



*República de Cuba
Ministerio de Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
"Dr. Antonio Núñez Jiménez"
Departamento de Metalurgia Electromecánica*

Trabajo de Diploma

En opción al Título de Ingeniero Mecánico

Título: Análisis de las estructuras que soportan los turboaeradores de la empresa "Comandante Ernesto Che Guevara".

Autor: Yonnis Guilarte Domínguez.

Tutor(es): M.Sc. Isnel Rodríguez Gonzáles.

M.Sc. José A Sablón Leyva.

M.Sc. Tomás Fernández Columbié

Moa – 2009

"Año del 50 Aniversario del Triunfo de la Revolución"



DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Moa, 26 de Junio de 2009

Año del 50 Aniversario del Triunfo de la Revolución

Yo **Yonnis Guilarte Domínguez**, autor del Trabajo de Diploma titulado: **Análisis de las estructuras que soportan los tourboareadores de la empresa "Cmdte. Ernesto Che Guevara"** y el tutor M. Sc. Isnel Rodríguez González certificamos la propiedad intelectual y la calidad del mismo a favor del Departamento de Ingeniería Mecánica del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

Para que así conste firmamos la presente

Autor: **Yonnis Guilarte Domínguez** _____

Tutor (es): **M. Sc. Isnel Rodríguez González** _____



PENSAMIENTO

Si tuviera que definir mi vida, diría algo muy simple: Ha sido un campo de batalla, nunca he dejado de luchar y nunca, ni en las circunstancias más adversas he perdido la fe en el futuro.

Blas Roca Calderío.



AGRADECIMIENTOS

Primeramente quisiera agradecer a todas las personas que de una forma u otra contribuyeron a la realización de este trabajo. A mis padres Juana Domínguez Pití y Pablo Guilarte Fuentes por haber depositado toda su confianza en mi, a mis tutores el profesor MSc. Isnel Rodríguez González y a el MSc. José A Sablón Leyva por su entrega y dedicación para lograr la calidad de este trabajo; así como a los profesores Tomás Fernández Columbié y Geovanis Martínez por su ayuda incondicional. A mis compañeros de aula Israel Osorio Góngora y Yuniesqui Pérez Pérez por haberme ayudado en los momentos difíciles durante el transcurso de la carrera.

A todos muchas gracias.



DEDICATORIA

Dedico este trabajo de diploma de forma muy especial a mis padres Juana Domínguez Pití y Pablo Guilarte Fuentes por haberme educado y apoyado siempre.

A mi hijo Alejandro Guilarte Reinoso el cual me ha inspirado en los momentos difíciles.

A toda mi familia de forma general, en especial a Alina Domínguez, Osmany Domínguez, mi tío Mario, Norge el esposo de Alina, mi compañera Yaritza; los cuales han sido un verdadero ejemplo a seguir.

A mis amistades Sopo, Yamileydis, Felito, Cedeño, Inés, Yannis, Tony por su ayuda incondicional.

A todos mis vecinos, en especial a Cuca, Alfredito, Alfredo, Nelida, así como a todas las personas que me quieren está dedicado este trabajo de diploma.



RESUMEN

En el presente trabajo se hace un análisis de las estructuras que soportan los turboaeradores de primera etapa de la planta de lixiviación y lavado de la empresa "Comdte. Ernesto Che Guevara". En el mismo se dan a conocer a través de una búsqueda bibliográfica los principales tipos de corrosión existentes, así como las características fundamentales de dicho proceso. Posteriormente se establecen los materiales y métodos para desarrollar el cálculo de resistencia y soldadura en las estructuras metálicas analizadas, se estableció un sistema de mantenimiento adecuado y se definen los pasos a seguir para la simulación por el Método de Elementos finitos (MEF), además se realizó la valoración económica correspondiente a los trabajos realizados y se caracterizaron los principales agentes contaminantes que afectan no solo las maquinarias y estructuras instaladas sino también los que perjudican la salud humana.



ABSTRACT

Presently work is made an analysis of the structures that support the turboprop of first stage of the lixiviation plant and laundry of the company "Cmdte. Ernesto Che Guevara". In the same one they are given to know through a bibliographical search the main existent types of corrosion, as well as the fundamental characteristics of this process. Later on the materials and methods settle down to develop the resistance calculation and welding in the analyzed metallic structures, a system of appropriate maintenance settled down and they are defined the steps to continue for the simulation for the Method of finite Elements (MEF), it was also carried out the economic valuation corresponding to the carried out works and the main polluting agents were characterized that not affect alone the machineries and structures installed but also those that harm the human health.

ÍNDICE

Contenido	Pág	
Introducción	1	
Capítulo I	MARCO TEORICO DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.1	Introducción	4
1.2	Características del proceso de corrosión	4
1.2.1	Tipos de corrosión	5
1.3.1	Corrosión atmosférica	5
1.3.1.1	Factores que afectan los procesos de corrosión atmosférica	6
1.3.1.2	Influencia de las condiciones meteorológicas en la corrosión atmosférica	7
1.3.1.3	Método de control de la corrosión atmosférica	7
1.3.2	Corrosión por fisuras o (Cervice)	8
1.3.3	Corrosión por picaduras o (Pitting)	9
1.3.4	Corrosión galvánica	10
1.3.5	Corrosión a altas temperaturas	11
1.3.6	Corrosión electroquímica o polarizada	11
1.4	Protección contra la corrosión	11
1.5	Factores que influyen en el deterioro de las estructuras	12
1.5.1	Protección de estructuras dañadas por la corrosión atmosférica	13
1.5.1.1	Protección de estructuras metálicas con pintura	14
1.5.1.2	La pintura y su composición básica	14
1.6	Métodos de aplicación de recubrimientos anticorrosivos	15
1.6.1	Aplicación de recubrimientos anticorrosivos	15
1.7	Características de la atmósfera	16
1.7.1	Contaminación atmosférica	16
1.7.2	Corrosividad de la atmósfera	16
1.7.3	Los contaminantes atmosféricos	17
1.7.3.1	Principales contaminantes atmosféricos que inciden en la velocidad de corrosión	18
1.8	Conclusiones del capítulo	19
Capítulo II	Materiales y Métodos	20
2.1	Introducción	20
2.2	Instrumentos utilizados para las mediciones de las estructuras	20
2.3	Materiales empleados para la reparación de las estructuras	21
2.3.1	Composición química del acero CT- 3	21



2.4	Determinación de la resistencia mecánica de las estructuras	22
2.4.1	Cálculo de la resistencia a estabilidad	22
2.4.1.1	Determinación de la carga crítica	23
2.4.1.2	Determinación de la tensión crítica	24
2.4.1.3	Determinación de la condición de resistencia a estabilidad	24
2.4.2	Solicitud a flexión transversal	26
2.5	Condición de resistencia a la compresión	26
2.6	Cálculo de soldadura de las estructuras metálicas	27
2.6.1	Cantidad de electrodos utilizados	27
2.6.2	Cálculo del tiempo principal de soldadura	27
2.6.3	Cálculo del costo y consumo de soldadura	29
2.7	Análisis para la solución de estructuras por el MEF	29
2.7.1	Pasos a seguir para la modelación por el MEF	29
2.8	Características de la atmósfera industrial	29
2.9	Metodología para la protección de las estructuras analizadas	30
2.9.1	Preparación y limpieza de las superficie de aceros	30
2.9.2	Chorro abrasivo	31
2.9.3	Recubrimiento de las estructuras metálicas instaladas	32
2.9.4	Aplicación del sistema epoxy - poliuretano	32
2.10	Conclusiones del capítulo	32
Capítulo III	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	34
3.1	Introducción	34
3.2	Determinación de los espesores de las estructuras metálicas	34
3.2.1	Comportamiento de los espesores de la columna	34
3.2.2	Comportamiento de los espesores de las vigas	35
3.3	Cálculo de la resistencia mecánica en las estructuras	35
3.3.1	Cálculo de la solicitud a flexión	37
3.3.2	Cálculo de la columna sometida a compresión axial	37
3.4	Simulación por el Método de Elemento finito (MEF)	37
3.4.1	Simulación por el Método de Elemento finito para las vigas	39
3.5	Determinación del cálculo por soldadura	39
3.6	Características de la atmósfera de la Empresa Cmdte Ernesto Che Guevara	40
3.7	Valoración económica	41
3.8	Impacto ambiental	42
3.8.1	Soluciones para mitigar los contaminantes	43
3.9	Conclusiones del capítulo	44
	Conclusiones	45
	Recomendaciones	46



Bibliografía

47

Anexos

-

INTRODUCCIÓN

La producción de níquel ha alcanzado a lo largo de estos años una gran importancia en la economía cubana esto se debe a el precio que cobra el mismo en el mercado internacional. Un papel fundamental juega la empresa "Cmdte. Ernesto Che Guevara" de Moa, dedicada a la producción de níquel y cobalto estrechamente relacionada con la automatización y modernización de sus plantas con el objetivo de obtener una mayor eficiencia dentro del proceso productivo.

Durante los años de explotación de la fábrica la misma ha sido afectada por serios problemas ambientales y frecuentes emanaciones de gases, polvo y otros agentes contaminantes que hacen posible que la atmósfera industrial sea altamente corrosiva e influya de forma negativa en la vida útil de las maquinarias, así como en las estructuras metálicas instaladas en diferentes partes, teniendo un mayor peso en las plantas de Recuperación de Amoniaco, Hornos de Reducción y Lixiviación y Lavado, por lo que se hace necesario realizar frecuentes reparaciones a estas estructuras con el objetivo de alargar su tiempo de trabajo. La planta de Lixiviación y Lavado ha sido la de mayor incidencia por corrosión, reflejando los mayores problemas en las estructuras instaladas en la primera etapa del proceso de turboareación, provocando innumerables pérdidas en la producción del níquel, serias afectaciones al medio ambiente y un aumento de los costos por reparaciones.

Las funciones fundamentales de la planta de Lixiviación y lavado son la de lixiviar el níquel y el cobalto que aparecen en el mineral reducido procedente de la Unidad Básica de Producción Planta de Hornos de Reducción. Este proceso de lixiviación se realiza utilizando como sustancia disolvente una solución de hidróxido y carbonato de amonio y como agente extraente el oxígeno, el cual se le inyecta a la pulpa como aire en los turboareadores.

La separación de los licores y la pulpa se lleva a cabo mediante un proceso a decantación y contracorriente, o sea, el sólido entra en forma de pulpa por los tanques de contacto y es bombeada a la serie de turboareadores de I etapa (6), y luego se lixivia en una II etapa de aireación de 2 series de turboareadores y 2 series de sedimentadores de 9 etapas totales, siendo expulsadas las colas empobrecidas de

níquel por él último sedimentador. Mientras que los licores viajan en sentido contrario desde las últimas y penúltimas etapas de lavado hasta la I etapa de lixiviación de sedimentación, obteniéndose el licor producto final, rico en níquel y cobalto, donde el mismo es enviado a la Unidad Básica de Producción Planta de Recuperación de Amoníaco.

El proceso de la planta se divide en 5 partes fundamentales: tanques de contacto, lixiviación, lavado, enfriadores de licor y torres de absorción.

Situación problemática

La empresa "Cmdte. Ernesto Che Guevara" es una de las instalaciones donde la corrosión afecta con cierta irregularidad. En la actualidad se deterioran las estructuras metálicas de la planta de lixiviación y lavado producto a que estas estructuras están sometidas a condiciones de explotación muy severas, constantes derrames de pulpa, licor producto, aguas que son utilizadas en la limpieza de pisos y agua de lluvia incluyendo una atmósfera industrial altamente agresiva, por lo que se ve afectado el proceso productivo de la empresa. La contaminación de la planta provoca roturas de los turboareadores que conducen a intervenciones frecuentes tanto de reparación como de mantenimiento provocando la elevación de los costos.

