

Influencia del ruido en el medio ambiente

Las emisiones continuas de ruido es uno de los impactos directos que afecta al hombre en su medio laborar. El origen del mismo es el funcionamiento continuo de equipos de grandes dimensiones, que como resultado de su operación emiten determinados niveles de ruido que alcanzan valores muy intensos en algunas zonas de la instalación.

La presencia del ruido es unos de los elementos que más afectan las condiciones de trabajo en el ambiente laboral incidiendo directamente sobre la salud física y mental de los trabajadores y tributa a la aparición de las enfermedades profesionales asociadas a este fenómeno fundamentalmente cuando no se cuenta con los medios de protección individuales.

La afectación directa de este impacto produce lesiones en el oído interno destruyendo las células ciliadas del órgano de corti, dando lugar a la hipoacusia neurosensorial pura de percepción, con la disminución de los niveles de audición tanto por vía ósea como aérea, la cual además es una lesión irreversible y progresiva dependiendo especialmente de la intensidad y el tiempo de exposición.

Estas afectaciones producen efectos indirecto y negativos como el incremento de la presión sanguínea, la aceleración del ritmo cardiaco, la contracción de los capilares de la piel, el incremento del metabolismo, la lentitud de la digestión, las afectaciones al sueño y la disminución en la capacidad de trabajo físico y mental fundamentalmente.

3.7.1- Principales problemas ambientales detectados en la planta

- ✓ La zona de preparación de mineral (depósito de homogenización, transportadores de banda, hasta la sección de molinos), constituyen áreas de contaminación por polvo,
- ✓ Los gases que salen de los electrofiltros de cada secador contienen CO (0,4%) y SO₂ y aunque cumplen las normas deben ser controlados en ese nivel como máximo mediante un monitoreo periódico. En estos momentos están presentado fallas y los secadores están directamente a la atmósfera,
- ✓ El agua en los pisos de los secadores es enviada a la canalización (contienen sólidos y grasas),
- ✓ En el área de dosificación y mezclado de petróleo existe una fuente de contaminación por derrame y vaporización,
- ✓ El sistema de transporte traslada el mineral secado caliente y posee un sistema de aspiración en la descarga de una correa a otra, pero no es eficiente. La recogida de polvo derramado se realiza manualmente (hay gran cantidad de polvo en suspensión),
- ✓ En ocasiones se supera la norma de concentración de polvo (30 mg de polvo/m³), por esto se deben realizar determinaciones de polvo en la atmósfera en el área de trabajo.

3.7.2- Influencia del polvo en el medio ambiente

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

Las partículas suspendidas en la atmósfera absorben la luz solar, reduciendo la energía que llega a la tierra y produciendo cambios que disminuyen notablemente la luminosidad y visibilidad; además de la luz solar las partículas en suspensión absorben la luz producida por medios artificiales.

Este fenómeno se encuentra ligado a la concentración. Para una misma concentración las partículas que absorben una mayor cantidad de energía son

las de diámetro comprendido entre 0,1 a 1 μm . Entre los efectos que pueden tener sobre los materiales están:

Abrasión: realizadas por aquellas partículas de mayor tamaño y dotadas de elevada velocidad (efecto de pequeña incidencia).

Ataque químico: puede realizarse directamente por las partículas o generalmente por los gases existentes conjuntamente, tras el efecto de abrasión realizado por las partículas.

Los efectos que produce sobre la vegetación pueden considerarse como muy pequeños y prácticamente inexistentes. Solo pueden cifrarse como peligrosos aquellos que se derivan para zonas muy próximas a puntos de producción de partículas en grandes cantidades. Las partículas solas o en combinación con otros contaminantes representan un peligro notable para la salud.

Sin embargo cuando se habla del organismo humano, la situación se torna aún más preocupante, ya que lo afecta directamente en mayor o menor medida. Los contaminantes penetran en el organismo fundamentalmente por dos vía:

- ✓ Inhalación de polvos en el aire por las vías respiratorias,
- ✓ Absorción de polvos a través de la piel.

Las partículas entran al cuerpo humano a través del sistema respiratorio y el efecto que se produce depende de su tamaño, la composición química y mineralógica, densidad, superficie específica y otras.

Las partículas de tamaño superior a 5 μm de diámetro quedan retenidas en los bellos de la cavidad nasal y también pueden quedar atrapadas por la mucosa que tapiza la tráquea y la cavidad nasal. Los comprendidos entre 0,5 y 5 μm son capaces de penetrar hasta el sistema respiratorio inferior depositándose en los bronquios. De aquí a que en la mayoría de los casos sean eliminados al cabo de algunas horas por respiración.