Problema

Frecuentes averías de las estructuras que soportan los turboareadores No 4 y 5 de la serie A de primera etapa en la planta de lixiviación y lavado de la empresa "Cmdte. Ernesto Che Guevara".

Hipótesis

Si se calculan las cargas y se analizan los agentes que inciden en la corrosión entonces se podrá proponer una solución que permita reestablecer los parámetros de diseño y prolongar el tiempo de servicio de las estructuras metálicas instaladas en la serie A de primera etapa de la planta de lixiviación y lavado en la empresa "Cmdte. Ernesto Che Guevara".

Objeto de la investigación

Estructuras que soportan los turboareadores No 4 y 5 de la serie A de primera etapa en la planta de lixiviación y lavado de la empresa "Cmdte. Ernesto Che Guevara".



Objetivo general

Caracterizar la resistencia mecánica de las estructuras metálicas que soportan los turboareadores No 4 y 5 de la serie A de primera etapa en la planta de lixiviación y lavado de la empresa "Cmdte. Ernesto Che Guevara".

Objetivos específicos

1. Determinar la resistencia mecánica de las estructuras que soportan los turboareadores No 4 y 5 de la serie A de primera etapa de lixiviación y lavado.
2. Determinar los parámetros necesarios para la soldadura de las estructuras metálicas instaladas en la serie A de primera etapa de lixiviación y lavado.
3. Proponer un sistema de protección contra la corrosión que garantice la longevidad de las estructuras instaladas.

Tareas del trabajo

1. Establecimiento del estado de la investigación y búsqueda bibliográfica.
2. Establecer la metodología para determinar la resistencia mecánica de las estructuras metálicas analizadas.
3. Caracterización de la atmósfera de la empresa "Cmdte. Ernesto Che Guevara".
4. Valoración de resultados.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción

En el presente capítulo se dará a conocer mediante una profunda y detallada búsqueda bibliográfica a través de libros, artículos en Internet, así como en trabajos realizados los principales aspectos relacionados con la temática a tratar.

Objetivo:

Realizar un análisis de la bibliografía existente que permita definir la temática abordada y defender los resultados alcanzados durante la investigación.

1.2 Características de los procesos de corrosión

La corrosión (Bénard, 1962) se define como el deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno. De manera más general, puede entenderse como la tendencia general que tienen los materiales a buscar su forma más estable o de menor energía interna. Siempre que la corrosión esté originada por una reacción electroquímica (oxidación), la velocidad a la que tiene lugar dependerá en alguna medida de la temperatura, de la salinidad del fluido en contacto con el metal y de las propiedades de los metales en cuestión. Otros materiales no metálicos también sufren corrosión mediante otros mecanismos.

La corrosión de los metales también puede ser considerada como el proceso inverso de la metalurgia extractiva. Muchos metales existen en la naturaleza en estado combinado, por ejemplo, como óxidos, sulfatos, carbonatos o silicatos. En estos estados, las energías de los metales son más bajas. En el estado metálico las energías de los metales son más altas, y por eso, hay una tendencia espontánea de los metales a reaccionar químicamente para formar compuestos.

Sin embargo, la corrosión es un fenómeno mucho más amplio que afecta a todos los materiales (metales, cerámicas, polímeros) y todos los ambientes (medios acuosos, atmósfera, alta temperatura).

La corrosión es un problema industrial importante, pues puede causar accidentes (ruptura de una pieza) y, además, representa un costo importante, ya que se calcula que cada pocos segundos se disuelve 5 toneladas de acero en el mundo, procedentes

de unos cuantos nanómetros o psicómetros, invisibles en cada pieza pero que, multiplicados por la cantidad de acero que existe en el mundo, constituyen una cantidad importante.

1.2.1 Tipos de corrosión

Analizando los efectos para la sociedad que tiene la corrosión, tenemos que ver los diversos tipos de corrosión que existen. Los tipos de corrosión se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Corrosión Atmosférica.
- Corrosión por Fisuras o "Cervice".
- Corrosión por picaduras "Pitting".
- Corrosión galvánica.
- Corrosión a altas temperaturas.
- Corrosión electroquímica o polarizada.

1.2.1.1 Corrosión Atmosférica

La corrosión atmosférica (Ailor, 1986) es la causa más frecuente de la destrucción de los metales y aleaciones. El mecanismo de corrosión es de naturaleza electroquímica. El electrolito es una capa de humedad sobre la superficie del metal cuyo espesor varía desde capas muy delgadas (invisibles) hasta capas que mojan perceptiblemente el metal. La duración del proceso de corrosión depende sobre todo del tiempo durante el cual la capa de humedad permanece sobre la superficie metálica. Su característica principal es la presencia de un proceso anódico y otro catódico, con un electrolito de resistencia óhmica determinada.

En el proceso anódico el metal se disuelve en la capa del electrolito, en la cual la concentración se eleva hasta la precipitación de un compuesto poco soluble.

En el proceso catódico, bajo la capa de humedad, la mayoría de los metales expuestos a la atmósfera se corroen por el proceso de reducción de oxígeno.

La resistencia óhmica entre las zonas anódica y catódica de las minúsculas pilas de corrosión que se distribuyen sobre el metal es grande cuando el espesor de la capa de humedad es pequeño.

Para hablar de esta clase de corrosión es mejor dividirla según ambientes. Los ambientes atmosféricos son los siguientes:

Industriales: Son los que contienen compuestos sulfurosos, nitrosos y otros agentes ácidos que pueden promover la corrosión de los metales. En adición, los ambientes industriales contienen una gran cantidad de partículas aerotransportadas, lo que produce un aumento en la corrosión.

Marinos: Esta clase de ambientes se caracterizan por la presencia de cloruro, un ión particularmente perjudicial que favorece la corrosión de muchos sistemas metálicos.

Rurales: En estos ambientes se produce la menor clase de corrosión atmosférica, caracterizada por bajos niveles de compuestos ácidos y otras especies agresivas.

La corrosión atmosférica puede ser clasificada en:

- a) Corrosión seca: Se produce en los metales que tienen una energía libre de formación de óxidos negativa.
- b) Corrosión húmeda: Requiere de la humedad atmosférica, y aumenta cuando la humedad excede de un valor crítico, frecuentemente por encima del 70%.
- c) Corrosión por mojado: Se origina cuando se expone el metal a la lluvia o a otras fuentes de agua.

1.3.1.1 Factores que afectan los procesos de corrosión atmosférica

La acción conjunta de los factores de contaminación y los agentes meteorológicos (Arroyave, 1995) determinan la intensidad y naturaleza de los procesos corrosivos, y cuando actúan simultáneamente, aumentan sus efectos. También es importante mencionar otros factores como las condiciones de exposición, la composición del metal y las propiedades del óxido formado, que combinados entre sí influyen en los procesos de corrosión.

Existen otros factores que influyen la corrosión atmosférica. Ellos son la temperatura, la presencia de contaminantes en el ambiente y la humedad.

1.3.1.2 Influencia de las condiciones meteorológicas en la corrosión atmosférica

La característica atmosférica más importante (Ávila, 2005), relacionada directamente con el proceso de corrosión es la humedad, esta es el origen del electrolito necesario en el proceso electroquímico.

Es de importancia el conocimiento de las causas y los factores que influyen en la formación de películas de humedad sobre la superficie metálica. El factor fundamental es la precipitación atmosférica (lluvia o niebla espesa).

Existe también la condensación de humedad, la que se origina cuando la humedad relativa de la atmósfera sobrepasa el 100%. Es importante mencionar también la condensación por adsorción, la condensación capilar y la condensación química.

Cuando se alcanza el nivel de humedad necesario para la formación de pilas de corrosión comienza a ser importante un segundo factor: de contaminación atmosférica.

1.3.1.3 Método de control de la corrosión atmosférica

Por lo dicho hasta el momento (Liublinski, 1987) es evidente que la forma más efectiva de disminuir la corrosión atmosférica sería a través de la eliminación de las sustancias agresivas y en especial del SO₂. Como esto no puede realizarse en equipos y estructuras situados en zonas industriales se requiere de técnicas de protección adecuadas. En interiores el aire acondicionado mantenido continuamente puede asegurar una atmósfera filtrada, limpia y seca, con una humedad relativa baja, pero su interrupción (por ejemplo, durante la noche) puede causar condensación de agua con la consiguiente iniciación de la corrosión.

Cabe señalar que un material resistente al ataque de un determinado tipo de atmósfera no necesariamente será resistente a otra. Existen diferentes tipos de recubrimientos para proteger especialmente al acero de la corrosión atmosférica. Por otra parte, también hay metales y aleaciones que son muy resistentes. Así, los aceros inoxidable y el aluminio, que tienen buena resistencia a la corrosión en atmósferas industriales, urbanas y rurales, no la tienen en las marinas.

Pequeñas cantidades de aleantes como cobre, fósforo, níquel y cromo incorporados al acero aumentan considerablemente su resistencia a la corrosión atmosférica. Algunos

aceros de este tipo son los llamados autopasivables, por formar con el medio películas protectoras adherentes de composición compleja para lo que no se requiere de recubrimientos de pintura, la principal protección contra la corrosión atmosférica utilizada para el acero. Estos aceros autopasivables se emplean en la construcción de puentes, estructuras para edificios, etc., pero no en interiores, ya que al abrigo de ciertos componentes atmosféricos no forman dichas películas pasivantes.

1.3.2 Corrosión por Fisuras o "Crevice"

La corrosión por cervice o fisuras es la que se produce en pequeñas cavidades o huecos formados por el contacto entre una pieza de metal igual o diferente a la primera, o más comúnmente con un elemento no- metálico. En las fisuras de ambos metales, que también pueden ser espacios en la forma del objeto, se deposita la solución que facilita la corrosión de la pieza. Se dice, en estos casos, que es una corrosión con ánodo estancado, ya que esa solución, a menos que sea removida, nunca podrá salir de la fisura. Además, esta cavidad se puede generar de forma natural producto de la interacción iónica entre las partes que constituyen la pieza (ver Fig. 1)



Figura # 1. Corrosión por Fisuras.

Algunas formas de prevenir esta clase de corrosión son las siguientes:

- Rediseño del equipo o pieza afectada para eliminar fisuras.
- Cerrar las fisuras con materiales no-absorbentes o incorporar una barrera para prevenir la humedad.
- Prevenir o remover la formación de sólidos en la superficie del metal.

1.3.3 Corrosión por Picaduras o "Pitting"

La corrosión por picaduras (López, 1994) es altamente localizada, se produce en zonas de baja corrosión generalizada y el proceso (reacción) anódico produce unas pequeñas "picaduras" en el cuerpo que afectan. Puede observarse generalmente en superficies con poca o casi nula corrosión generalizada. Ocurre como un proceso de disolución anódica local donde la pérdida de metal es acelerada por la presencia de un ánodo pequeño y un cátodo mucho mayor.

Las picaduras ocurren como un proceso de disolución local anódica donde la pérdida de metal es aumentada por la presencia de un ánodo pequeño y un cátodo grande. Las picaduras suelen ser de pequeño diámetro (décimas de milímetro). Como se muestra en la figura (2).



Figura # 2. Corrosión por Picaduras.

Esta clase de corrosión posee algunas otras formas derivadas:

- Corrosión por Fricción o Fretting: es la que se produce por el movimiento relativamente pequeño (como una vibración) de 2 sustancias en contacto, de las que una o ambas son metales. Este movimiento genera una serie de picaduras en la superficie del metal, las que son ocultadas por los productos de la corrosión y sólo son visibles cuando ésta es removida.
- Corrosión por Cavitación: es la producida por la formación y colapso de burbujas en la superficie del metal (en contacto con un líquido). Es un fenómeno semejante al que le ocurre a las caras posteriores de las hélices de los barcos. Genera una serie de picaduras en forma de panal.
- Corrosión Selectiva: es semejante a la llamada Corrosión por Descincado, en donde piezas de cinc se corroen y dejan una capa similar a la aleación primitiva. En este

caso, es selectiva porque actúa sólo sobre metales nobles como al Plata-Cobre o Cobre-Oro. Quizá la parte más nociva de esta clase de ataques está en que la corrosión del metal involucrado genera una capa que recubre las picaduras y hace parecer al metal corroído como si no lo estuviera, por lo que es muy fácil que se produzcan daños en el metal al someterlo a una fuerza mecánica.

1.3.4 Corrosión galvánica

Según (Costa, 1994) la corrosión galvánica es la más común de todas y se establece cuando dos metales distintos entre sí actúan como ánodo uno de ellos y el otro como cátodo. Aquel que tenga potencial de reducción más negativo procederá como una oxidación y viceversa aquel metal o especie química que exhiba un potencial de reducción más positivo procederá como una reducción. Este par de metales constituye la llamada pila galvánica. En donde la especie que se oxida (ánodo) cede sus electrones y la especie que se reduce (cátodo) acepta los electrones.

El ataque galvánico puede ser uniforme o localizado en la unión entre aleaciones, dependiendo de las condiciones. La corrosión galvánica puede ser particularmente severa cuando las películas protectoras de corrosión no se forman o son eliminadas por erosión.

Esta forma de corrosión es la que producen las Celdas Galvánicas. Sucede que cuando la reacción de oxidación del ánodo se va produciendo se van desprendiendo electrones de la superficie del metal que actúa como el polo negativo de la pila (el ánodo) y así se va produciendo el desprendimiento paulatino de material desde la superficie del metal. Este caso ilustra la corrosión en una de sus formas más simples.

Quizá la problemática mayor sobre corrosión esté en que al ser este caso bastante común se presente en variadas formas y muy seguido. Por ejemplo, la corrosión de tuberías subterráneas se puede producir por la formación de una pila galvánica en la cual una torre de alta tensión interactúa con grafito solidificado y soterrado, con un terreno que actúe de alguna forma como solución conductiva.

1.3.5 Corrosión a Altas Temperaturas

Algunos metales expuestos a gases oxidantes en condiciones de muy altas temperaturas, pueden reaccionar directamente con ellos sin la necesaria presencia de un electrolito. Este tipo de corrosión es conocida como Empañamiento, o Corrosión por Altas Temperaturas.

Generalmente esta clase de corrosión depende directamente de la temperatura. Actúa de la siguiente manera: al estar expuesto el metal al gas oxidante, se forma una pequeña capa sobre el metal, producto de la combinación entre el metal y el gas en esas condiciones de temperatura. Esta capa o "empañamiento" actúa como un electrolito "sólido", el que permite que se produzca la corrosión de la pieza metálica mediante el movimiento iónico en la superficie.

Algunas maneras de evitar esta clase de corrosión son las siguientes:

- Alta estabilidad termodinámica, para generar en lo posible otros productos para reacciones distintas.
- Baja Presión de Vapor, de forma tal que los productos generados sean sólidos y no gases que se mezclen con el ambiente.

La corrosión por Altas Temperaturas puede incluir otros tipos de corrosión, como la oxidación, la sulfatación, la carburización y los efectos del hidrógeno.

1.3.6 Corrosión Electroquímica o Polarizada

La corrosión electroquímica (Philibert, 1998) se establece cuando en una misma superficie metálica ocurre una diferencia de potencial en zonas muy próximas entre si en donde se establece una migración electrónica desde aquella en que se verifica el potencial de oxidación más elevado, llamado área anódica hacia aquella donde se verifica el potencial de oxidación (este término ha quedado obsoleto, actualmente se estipula como potencial de reducción) más bajo, llamado área catódica.

1.4 Protección contra la corrosión

Los daños por corrosión han sido la fuente de serios problemas sociales. Su ocurrencia en cañerías para el transporte de gas, agua, fluidos para calentamiento o medios de

comunicación impactan negativamente sobre la calidad de vida de grandes segmentos poblacionales en ciudades y regiones enteras llegando, en ocasiones extremas, a provocar verdaderos desastres.

Las principales herramientas para proteger contra la corrosión son: aleaciones resistentes a la corrosión en diferentes medios de exposición, pinturas, recubrimientos poliméricos o metálicos usados solos o combinados entre si (sistemas dúplex), inhibidores y protección electroquímica.

Dentro de las medidas utilizadas industrialmente para combatir la corrosión están las siguientes:

1. Uso de materiales de gran pureza.
2. Presencia de elementos de adición en aleaciones, ejemplo aceros inoxidable.
3. Tratamientos térmicos especiales para homogeneizar soluciones sólidas, como el alivio de tensiones.
4. Inhibidores que se adicionan a soluciones corrosivas para disminuir sus efectos, ejemplo los anticongelantes usados en radiadores de los automóviles.
5. Recubrimiento superficial: pinturas, capas de oxido, recubrimientos metálicos.

1.5 Factores que influyen en el deterioro de las estructuras

Según (Correa, 2007) uno de los factores que determinan primariamente la intensidad del fenómeno corrosivo en la atmósfera es la composición química de la misma. El SO₂ y el NaCl son los agentes corrosivos más comunes de la atmósfera. El NaCl se incorpora a la atmósfera desde el mar. Lejos de este, la contaminación atmosférica depende de la presencia de industrias y núcleos de población, siendo el contaminante principal por su frecuencia de incidencia sobre el proceso corrosivo el dióxido de azufre (SO₂), proveniente del empleo de combustibles sólidos y líquidos que contienen azufre.

Las estructuras metálicas, en especial de acero, raramente se exponen desnudas a la acción atmosférica. Debido a la alta corrosividad de este material, suele exponerse protegido mediante diversos recubrimientos: pinturas, recubrimientos metálicos y recubrimientos de conversión.

La selección óptima de los materiales metálicos y los recubrimientos protectores que deberán emplearse en las distintas situaciones de agresividad atmosférica.

1.5.1 Protección de estructuras dañadas por la corrosión atmosférica

Di Sarli (2004) llegó a la conclusión que los enormes daños producidos por corrosión que periódicamente son publicados en los medios masivos de comunicación reflejan la existencia de un serio problema de fallas en la protección anticorrosiva de equipos, máquinas, edificios, estructuras metálicas y sistemas de comunicación como se muestra en el (anexo 2). Múltiples intentos destinados a evaluar tales daños han sido encarados más de una vez en distintos países, tal es el caso de la evaluación realizada en 1978 en Estados Unidos a petición del congreso de ese país estableció que las pérdidas totales anuales por corrosión eran del orden de 70.000 millones de dólares, aproximadamente un 4% de su Producto Interno Bruto (PIB); estimaciones efectuadas en otros países industrializados dieron resultados muy parecidos (1,8-4,2% del PIB). Sin embargo, ninguno de ellos promovió inversiones adicionales en investigación científica y desarrollos tecnológicos relacionados con la protección anticorrosiva.

Mijailovski (1989) aborda la temática relacionada con la corrosión atmosférica de los metales y los métodos de protección también reflejan los diferentes tipos de contaminantes, la composición química de la atmósfera y los límites de concentración permisible, aspectos que serán utilizados en esta investigación.

En el trabajo de (Geracimienko, 1987) se exponen técnicas y métodos para la protección anticorrosiva de equipos, máquinas y estructuras metálicas explotadas en diferentes medios, sin embargo no se refiere a cómo proceder en caso de atmósfera industrial altamente corrosiva como la tratada en esta investigación.

Strebkov (2005) propone un método de protección anticorrosiva para las estructuras metálicas que trabajan en ambiente industrial similar al estudiado, con una disminución del consumo de pintura en un 18 % y el costo de los trabajos en un 20 %, con una garantía de vida útil de 6-7 años, lo que puede ser aplicable a las condiciones analizadas en el presente trabajo.

Es importante señalar que aunque existe una amplia información relacionada con el fenómeno de la corrosión y los efectos de la atmósfera en la vida útil de los metales, se

han encontrado pocos trabajos con referencia de corrosión en atmósfera industrial similar a las condiciones analizadas.

Muños y Uruchurtu (2001) presentan una metodología para la caracterización de la agresividad de la atmósfera sobre los materiales metálicos estructurales en diferentes zonas urbanas de México, amparados por normas (ISO). A partir de datos ambientales se obtuvo la corrosividad del acero. La investigación muestra la clasificación de los contaminantes por los niveles de humectación, SO₂ y el Ion cloruro (CL) según norma (ISO 1989), sin embargo los valores obtenidos a través de las estaciones de monitoreos no reflejan una agresividad comparable con una atmósfera industrial cargada de aerosoles marinos y polvo.

Uno de los factores que determina primariamente la intensidad del fenómeno corrosivo en la atmósfera es la composición química de la misma. El SO₂ y el NaCl son los agentes corrosivos más comunes de la atmósfera. El NaCl se incorpora a la atmósfera desde el mar. Lejos de éste, la contaminación atmosférica depende de la presencia de industrias y núcleos de población, siendo el contaminante principal por su frecuencia de incidencia sobre el proceso corrosivo el dióxido de azufre (SO₂), proveniente del empleo de combustibles sólidos y líquidos que contienen azufre.

1.5.1.1 Protección de estructuras metálicas con pinturas

El método más utilizado (Galván, 1986) para la protección de estructuras e instalaciones industriales y marinas ha consistido en la aplicación de pinturas. La diversidad de los ambientes a los que pueden estar sometidas dichas estructuras e instalaciones ha obligado a desarrollar pinturas capaces de protegerlas con éxito en las condiciones más severas que puedan presentarse.

1.5.1.2 La pintura y su composición básica

La pintura es un líquido homogéneo formado por unos sólidos (pigmentos) dispersos en una fase líquida (vehículo) y combinados con aditivos, capaces de transformarse en fase sólida al aplicarse en láminas delgadas que se adhieren firmemente al sustrato y proporciona propiedades protectoras y decorativas.

Se compone fundamentalmente de las siguientes partes principales:

- Pigmento.
- Vehículo volátil o disolvente.
- Aditivo.

El pigmento proporciona la capacidad y el color, el vehículo fijo o ligante es el agente filmógeno que mantiene unidas las partículas del pigmento y proporciona la adherencia al sustrato, y el vehículo volátil es el disolvente cuya misión es disolver el ligante sólido y proporcionar la viscosidad adecuada para la aplicación.

La imprimación es la primera capa de pintura, por estar en contacto directo con el hierro contiene pigmentos anticorrosivos, debiendo tener buenas cualidades de humectación de la superficie metálica para asegurar la adherencia sobre ella y ser buen soporte para la capa siguiente.

1.6 Método de aplicación de recubrimientos anticorrosivos

Los métodos fundamentales de aplicación de recubrimientos están diferenciados por la forma de obtención de la película protectora:

- Con pistola.
- Con brocha o rodillo.