La situación más preocupante corresponde al las partículas menores de 0,5 μm , ya que se ha estimado que más del 50% de las partículas de 0,01 a 0,1 μm que penetran en los alvéolos se depositan allí, donde es difícil eliminarlos por carecer de cilios y mucosas, pudiendo permanecer durante meses e incluso durante años degradando la salud del hombre.

3.7.3- Medidas para la protección del medio ambiente implementadas en la planta

En la planta de preparación de mineral se expulsa a la atmósfera polvo de mineral proveniente de la limpieza de gases. A la chimenea de 140 m de altura y 6 m de diámetro se descargan los gases provenientes de los secadores, después de pasar por el sistema de purificación mecánico y electrostático (ciclones y electrofiltros). Los gases que se expulsan a la atmósfera contienen CO_2 , SO_2 , N_2 , O_2 , y vapor de agua, el contaminante principal es el polvo a razón de 40,55 a 74,4 g/seg. Para eliminar los problemas ambientales se proponen las siguientes medidas:

1. Construcción de transportadores de enlace entre recepción y trituración y la planta de secador.
2. Techado y reparación de los electrofiltros según proyecto de mantenimiento.
3. Limpieza de los canales de drenaje.
4. Limpieza de la canalización fluvial.
5. Aprovechamiento de los gases calientes de horno a la cámara de combustión, tal como se realiza en la Rene Ramos Latour.
6. Instalación de un nuevo sistema de combustión para el secado de mineral (cámara Voltón).
7. Instalación de tarjetas de control automatizado en los electrofiltros, mejorando la eficiencia de estos.

Proyecto para el tratamiento de los residuales líquidos y restablecimiento del sistema por proyecto original.



3.8- Conclusiones del capítulo

1. El análisis químico arrojó que las asas fabricadas en Alemania mejor distribución entre los elementos de aleación los cuales favorecen al aumento de la tenacidad de este acero.
2. Se verificó la resistencia de las ASAS empleadas en el elevador de cangilones de en la empresa “René Ramos”, el cual arrojó que las asas importadas tienen mejor resistencia mecánica que las fabricadas en la empresa mecánica del níquel.



BIBLIOGRAFÍA

1. Alfonso, E. Apuntes sobre la interrelación composición – microestructura y propiedades del acero. Monografía. ISBN 959 – 16 – 0188 - 3. Universidad de Matanzas. 2002.
2. Bengton, U., Design requeriments materials properties a basic for materials selection. American society for testing. USA: 230 - 250, 1991.
3. CALLISTER, W. Materials Science and Engineering. An Introduction. Fifth Edition. Departament of Metallurgical Engineering. University of Utah John Wiley & Sons, Inc. 2004.
4. CALLISTER, W. Materials Science and Engineering. An Introduction. Fifth Edition. Departament of Metallurgical Engineering. University of Utah John Wiley & Sons, Inc. 1999. 8195 p. ISBN 0 – 471 - 32013 - 7.
5. Cho, J.; Lee, B.; Moon, Y.; .Van Tyne, C., Investigation of residual stress and post weld heat treatment of multi-pass welds by finite element method and experiments. Journal of materials processing technology 155-156 1690-1695, 2004.
6. CRAIG, JR. Mecánica de Materiales. Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Utah. Ed. Prentice Hall. Segunda Edición 2002, C-267-480137
7. FEODOSIEV, V. I.: Resistencia de materiales. Tomo I. Instituto del libro La Habana. 1969.
8. FEODOSIEV, V. I.: Resistencia de materiales. Tomo I. Instituto del libro La Habana. 1969.
9. FRIEDEL HARTMANN, F.; KATZ, C. Structural Analysis with Finite Elements. Springer-Verlag, Berlin. pp: 484. 2004
10. GULIAEV, A. Metalografía. Tomo I. Moscú. Editorial Mir. 1983.
11. GULIAEV, A. Metalografía. Tomo I. Moscú. Editorial Mir. 1983.
12. GULIAEV, A. Metalografía. Tomo II. Moscú. Editorial Mir. 1983.
13. GULIAEV, A. Metalografía. Tomo II. Moscú. Editorial Mir. 1983.
14. James, M., In Handbook of Measurement of Residual Stresses, Edited by J. Lu, Society for Experimental Mechanics, Inc., pp. 1-4. 1996.
15. James, M.; Back, O., Medidas no destructivas cuantitativas de Tensiones Residuales. CRC, Revisión crítica en ciencias de los materials en estado sólido. Vol. 9, Issue 1. 1980.