El porcentaje de sólido de un recubrimiento es el volumen de estos (materia fija) existente en 100 volúmenes de dichos sólidos. Puede determinarse experimentalmente de una forma muy sencilla: con un aplicador tipo BAKER, se deposita un espesor de la pintura sobre una placa de acero laminado en frío lo mas lisa posible y perfectamente limpia, dejándola secar convenientemente.

1.6.1 Aplicación de recubrimientos anticorrosivos

Los factores más importantes (Pérez, 1997) en el momento de aplicar los recubrimientos anticorrosivos son:

- Estado de la superficie metálica.
- Temperatura.
- Condiciones climáticas.

La temperatura ambiente baja durante la noche, por lo que el acero a la intemperie se enfría. Subirá de nuevo durante el día, pero más rápidamente en el aire que en el

metal. Esta diferencia puede dar lugar a que durante la noche se formen condensaciones de humedad sobre la superficie del metal, lo que sucederá si la temperatura de esta superficie es inferior a la del punto de rocío.

1.7 Características de la atmósfera

El problema de corrosión se da sobretodo en zonas expuestas a agentes corrosivos como pueden ser conducciones o recubrimientos exteriores los cuales, al estar en contacto con la atmósfera se deterioran fácilmente si no se toman medidas.

1.7.1 Contaminación Atmosférica

Se puede definir la contaminación atmosférica (Biswas, 1987) como "la presencia en el aire de sustancias extrañas, sean éstas gaseosas, sólidas o la combinación de ambas, en concentraciones considerables y durante un tiempo de permanencia que puede provocar efectos nocivos para la salud humana y un deterioro de los bienes de uso y del paisaje".

Los contaminantes atmosféricos de mayor importancia son: partículas suspendidas totales, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre entre otros.

Los agentes contaminantes inorgánicos son generados por los vehículos y las industrias; los orgánicos, por los basureros. Las centrales termoeléctricas, las refinerías y las fábricas de papel contribuyen con el 85% del SO₂ en la atmósfera; los automóviles con un 95%.

Esto implica, por consiguiente, la necesidad de medir la cantidad de los distintos contaminantes diseminados dentro de la capa de aire. Lo anterior puede lograrse usando equipos adecuados o mediante el uso de los modelos de difusión de gases contaminantes.

1.7.2 Corrosividad de la atmósfera

Para poder determinar la corrosividad de una atmósfera es necesario relacionar entre sí todos los factores que la afectan, y muy especialmente aquellos que han demostrado tener una especial influencia en el proceso de corrosión: tiempo de humectación de la superficie metálica y cantidad de contaminantes causantes de corrosión que pueden depositarse en la superficie metálica.

Es de gran utilidad para la interpretación de los datos establecer la siguiente terminología:

- **Agresividad de la atmósfera:** Es el potencial de la atmósfera para provocar corrosión en metales o aleaciones. Se puede medir con base en los siguientes parámetros ambientales: humedad, temperatura y contaminación.
- **Corrosividad de la atmósfera:** Habilidad de la atmósfera para provocar corrosión en un sistema dado.
- **Tiempo de humectación:** Periodo durante el cual una superficie metálica está cubierta por una película de electrolito (incluso adsorbida) que estimula significativamente la corrosión atmosférica.
- **Tiempo de humectación calculado:** Tiempo de humectación estimado a partir de relaciones temperatura-humedad relativa.
- **Tiempo de humectación experimental:** Tiempo de humectación determinado directamente por diferentes sistemas de medida.

1.7.3 Los contaminantes atmosféricos

Una sustancia se considera contaminante cuando al ser introducida directa o indirectamente por el hombre en el aire ambiente puede tener efectos nocivos sobre la salud humana o el medio ambiente en su conjunto.

En función de su origen los contaminantes pueden clasificarse en primarios y secundarios. Los contaminantes primarios son aquellas sustancias que son vertidas directamente a la atmósfera por fuentes emisoras tales como chimeneas, procesos industriales, quema de combustibles fósiles. Estas sustancias representan más del 90% de la contaminación atmosférica.

Los contaminantes secundarios son los que se producen como consecuencia de las transformaciones por reacciones físicas y químicas que sufren los contaminantes primarios en el seno de la atmósfera.

1.7.3.1 Principales contaminantes atmosféricos que inciden en la velocidad de corrosión

El NaCl y el SO₂ (Berman, 1982) son los principales contaminantes corrosivos de la atmósfera, también es importante mencionar al sulfuro de hidrógeno, que es el responsable del deslustre de cobre y plata, los compuestos nitrogenados que en solución incrementan la humedad en la superficie de los metales, las partículas inertes (silicio) y las partículas absorbentes (carbón de leña).

Entre todos estos contaminantes, el SO₂ tiene una importancia especial en los procesos de corrosión atmosférica, a causa de su incidencia directa en la velocidad de corrosión de los metales expuestos a la atmósfera.

Los metales no ferrosos consumen SO₂ en las reacciones de corrosión, y sus productos principales son los sulfatos metálicos, mientras que en la oxidación del hierro y del acero los sulfatos ferrosos son hidrolizados formando óxidos y generando ácido sulfúrico.

Una característica importante del SO₂ es que es más soluble que el oxígeno, lo cual origina que cuando se producen concentraciones muy bajas en la atmósfera pueden obtenerse películas de humedad sobre la superficie metálica con altas concentraciones de SO₂, lo cual ocasiona el deterioro de la misma. Esto tiene una gran importancia, ya que estudios atmosféricos basados en técnicas de química analítica y en computadoras de alto poder resolutivo han llegado a la conclusión de que la composición de la atmósfera se ha convertido en un reservorio de gran cantidad de trazas de especies gaseosas.

A pesar de las bajas concentraciones en que se encuentran estas sustancias, frecuentemente representan un riesgo para la vida de plantas y animales, pueden alterar el clima y constituyen una aportación muy importante a los fenómenos de corrosión.

La mayoría de estas sustancias están presentes en la atmósfera a niveles más altos de los esperados en equilibrio termodinámico con el nitrógeno, el oxígeno, el bióxido de carbono y el vapor de agua. La composición de estas trazas está controlada por una

serie de mecanismos cinéticos y engloban una combinación complicada de procesos químicos, físicos y biológicos.

Las perspectivas de usar pinturas anticorrosivas base agua son muy cuestionables debido a su carácter hidrofílico y alta densidad. Sin embargo, la aplicación de pinturas con alto contenido de sólidos formuladas a partir de resinas poliuretánicas, ureicas, cloropolímeros y epoxídicas ofrecen nuevas posibilidades y recursos.

1.8 Conclusiones del Capítulo

- El análisis bibliográfico nos permitió determinar que el tipo de corrosión que más afecta a las estructuras metálicas es la corrosión atmosférica.
- La corrosión que más afecta a las estructuras metálicas es la corrosión atmosférica, sin embargo existen diferentes tipos de recubrimientos anticorrosivos que permiten proteger a las mismas.

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Introducción

La realización de experimentos en las estructuras metálicas ha sido siempre de vital importancia en la solución a los problemas de averías en elementos y equipos industriales. En el campo de las estructuras es importante realizar investigaciones que proporcionen una mayor eficiencia de las mismas.

En este capítulo se plantea como **objetivo:**

Definir los métodos y procedimientos relacionados para la solución del problema.

2.2 Instrumentos utilizados para las mediciones de las estructuras metálicas

Los instrumentos que se emplearon para la medición de espesores de las estructuras metálicas analizadas son los siguientes:

1. Cinta métrica.
2. Pie de rey.
3. Martillo de mano.
4. Medidor de espesor ultrasónico MMX-6.

La cinta métrica (ver figura 2.1), de longitud (10m), se utiliza medir la altura de la sección transversal y el ancho de las alas de los perfiles laminados, para ello la punta de la cinta fue fijada a un extremo del ala y es extendida hasta el extremo próximo, se debe registrar el valor de la magnitud física. Las longitudes fueron medidas y comprobadas con los planos de construcción presentes en el archivo técnico de la empresa.



Figura 2.1. Cinta métrica (flexómetro).

Figura 2.1 cinta métrica.

El pie de rey se emplea para determinar los espesores de las alas de los perfiles. En la medición fue utilizado un martillo para embestir las superficies erosionadas y lograr en ellas una medición exacta. Luego se toma el pie de rey y se separan sus mandíbulas de modo que abrasen el esquadro de las estructuras y seguido se toma el valor de medida.

El medidor de espesor ultrasónico MMX-6 fue empleado para determinar los espesores de las almas a lo largo de la sección transversal de cada una de las estructuras, para ello se hizo uso de un martillo para embestir las superficies erosionadas y de un cepillo de cerdas metálicas para eliminar gran parte de la capa de óxido formada en el material. Luego se toma el instrumento y se añade aceite de circulación en el patrón de prueba, este se encuentra en la parte inferior del teclado, una vez depositado el aceite, se hace frotar el sensor (parte componente del medidor, con el patrón) y hasta que no aparezca en el display el valor predeterminado (0.00 mm), no se puede proceder a la medición.

2.3 Materiales empleados para la reparación de las estructuras

Según (Guliaev, 1977) Los aceros para estructuras se dedican a la construcción de puentes, gasoductos, oleoductos, armaduras, así como perfiles estructurales de secciones: I, H, L, T, [. El acero para estructuras es de bajo contenido de carbono, $C < 0.22 - 0.25\%$. El aumento de su resistencia se consigue aleándolo con elementos baratos, como el manganeso y el silicio. En este caso, y siendo bajo el contenido de carbono, el límite de fluencia aumenta hasta $(40 - 45 \text{ kgf/mm}^2)$ y la resistencia a la rotura hasta $(50 - 60 \text{ kgf/mm}^2)$, y si se somete a tratamiento térmico, aún más.

Los aceros al carbono simples para estructuras son: CT-1, CT-2 y CT-3, que se suministran de acuerdo con las normas GOST 380 – 71. El que más se utiliza en la construcción de estructuras metálicas es el acero CT-3.

2.3.1 Composición química del acero CT3

A diferencia de los aceros de construcción aleados, los aceros de alta resistencia para estructura no son sometidos a tratamiento térmico por el consumidor, es decir su estructura y características de servicio se configuran al fabricar el acero. La composición de los aceros más utilizados de este tipo se da en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Composición química del acero de construcción CT-3.

Acero	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Nb, V (%)	N (%)
CT-3	0.2	0.2	0.5	-	-

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.

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.

2.4 Determinación de la resistencia mecánica de las estructuras

Para analizar la resistencia mecánica de las estructuras afectadas es necesario conocer el estado de tensiones y deformaciones a que están sometidas de las mismas. En el primer caso se pone de manifiesto la carga estática que actúa sobre la columna como se muestra en el (anexo 2). El segundo paso consiste en determinar las tensiones actuantes a través del momento flector en las vigas que soportan los turboaeradores.

Las estructuras analizadas se caracterizan según dos tipos de solicitaciones:

1. Pandeo por compresión (Flexión longitudinal).
2. Flexión.

2.4.1 Cálculo de la resistencia a estabilidad

La resistencia a la estabilidad por compresión se analizará en las columnas y su objetivo fundamental es determinar la resistencia de las mismas a partir de las condiciones de frontera, en las que entran a desempeñar un papel importante el peso de las estructuras más el peso del turboaerador.

La relación que se establece entre el coeficiente de reducción de la longitud del elemento y el radio de giro mínimo, que se designa como esbeltez y se determina por la metodología propuesta por Fernández – Levy (1983).

$$\lambda = \frac{\gamma L}{i_{\min}}; \quad (2.1)$$

Siendo:

i_{\min} - radio de giro mínimo de la sección expresada por:

$$i_{\min}^2 = \frac{I_{\min}}{A}; [\text{cm.}] \quad (2.2)$$

La tensión crítica crece en la medida que disminuye la esbeltez, dicha esbeltez límite propuesta por Euler según (Fernández – Levy 1983), se determina:

$$\lambda_{\lim} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_p}} \quad (2.3)$$

Conociendo que:

λ, λ_{\lim} , adimensionales.

λ , depende de las características geométricas de la columna, mientras que

λ_{\lim} , depende de las propiedades mecánicas del material de que está compuesto.

σ_p - tensión límite de proporcionalidad; en MPa.

Un pequeño incremento de la carga axial por encima de la crítica va acompañado de grandes incrementos de la flecha y de las tensiones en la columna, razón por la cual P_{crit} se considera peligrosa.

2.4.1.1 Determinación de la carga crítica

La carga crítica es aquella que provoca una flexión longitudinal para un valor mínimo de la fuerza de compresión axial

El cálculo de la carga crítica se realiza teniendo en cuenta las propiedades mecánicas del material, la geometría de la estructura y los esfuerzos a los que están sometidas dichas estructuras.

$$P_{crit} = \frac{\pi^2 E * I_{min}^2}{(\gamma * l)^2}; [Kgf] \quad (2.4)$$

Donde:

E - modulo de elasticidad del material; en kgf

I_{min} - momento de inercia mínimo; [cm^4]

l - longitud de la barra; [m]

A - área de la sección transversal; [cm^2]

γ - coeficiente de reducción de la longitud

$(\gamma.l)$ – longitud efectiva de la barra

2.4.1.2 Determinación de la tensión crítica

Para desarrollar el cálculo de la tensión crítica hay que tener en cuenta las características geométricas de las columnas, así como las condiciones de carga a la que esta sometida y se determinara empleando el método de Euler (Fernández – Levy, 1983).

$$\sigma_{crit} = \frac{P_{crit}}{A} = \frac{\pi^2 E * i_{min}^2}{(\gamma * l)^2}; [Kgf / cm^2] \quad (2.5)$$

Cálculo de la carga crítica admisible por pandeo

$$[P_{crit}] = \frac{P_{crit}}{n_e}; [N] \quad (2.6)$$

Siendo:

$[P_{crit}]$ - carga admisible; Kgf

n_e : coeficiente de seguridad por pandeo el cuál es mayor que la unidad y con valores algo mayor que el factor de seguridad por resistencia. La magnitud de este coeficiente debe ser tal, que garantice el trabajo seguro de la barra. Los valores de n_e varían de acuerdo con el material del cual esté constituida la columna, según Fernández - Levy (1983) para los aceros $n_e = (1.8 - 3)$.

2.4.1.3 Determinación de la condición de resistencia a estabilidad

Es importante comparar las tensiones en la condición de estabilidad, pues esta da la medida del grado de resistencia de la columna para este tipo de sollicitación:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{P_{crit}}{n_e A} \leq [\sigma_e]; \text{ MPa} \quad (2.7)$$

Para lo que:

$$[\sigma_e] = \varphi [\sigma_c] \quad (2.8)$$

φ , coeficiente de disminución de la tensión admisible básica (o coeficiente de pandeo), este depende de la esbeltez y de las propiedades mecánicas del material.

Corregir φ

$$\varphi = \frac{\sigma_{crit} n}{\sigma_{lim} n_e}; \quad (2.9)$$

$$\sigma_{lim} = \frac{P_{lim}}{A}; \quad (2.10)$$

$\sigma_{lim} = \sigma_{fl}$, para los materiales plásticos

Condición de resistencia

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{P_{lim}}{nA} \leq [\sigma_c] \quad (2.11)$$

$$n = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \quad (2.12)$$

n_1 , coeficiente que considera el error posible al determinar las cargas y las tensiones.

n_2 , coeficiente que tiene en cuenta la heterogeneidad del material.

n_3 , coeficiente de las condiciones de trabajo que tiene en cuenta el grado de responsabilidad del elemento.

n , coeficiente de seguridad

$n_1 = 1.2$ (considerando que las tensiones se obtienen con una exactitud mínima)

$n_2 =$ para la relación $\frac{\sigma_{fl}}{\sigma_r}$

$n_3 = 1.3 m$ (considerando un grado medio de responsabilidad del material)

$\sigma_{m\acute{a}x}$, tensión máxima, en MPa

$[\sigma_e]$, tensión admisible a la estabilidad, en MPa

$[\sigma_c]$, tensión admisible a la compresión, 160 MPa según (Stiopin, 1983).

P_{lim} , carga límite, N

σ_f , tensión límite de fluencia; 240 MPa según (Stiopin, 1983).

2.4.2 Solicitación a flexión transversal

Para desarrollar el cálculo a la flexión de las vigas analizadas es necesario tener en cuenta el peso total considerado en el medio de la plataforma por la distancia de la. Estas estructuras sometidas a cargas estáticas se calculan según (Fernández-Levy, 1983):

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{M_{Fm\acute{a}x}}{W_x} \leq [\sigma_c], \text{ MPa} \quad (2.13)$$

Donde:

$\sigma_{m\acute{a}x}$ – tensión máxima; en MPa

$M_{Fm\acute{a}x}$ - momento flector máximo; $N^* m$

W_x - módulo de resistencia a la flexión en la sección; cm^3

$[\sigma_c]$ - tensión admisible a la compresión; MPa

Una vez determinada la tensión máxima se comprobara con la tensión admisible, y en caso de ser menor significa que el elemento sometido a esfuerzo resiste, de lo contrario se ha producido una falla en el elemento.

2.5 Condición de resistencia a la compresión

Para las barras, cuyas secciones tienen grandes debilitamientos, aparte del cálculo por pandeo, se debe realizar también el cálculo común de resistencia a compresión.

$$\sigma = \frac{P_{lim}}{A} \leq [\sigma_c]; \text{ MPa} \quad (2.14)$$

Siendo:

P_{lim} : Carga límite que soporta la columna.

A: Área de menor sección transversal de la columna.

2.6 Cálculo de soldadura de estructuras metálicas

El cálculo de soldadura para las columnas analizadas se realizó según la metodología propuesta por (Fernández, Rodríguez, 2004).

Los electrodos utilizados para la soldadura de estas estructuras fueron E – 7018. Estos electrodos son más difíciles de manejar que el resto y se deben trabajar con un arco muy corto. Los mismos se aplican en trabajos de alta responsabilidad y en materiales que requieren elevada ductilidad y tenacidad. Su gran tenacidad los hace recomendables para soldar grandes espesores, estructuras muy rígidas, aceros de baja aleación y aceros con problemas en su soldabilidad. Presentan un amplio uso en estructuras metálicas, recipientes a presión, construcción naval y construcción de maquinaria.

2.6.1 Cálculo de la cantidad de electrodos utilizados

Durante cualquier trabajo de soldadura es de vital importancia tener en cuenta la cantidad de electrodos utilizados, por lo que se determinó la cantidad de electrodos utilizados en las columnas que soportan los turboaeradores de la planta de lixiviación.

$$C_E = \frac{S * L_C}{10^6} * \delta * (1.2) * N, (kg) \quad (2.15)$$

Donde:

N: Cantidad de estructuras a unir.

S: Área de la sección transversal (mm²).

L_C: Longitud a soldar.

δ: Peso específico (kg/dm³).

10⁶: Factor de conversión.

1.2: Coeficiente del factor de pérdidas por salpicaduras, aprovechamiento del electrodo, calentamiento.

2.6.2 Cálculo del tiempo principal de soldadura

El tiempo principal de soldadura es el tiempo que emplea el operario en el cumplimiento de su actividad productiva.

$$t_0 = \frac{\delta * (F) * L_C}{K_H * I}; \text{min} \quad (2.16)$$

Donde:

T_0 : Tiempo principal de soldadura; (min).

K_H : Coeficiente de depósito (8.9 – 9.5).

I : Intensidad de la corriente; (Amp).

F : Área de la sección transversal del cordón de soldadura; (mm^2).

$F = (6 - 8) \cdot d_{\text{elec}}$ para la raíz.

$F = (8 - 12) \cdot d_{\text{elec}}$ para la pasada de relleno.

$I = K \cdot d_{\text{elec}}$ $K = (30 - 50)$

2.6.3 Cálculo del costo y consumo de soldadura

Es habitual que quien tiene que efectuar o presupuestar un trabajo de soldadura de unión de un recipiente, una estructura o una construcción en particular; se vea en la necesidad de calcular que cantidad de material de aporte (varillas, alambres, fundentes y electrodos) necesita y muchas veces también el costo total de dicho trabajo.

$$C_{SK} = \frac{M}{J} + \frac{C}{D \cdot B} + \frac{E \cdot U \cdot I}{1000 \cdot D} + \frac{A}{D \cdot B}; (\$/\text{kg}) \quad (2.17)$$

Siendo:

C_{SK} : Costo total por Kg de material depositado ($\$/\text{Kg}$).

M : Costo del material de aporte ($\$/\text{kg}$).

J : Rendimiento del material o eficiencia del proceso (%).

C : Costo de la MOD ($\$/\text{kg}$).

D : Velocidad de deposición ($\$/\text{kg}$).

B : Factor de marcha u operatividad (%).

E : Costo de energía eléctrica ($\$/\text{kg}$).

U : Tensión (V).

I : Intensidad de la corriente (Amp).

A : Costos indirectos (MOI, amortización y seguro); \$.

- El tiempo de servicio del puesto de trabajo (t_{spt}), se tomara entre un (3 – 5%) del tiempo operativo.

- El tiempo de descanso del obrero (tdnp), se tomara entre un (5 – 15%) del tiempo operativo.
- Para gasto de MOI, se tomara aproximadamente un 30% del tiempo operativo, excepto para el tratamiento térmico.

2.7 Análisis para la solución de estructuras metálicas por el MEF

El método de elemento finito (MEF) consiste en la transformación de un sistema de ingeniería con infinitas incógnitas a un modelo de elementos finitos.

En realidad dicho modelo es una idealización matemática de un sistema real cuyo comportamiento deberá, al menos, de ser intuitivo, pues de otro modo la modelación puede ser muy laboriosa o imposible.

El término elemento finito resume el concepto básico del método: la transformación de un sistema físico, con un número infinito de incógnitas, a uno que tiene un número finito de incógnitas entre sí por elementos de un tamaño finito.

2.7.1 Pasos a seguir para la modelación por el MEF

Para poder desarrollar la simulación por el método de elemento finito (MEF), es necesario tener en cuenta una serie de pasos lógicos que permitan lograr un resultado satisfactorio durante la modelación.

1. Importar el elemento como Acis. Sat.
2. Crear el tipo de estudio.
3. Asignar las constantes reales del elemento (Si son necesarias).
4. Asignar las propiedades del material.-
5. Generar el malla del modelo.
6. Aplicar las condiciones de contorno (Fuerzas y desplazamientos).
7. Asignar las condiciones para resolver el sistema (Solución).
8. Interpretar los resultados.

2.8 Características de la atmósfera industrial

La atmósfera industrial es portadora de un elevado grupo de contaminantes; como cloruros, sulfatos, bióxido de carbono, polvo, alta humedad y oxígeno libre.

Con la combinación de estos tres elementos se crean condiciones favorables para que se genere un proceso corrosivo muy intenso.