- 16.** Key to Steel. Fracture Toughness. Key to Steel Web Site. 2002. Disponible en la World Wide Web en <http://www.key-to-steel.com/>
- 17.** LAI, G. Y.: Heat Resistant Materials for Furnace Parts, Trays and Fixtures: Heat treating. ASM Handbook, Ohio: ASM International Vol. 1. 1992.
- 18.** LAI, G. Y.: Heat Resistant Materials for Furnace Parts, Trays and Fixtures: Heat treating. ASM Handbook, Ohio: ASM International Vol. 1. 1992.
- 19.** MARIÑO, M.; VELÁZQUEZ, A.; Papamantellos D.; Chang, A. Cardona: Diseño de una aleación termorresistente base hierro para hornos Herreshoff. Parte I- Modelación de propiedades mecánicas y simulación del diagrama de fase. En: Revista de Minería y Geología. Vol. 24 (3) 2008.
- 20.** MARIÑO, M.; VELÁZQUEZ, A.; Papamantellos D.; Chang, A. Cardona: Diseño de una aleación termorresistente base hierro para hornos Herreshoff. Parte I- Modelación de propiedades mecánicas y simulación del diagrama de fase. En: Revista de Minería y Geología. Vol. 24 (3) 2008.
- 21.** NC 10-55:86. Metalografía. Microfotografías. Escala de las Imágenes.
- 22.** NC 10-55:86. Metalografía. Microfotografías. Escala de las Imágenes.
- 23.** NC 10-56:86. Metalografía. Microestructura de metales de aleaciones duras.
- 24.** NC 10-56:86. Metalografía. Microestructura de metales de aleaciones duras.
- 25.** PERO-SANZ, J. A.: Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Madrid: DOSSAT 2000, 1996.
- 26.** PERO-SANZ, J. A.: Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Madrid: DOSSAT 2000, 1996.
- 27.** POWELL, G. W.; S. E. Mahmoud y K. Mills: Failure Analysis and Prevention, Metals Handbook of ASM, Ohio: ASM International, Vol.11, 1995 Págs.: 380-410.
- 28.** POWELL, G. W.; S. E. Mahmoud y K. Mills: Failure Analysis and Prevention, Metals Handbook of ASM, Ohio: ASM International, Vol.11, 1995 Págs.: 380-410.
- 29.** SAXENA, A.: Nonlinear Fracture Mechanics for Engineers. Boca Ratón: Editorial CRC Press. 1998.
- 30.** SAXENA, A.: Nonlinear Fracture Mechanics for Engineers. Boca Ratón: Editorial CRC Press. 1998.



- 31.** SMITH W. F. Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales Mc Graw Hill, Madrid, 1998.
- 32.** STIOPIN, P. A.: Resistencia de Materiales
- 33.** STIOPIN, P. A.: Resistencia de Materiales



RECOMENDACIONES

1. Proponer a la Empresa “Comandante René Ramos Latour”, que realice una nueva propuesta de diseño de las asas empleadas para el izaje de los cubos del elevador de cangilones, a la empresa "Comandante Gustavo Machín Hoed de Beche".
2. Utilizar los métodos de investigación empleados en la tesis y la caracterización de los parámetros del proceso, como referencia en futuros trabajos investigativos.

CONCLUSIONES GENERALES

1. El resultado del análisis metalográfico arrojó que las Asas presentan una estructura ferrita + perlita laminar, que difieren en el dominio de los elementos de aleación y en el tamaño de los granos de las microestructuras, observándose una mayor cantidad de defectos en el asa fabricada en Combinado Mecánico “Gustavo Machin Hoe de Beche ” de Moa.
2. La rotura en el asa fabricada en la empresa “Comandante Gustavo Machín” está dada por las tensiones dinámicas generadas durante el izaje del elevador de cangilones, el mal acabado que tienen misma y la disminución de sus propiedades mecánicas.
3. El cálculo de resistencia arrojó que en el asa fabricada en la empresa mecánica del níquel, las tensiones dinámicas alcanzan valores de 309,535 MPa, superiores a los esfuerzos de tensión en el asa fabricada en Alemania 154,78 MPa, lo cual se corroboró a través de la simulación por el Método de Elementos Finitos.
4. La rotura de las asas del elevador de cangilones trae a la empresa “Comandante René Ramos Latourt” un gasto por concepto de compra en el mercado nacional de: 38 193,39 CUC/año y 71 016,48 CUP, los cuales superan a los gastos de compra de las asas en el exterior.