Los aceros al carbono de construcción son muy sensibles a los efectos de la corrosión atmosférica, sobre todo por la alta capacidad que tiene el hierro de combinarse con el oxígeno para formar los distintos tipos de compuesto de óxidos (ferroso férrico, ferroso y óxido de hierro).

Para atenuar o frenar estos procesos corrosivos en los aceros al carbono de construcción, que están expuesto a la acción de un medio muy corrosivo, como está ocurriendo en el caso de las estructuras de los turboaeradores y de la planta en general, se diseñaron sistemas de protección anticorrosivos capaces de conservar estas estructuras sin apenas sufrir daños por este fenómeno.

Para esta empresa se diseñó un programa de protección anticorrosivo, teniendo en cuenta la agresividad del ambiente industrial, el cual abarcaba a todos los equipos y estructuras, donde anualmente se protegería un cuarto de todas las estructuras. Este programa se detuvo en el año 1989 hasta el año 2004 que se vuelve a retomar con mayor fuerza, pero ya muchas estructuras han sido dañadas y totalmente destruidas por la corrosión, fundamentalmente en la planta de lixiviación y lavado, recuperación de amoníaco, así como prácticamente todo el sistema de estacadas.

2.9 Metodología para la protección anticorrosiva de las estructuras

La protección anticorrosiva de las estructuras es de vital importancia para aumentar la vida útil de estas para lo que es necesario preparar las superficies hasta lograr los parámetros exigidos según normas y procedimientos establecidos y luego aplicar el recubrimiento acorde a las condiciones de explotación.

2.9.1 Preparación y limpieza de las superficies de aceros

La calidad de la preparación de la superficie tiene una influencia decisiva sobre la vida de cualquier recubrimiento protector. La mayoría de los fallos prematuros que se dan en la práctica vienen motivados por una preparación inadecuada.

Hay que tener en cuenta que cualquier contaminante que se encuentre sobre la superficie del acero impedirá el íntimo contacto entre este y la pintura, influyendo negativamente en la adherencia entre el recubrimiento y el sustrato.

La capa de pintura no podrá así desarrollar toda su capacidad protectora y puede ser incluso que se desprenda al cabo de cierto tiempo.

Algunos de los contaminantes más comunes son: polvo, humedad, aceites y grasas y poluciones ambientales.

Otro aspecto a considerar es la presencia de defectos mecánicos inherentes al propio acero o derivados de la construcción de la estructura que se va a pintar.

En muchas ocasiones se encuentran exfoliaciones, picaduras de corrosión, cordones de soldadura rugosos, entre otros, que si no se preparan adecuadamente antes de pintar, pueden provocar fallos prematuros del sistema protector.

2.9.2 Chorreado abrasivo de las superficies

El chorreado abrasivo es el mejor método para la limpieza de grandes superficies de acero.

El chorreado abrasivo consiste en la proyección de partículas de material abrasivo a alta velocidad y con una elevada energía cinética contra las superficies de acero a limpiar.

El impacto de las partículas de abrasivo contra la superficie provoca el desprendimiento de los contaminantes superficiales adheridos al metal, arrancando la cascarilla de laminación, la herrumbre, las poluciones ambientales, y dejando una superficie limpia y con cierta rugosidad superficial que siempre favorece al anclaje posterior de la pintura.

Debido al estado de la superficie de los aceros que queremos recubrir, y basados en la norma ISO 8501-1 que define el grado de limpieza de una superficie, el chorreado abrasivo debe ser hasta el metal casi blanco grado Sa 2½, afín de conseguir que por lo menos el 95 % de cada porción de la superficie total quede libre de cualquier residuo visible.

Finalmente se elimina el polvo de abrasivo con un aspirador o con aire comprimido limpio y seco. La superficie debe quedar de color grisáceo.

2.9.3 Recubrimiento de las estructuras metálicas instaladas

Un sistema de pintura es un recubrimiento que se aplica en varias capas sobre un sustrato determinado, con la finalidad de protegerlo contra su posterior deterioro.

Cualquier sistema de pintura puede estar compuesto, como ya hemos dicho, por varias capas, que aunque suelen ser todas ellas de la misma naturaleza química, tienen diferente composición, recibiendo distintos nombres, a saber:

- Imprimaciones. Las capas de pintura que se encuentran en contacto directo con el sustrato.
- Capas de fondo a intermedias. Las que se aplican sobre la imprimación con el fin de ganar espesor e impermeabilidad sin aumentar innecesariamente el costo del sistema.
- Capas de acabado. Son las que están en contacto con el medio, generalmente con la atmósfera, y son las responsables del aspecto y color del sistema.

El sistema de pintado que proponemos reúne las características como para alargar la vida útil del complejo de estructuras que nos proponemos proteger.

2.9.4 Aplicación del sistema epoxy – poliuretano

Los productos epoxy pueden combinarse con los poliuretanos y obtener así sistemas que presentan óptimas prestaciones anticorrosivas y protectoras en general a la vez que excelente retención de brillo y color.

1 capa de imprimación epoxy	125 micras
1 capa intermedia de epoxy	125 micras
1 capa de acabado poliuretano	60 micras
Espesor total recomendado	310 micras

2.10 Conclusiones del Capítulo

- En el presente capítulo se estableció la metodología para el cálculo de la resistencia mecánica de las estructuras metálicas que soportan los turboareadores No 4 y 5 de la serie A primera etapa de lixiviación.



-
- Se estableció la metodología para la protección anticorrosiva de las estructuras metálicas que soportan los turboareadores No 4 y 5 de la serie A primera etapa de lixiviación, para lograr una mayor longevidad de las mismas.

CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1 Introducción

En el desarrollo de este capítulo se interpretaran los resultados obtenidos a través de las expresiones matemáticas correspondientes a las estructuras metálicas de acero estructural CT-3, expuesto a sollicitaciones de pandeo (flexión longitudinal) y flexión.

En el mismo se plantea como **objetivo**:

Interpretar los resultados obtenidos a través de los cálculos realizados de la resistencia mecánica de las estructuras metálicas, así como valorar la cantidad de electrodos utilizados durante la reparación de las mismas.

3.2 Determinación de los espesores de las estructuras metálicas

Para desarrollar la resistencia mecánica de las estructuras metálicas sometidas a esfuerzo de tensión (columnas y vigas de acero de construcción CT-3) pertenecientes a una miniserie de la primera etapa del proceso de lixiviación de la empresa "Cmdte. Ernesto Che Guevara".

3.2.1 Comportamiento de los espesores de las columnas

Teniendo en cuenta las mediciones realizadas a las columnas que soportan los turboaeradores de la planta de lixiviación se pudieron obtener los valores de espesores, como puede observarse en la (figura 3.1).

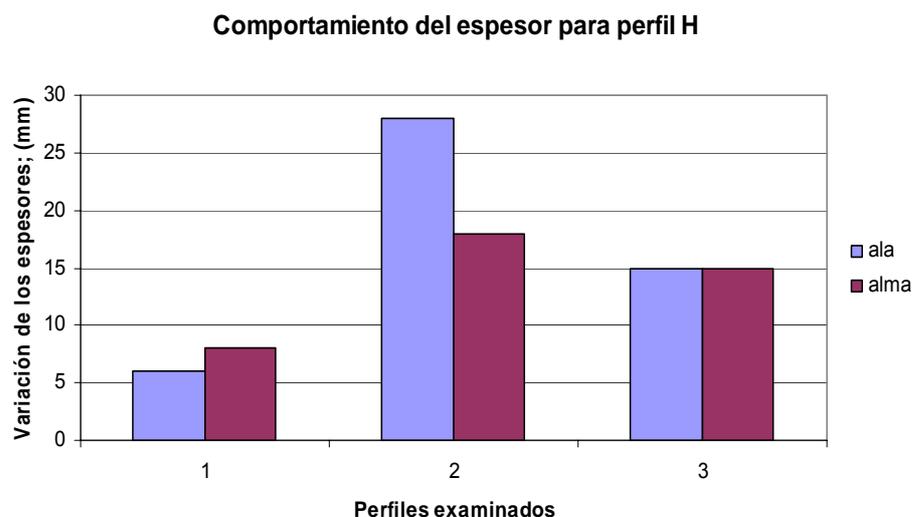


Figura 3.1 Espesor de los perfiles doble T de las columnas

3.2.2 Comportamiento de los espesores de las vigas

Para desarrollar el cálculo a flexión de las vigas es necesario tener en cuenta como se comportan los espesores de la misma, tanto para el ala como para el alma, como se puede apreciar en la figura 3.2,

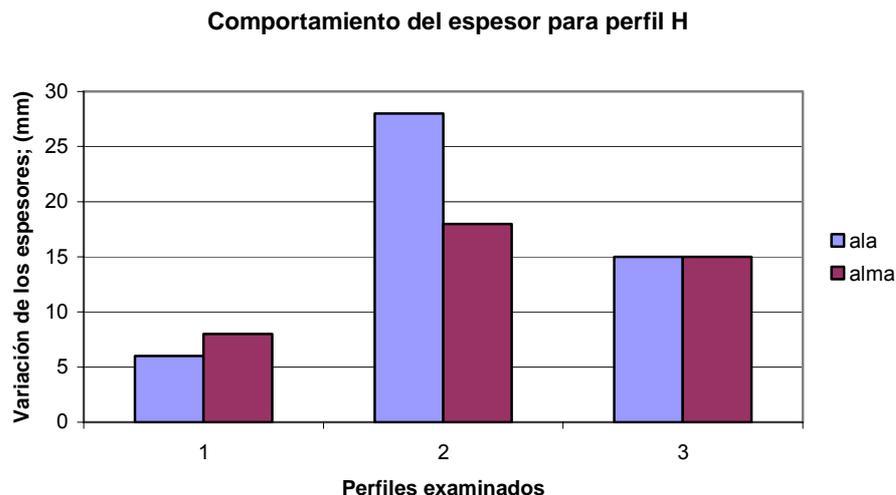


Figura 3.2. Espesor de los perfiles doble T de las vigas

Posteriormente teniendo en cuenta las características geométricas se determino el área de la sección transversal de la columna analizada.

$$A = 226 \text{ cm}^2$$

3.3 Cálculo de la resistencia mecánica de las estructuras

La resistencia mecánica de las vigas y columnas sometidas a una atmósfera altamente agresiva se ve afectada por una considerable reducción de su sección transversal, tanto en el ala como en el alma como se muestra en el (anexo 3.1).

La flexión longitudinal es un fenómeno que se lleva a cabo en el sentido de la menor inercia de la sección transversal o sea en el caso de la columna analizada, es en el eje de las Y, por lo que el modo de la sección es $I_y = 16581 \text{ kgf/cm}^4$ y esta caracterizado por el radio de giro mínimo; $i_{\min} = 8.565 \text{ cm}$, por lo que la esbeltez fue determinada según la ecuación 2.1 y su valor es $\lambda = 140$. La misma demuestra que el cálculo fue elaborado utilizando el método de Euler (Fernández Levy, 1983).

La carga crítica, se obtuvo según la ecuación 2.4 y su valor es de:

$$P_{\text{crít}} = 227300 \text{ kgf}$$

Una vez determinada la carga crítica se procede al cálculo de la tensión crítica, que no es más que aquella que define la fase de un elemento sometido a esfuerzo bajo la acción de cargas, y su valor obtenido a través de la ecuación 2.5 es:

$$\sigma_{\text{crít}} = 10.06 \text{ MPa}$$

Durante el cálculo de la condición de estabilidad el coeficiente de disminución de las tensiones admisibles que dependen del tipo de material y la esbeltez de la columna analizada es $\phi = 0.36$ según tabla (15.3) de Fernández Levy, 1983. Luego este valor es corregido por la ecuación 2.9 obteniéndose $\phi = 0.38$ y con este resultado se calcula la tensión admisible a la estabilidad según la ecuación 2.8 se obtiene un valor de:

$$[\sigma_e] = 61.9 \text{ MPa}$$

El coeficiente de seguridad a la resistencia para estructuras que exigen rigidez debe oxidar entre (2.4 – 4).

Por tanto el análisis de estabilidad según la expresión 2.7 se obtiene que la tensión máxima sea:

$$\sigma_{\text{máx}} = 14.9 \text{ MPa}$$

Como se cumple la condición de resistencia a estabilidad, es decir $\sigma_{\text{máx}} \leq [\sigma_e]$ entonces significa que no hay pérdidas de estabilidad.

Durante el cálculo de la condición de resistencia analizada en la ecuación 2.11 se obtuvo que el valor de la tensión máxima es de:

$$\sigma_{\text{máx}} = 4.61 \text{ MPa}$$

Este valor tiene un significado muy importante ya que el mismo expresa que por cada cm^2 la columna esta sometida a 4.61 MPa de esfuerzo.

3.3.1 Cálculo de la sollicitación a flexión

El cálculo de las vigas analizadas por el método de flexión fue elaborado mediante la utilización del software (Mecasoft), en el que a través del diagrama de esfuerzo cortante se alcanzaron los valores siguientes:

$$M_{f_{\max}} = 175 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$Q = -133 \text{ N}$$

$$R_{iz} = 112 \text{ N}$$

$$R_{\text{der}} = 749 \text{ N}$$

Posteriormente con el valor obtenido del momento flector máximo ($M_{f_{\max}}$) se procedió a determinar la tensión máxima mediante la expresión 2.13 y su valor fue:

$$\sigma_{\max} = 0.3 \text{ MPa}$$

Este valor de tensión máxima como se puede apreciar es menor que la tensión admisible, por tanto significa que se cumple la condición de resistencia, lo que indica que la viga resiste a las cargas a las que esta expuesta.

3.3.2 Cálculo de la columna sometida a compresión axial

Teniendo en cuenta la carga límite y la sección transversal de la columna se pudo determinar la tensión a compresión a través de la ecuación 2.14 y su valor es:

$$\sigma = 11.1 \text{ MPa}$$

Como se puede observar la columna resiste debido a que la tensión es menor que la tensión admisible a compresión.

3.4 Simulación por el Método de Elemento finito (MEF) para las columnas

El análisis de pandeo por el método de elemento finito (MEF), en el que la columna está sometida a una carga estática de 250000N, la misma experimenta en su extremo superior un desplazamiento máximo de 0.33 mm el cual se considera despreciable para producir fallas como se observa en la figura 3.1.

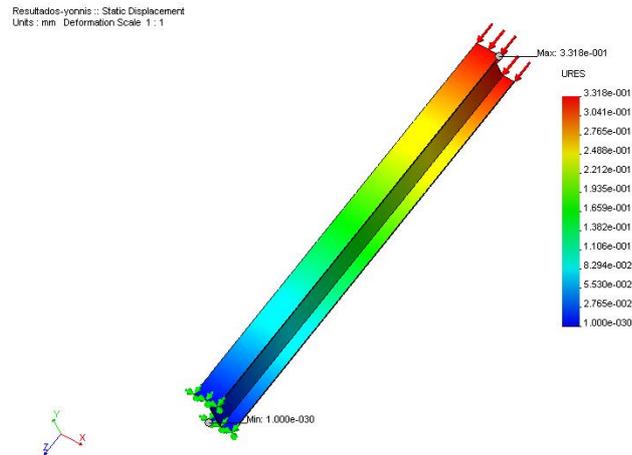


Fig. 3.1 Análisis de pandeo.

El comportamiento de las tensiones a lo largo de toda la columna no muestra valores peligrosos, siendo el máximo valor de tensión 11.28 MPa, lo que significa que la columna resistirá los esfuerzos a los que estará sometida (ver Fig. 3.2)

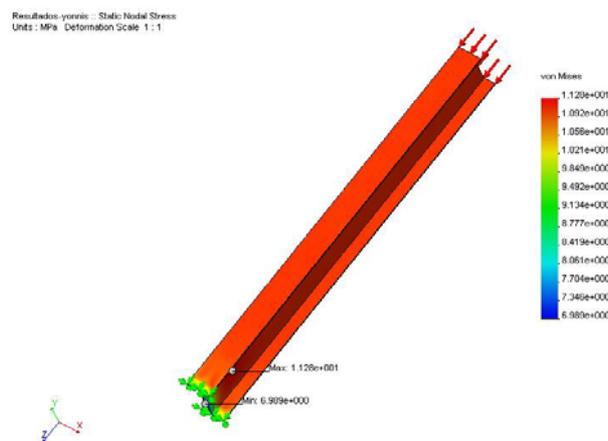


Figura 3.2 Análisis de resistencia

De acuerdo con las condiciones de trabajo, la columna posee un factor de seguridad igual a 31, el cual se considera un valor aceptado, comprendido según las normas de diseño para elementos sometidos bajo la acción de cargas es de 2.4 a 4 con el objetivo de lograr una óptima resistencia y una mayor fiabilidad de la estructura como se observa en la figura 3.3.

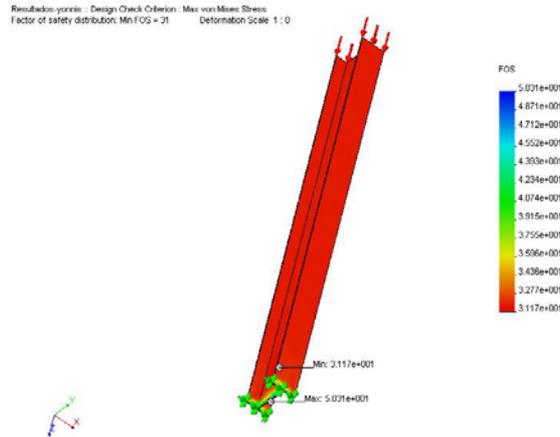


Figura 3.3 Análisis del factor de seguridad

3.4.1 Simulación por el Método Elementos Finitos para las vigas

El comportamiento de las tensiones a lo largo de toda la sección de la viga (500) que soporta el turboareador no muestra valores peligrosos, siendo su máximo valor de 12.3 MPa, lo que significa que la misma resiste a las condiciones de trabajo como se observa en la figura 3.4

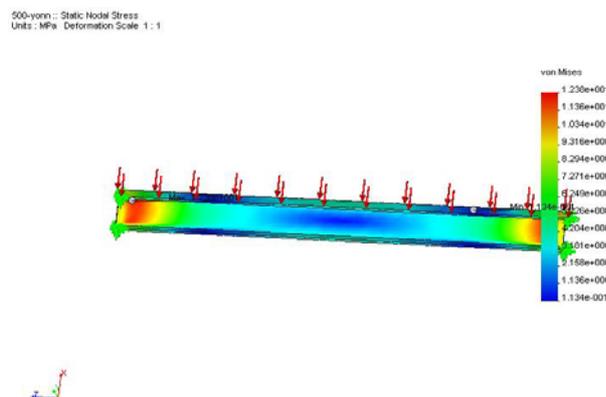


Figura 3.4. Distribución de las tensiones en las vigas horizontales

3.5 Determinación del cálculo de soldadura de las columnas

Teniendo en cuenta la cantidad de columnas analizadas por el método de soldadura, se pudo determinar la cantidad de electrodos utilizados mediante la ecuación 2.14 y arrojando un valor de:

$$C_E = 32 \text{ Kg.}$$

Posteriormente se procedió a determinar el cálculo correspondiente al tiempo principal de soldadura, en el que tuvo una gran incidencia la intensidad de la corriente, el mismo fue determinado a través de la ecuación 2.15 y su valor es:

$$T_0 = 1388 \text{ min.}$$

Una vez determinada la cantidad de electrodos consumidos y el tiempo principal de soldadura se realizó el cálculo del costo total por kg de material, el mismo se obtuvo mediante la ecuación 2.16 y su valor es de:

$$C_{sk} = 160 \text{ \$/Kg.}$$

3.6 Características de la atmósfera de la empresa "Cmdte. Ernesto Che Guevara".

Las emisiones contaminantes que se producen en la empresa "Cmdte. Ernesto Che Guevara". (Estudio de CECIGMA 2005) están conformadas principalmente por polvos en suspensión de los minerales y productos de níquel, gases (CO, SO₂, NH₃) que provienen fundamentalmente de los diferentes procesos realizados en cada una de las plantas, así como de las lluvias ácidas provenientes de la atmósfera.

Polvo: el polvo generado en la diferentes plantas llega a la atmósfera principalmente por: sistemas de aspiración insuficientes, derrames y salideros de minerales por los sellos (falta de hermeticidad); el mal estado técnico de los electrofiltros y en el caso específico de la planta de hornos de reducción la limpieza del polvo se realiza por soplado lo que provoca grandes emisiones de polvo a la atmósfera.

Gases: los principales gases contaminantes que se generan en las plantas y que pasan a la atmósfera son: CO, SO₂, H₂S, NO_x y NH₃ los cuales se generan por los diferentes procesos metalúrgicos del mineral para obtener el producto final; principalmente en los procesos de combustión del petróleo, la reducción calcinación y sinterización del mineral y en el proceso de lixiviación y lavado, donde estos pasan al medio ambiente principalmente por roturas, derrames y escapes por falta de hermeticidad en tuberías y ductos.

Lluvias ácidas: se forma cuando la humedad en el aire se combina con los óxidos de nitrógeno y el dióxido de azufre emitidos por fábricas, centrales eléctricas y vehículos que queman carbón o productos derivados del petróleo. En interacción con el vapor de agua, estos gases forman ácido sulfúrico y ácidos nítricos. Finalmente, estas sustancias

químicas caen a la tierra acompañando a las precipitaciones, constituyendo la lluvia ácida.

3.7 Valoración económica

Para la ejecución de los trabajos realizados en las estructuras metálicas que soportan los turboareadores de primera etapa de la planta de lixiviación y lavado se contrato a la brigada No7 de la Empresa Constructora y Reparadora del Níquel (ECRIN). Los materiales utilizados (Vigas y columnas) de perfiles H se localizaron en la Empresa inversionista las Camariocas, de procedencia Rusa y con iguales características químicas y mecánicas, o sea acero al carbono para construcción CT3 calmado.

En tabla 3.1 se muestra el costo total de reparación, sin incluir el mantenimiento anticorrosivo a columnas y vigas para reducir su deterioro progresivo y garantizar una mayor longevidad de las mismas. La misma fue realizada por el personal del grupo de Corrosión de la empresa "Cmdte. Ernesto Che Guevara".

Tabla 3.1. Costo total de la reparación realizada

Filas	Conceptos de gastos	Valores \$
1.	Materiales	191.483.83
2.	Mano de Obra	44.772.75
3.	Uso de Equipos	8.935.00
4.	Otros gastos directos en Obra	3.045.52
5.	Gastos generales de Obra	2.724.94
6.	Total de gastos de producción (1+2+3+4+5)	250.962.04
7.	Gastos indirectos de obra(Coeficiente 0.1236)	31.018.90
8.	Total de gastos indirectos de producción (7)	31.018.90
9.	Subtotal de gastos (6+8)	281.980.94
10	Presupuesto independiente de imprevistos (5%)	34.00
11	Presupuesto independiente transportación de suministros y Medios diversos del Constructor	929.21
12	Subtotal presupuestos independientes (10+11)	963.21
13	Costo total (8+12)	31.982.11

El costo total de reparación de las estructuras metálicas que soportan los turboaeradores de la planta de lixiviación y lavado de la empresa "Cmdte. Ernesto Che Guevara" una vez concluida la reparación es de 31 982.11 \$.

3.8 Impacto ambiental

Como se ha mencionado anteriormente la empresa "Cmdte. Ernesto Che Guevara" esta expuesta a serios problemas de contaminación ambiental y dentro de ella juega un papel protagónico la planta de lixiviación y lavado, los mismos pueden ocasionar no solo daños a las estructuras metálicas y equipos instalados en diferentes partes de la misma sino que pueden provocar afectaciones a la salud humana, a continuación mencionamos las principales afectaciones provocadas por los diferentes agentes contaminantes:

El amoníaco (NH₃): Tanto el líquido como el vapor, es fuertemente irritante para la piel, los ojos y las vías respiratorias. Es un gas muy tóxico y la exposición a altas concentraciones puede producir quemaduras, cegueras y hasta causar la muerte en algunas ocasiones.

Las concentraciones bajas de amoníaco pueden cortar la respiración, pero sin provocar efectos nocivos.

Las concentraciones medias de amoniaco pueden provocar decaimiento, irritación, congestión, hinchazón, entumecimiento de las membranas mucosas de los ojos, nariz y garganta y hasta la pérdida de la mucosa.

El líquido produce quemaduras graves, parecidas a las quemaduras cáusticas y estas varían de acuerdo con la concentración de amoniaco y del tiempo que se encuentra expuesta al mismo.

El polvo: Las partículas de polvo cuando interactúan con las estructuras metálicas generan desprendimiento de elementos particulados en el orden de micrones los cuales viajan a la atmósfera influyendo de forma negativa en el sistema respiratorio.

Las lluvias ácidas: Los contaminantes del aire tales como el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno pueden causar enfermedades respiratorias, o puede empeorarlas si ya se padecen. Las enfermedades respiratorias tales como el asma o la bronquitis crónica hacen que la gente tenga dificultad para respirar. La contaminación que causa la lluvia ácida también puede crear partículas pequeñas. Cuando estas partículas entran en los pulmones pueden provocar enfermedades o empeorar las que ya existan.

3.8.1 Soluciones para mitigar los contaminantes

La realidad práctica de una acertada estrategia ambiental en condiciones del necesario desarrollo sostenible demanda, tal como reclama la nación cubana, la inmersión armónica de múltiples instrumentos políticos y científicos, tecnológicos, jurídicos, educativos y de gestión, en un sistema integrado, en el cual todos sus componentes se interrelacionen e influyan mutuamente.

Para mitigar estos efectos la empresa "Cmdte. Ernesto Che Guevara" en su gestión ambiental tiene el propósito en vías de mejorar su entorno en cuanto a las afectaciones de esta planta llevar a cabo las siguientes medidas.

1. Elevación de la altura de succión de gases en todos los turboareadores de la primera etapa de lixiviación, para la eliminación de derrames y escapes de amoniaco.



2. Cambio de material de las conductoras principales de pulpa por aceros de mejor calidad (aceros AISI 316 y otros), para disminuir el índice de rotura de las estructuras.
3. Controlar el derrame de sustancias tóxicas que puedan ocasionar pérdidas materiales y humanas.
4. Cumplir estrictamente con las medidas de seguridad establecidas por la empresa.

3.9 Conclusiones del Capítulo

- El costo total por kg de material de las columnas que soportan los turboareadores No 4 y 5 de la serie A de primera etapa de lixiviación es de 160 \$/Kg.
- Los contaminantes que mayor incidencia tienen en la empresa "Comdte. Ernesto Che Guevara" son las lluvias ácidas, el polvo y los gases provenientes de las diferentes plantas.



CONCLUSIONES GENERALES

1. Se determino mediante los cálculos de resistencia a pandeo y por el MEF que las estructuras metálicas ofrecen resistencia a las condiciones de trabajo.
2. La cantidad de electrodos empleados en las estructuras metálicas que soportan los turboareadores No 4 y 5 de primera etapa de lixiviación según los cálculos de soldadura es de 32 Kg.
3. Se estableció un sistema de protección anticorrosiva a las estructuras metálicas que soportan los turboareadores No 4 y 5 con el objetivo de alargar su tiempo de trabajo.
4. La valoración económica realizada a las estructuras metálicas, arrojó un costo total de 31982.11 \$.



RECOMENDACIONES

- Mantener un control sistemático sobre las estructuras metálicas instaladas en la planta de lixiviación y lavado con el objetivo de detectar sus principales fallas y la acción de los agentes corrosivos.
- Reforzar las estructuras a través de planchas, vigas y tablillas metálicas para alargar la vida útil de éstas.
- Analizar si es posible disminuir los principales contaminantes que afectan dichas estructuras durante su explotación.

BIBLIOGRAFÍA

1. AILOR W, H. Atmospheric Corrosion", John Wiley, Nueva York, 1986. 3 p.
2. ARROYAVE, P. C.E. El papel del no2 en la corrosión atmosférica del acero. Universidad: *Complutense de Madrid*, 1995. 10 p.
3. ÁVILA, A. V. Influencia de los parámetros medioambientales en la corrosión de elementos estructurales metálicos. Holguín. Cuba, 2005. 5 p.
4. BISWAS, A. K.; GEPING, Q. Environmental Impact Assessment for Developing Countries. United Nations University, *Natural Resources and the Environment Series*, vol. 19. Tycooly Publishers, Londres, 1987. 10 p.
5. BERMAN, I. M. Fluidized Bed Combustion: FBC presents a way to burn coal with minimal SO₂ and NO_x emissions. Development work is leading into demonstration units by a number of manufacturers, *Power Engineering*, 1982. 10 p.
6. CORREA, R. Análisis del comportamiento de la resistencia mecánica de estructuras metálicas afectadas por la corrosión en la planta de Lixiviación de la ECG. Tesis de ingeniería. ISMMANJ, Moa, 2007. 51 p.
7. COSTA, J. Curso de ingeniería química. *Reverte*, 1994. 10 p
8. LIUBLINSKI, E. Corrosión en condiciones atmosféricas. Moscú, Metalurgia, 1987: 33- 36.
9. ETIOPIN. *Resistencia de Materiales*. Editorial Mir Moscú, 1980. 510 p.
10. FEODOSIEV, V. I. *Resistencia de Materiales*. Editorial Mir Moscú, 1980. 583 p.
11. FERNÁNDEZ LEVY. G. *Resistencia de Materiales*. Villa Clara, 1980. 511 p.
12. GALVÁN SIERRA, J. C. Estudio de la capacidad anticorrosiva de las películas de pintura mediante técnicas electroquímicas. *Universidad complutense de Madrid*. España, 1986. 15 p.

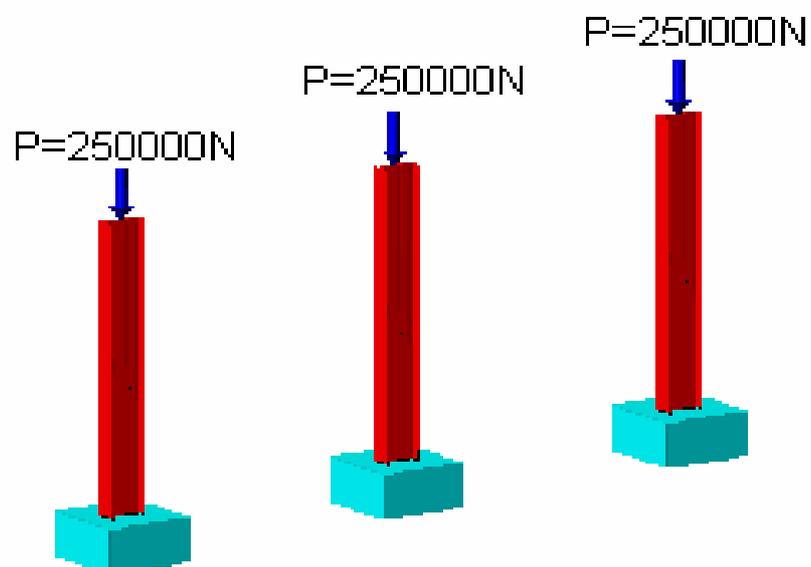


13. GERACIMIENKO, A. A. Protección de la corrosión, el envejecimiento y la biodegradación de maquinas, equipamiento y construcciones. Construcción de materiales. Moscú, 1987. 30 p.
14. GULIAEV, *Ciencia de los materiales*. Metalurgia. Moscú, 1986. 150 p.
15. H. MIJAILIOSKI. *Corrosión atmosférica de los metales, métodos de protección*, Moscú, Metalurgia, 1989. 200 p.
16. J. PHILIBERT. Du mineral au matériau, 1998. 3 p.
17. J. BENARD et coll, L'Oxydation des métaux, 1962. 5 p.
18. LOPEZ, V. Técnicas de laboratorio, *Edunsa*, 2ª edición, Octubre 1994. 8 p.
19. Manual de AUTO CAD 2000.
20. Manual de Cosmos Desingstar
21. Martinez, M. Auditoria Ambiental de la ECG, 1998. 234 p.
22. PÉREZ, P. C. Estudio de los sistemas de protección de las superficies metálicas expuestas a la intemperie. Universidad de Santiago de Compostela, 1997. 20 p.
23. SABLON, J. *Fallas de estructuras metálicas instaladas en la planta de lixiviación de la empresa Ernesto Che Guevara sometidas a atmósfera corrosiva*. Tesis de maestría. ISMMANJ, Moa, 2008. 57 p.

Anexo 1. Influencia de agentes contaminantes en las estructuras metálicas



Anexo 2. Ubicación de cargas de pandeo





Anexo 3 Informe sobre la avería ocurrida en la planta de Lixiviación de la empresa “Cmdte. Ernesto Che Guevara”.

	EMPRESA ERNESTO CHE GUEVARA		
	GRUPO EMPRESARIAL DEL NIQUEL. MINBAS.		
	Carretera Moa-Baracoa km 5. CP83330. Moa. Holguín. CUBA. Pizarra: 6-8012 . Fax: 6-2240		
	UB MANTENIMIENTO/ Grupo Corrosión		
			INFORME
De:	Pedro Manuel Rodríguez Sablón	385	
Para:	Jose L. Abella		
Fecha:	10 de Abril de 2009		
Asunto:	Informe de la avería de los TA- 101---108A		

INFORME

Planta: Lixiviación y Lavado.

Equipo: Turboaeradores serie A, primera etapa (101-108A).

Los turbos tienen como función lixiviar el níquel y el cobalto de la pulpa mediante la aireación con el aire. Es decir, son reactores donde se verifican las reacciones químicas de oxidación de las diferentes especies químicas que componen el mineral reducido.

Datos constructivos:

- Espesor de la pared: 8.0mm
- Espesor de la mocheta: 6.0mm
- Diámetro: 4000mm
- Altura: 5000mm
- Material: Ac 20 K
- Velocidad del motor: 1800 r.p.m.

Datos Tecnológicos

- Temperatura de trabajo: 30-50 °C.
- Composición fase líquida: NH₃ – 0.06 %; CO₂ – 0.03 %; Ni – 0.012 %; H₂O – 0.898%



Según plano: 355.564.00.00.000B0, 355.576.00.000B0

Las estructuras de sustentación de los TA; vigas principales, columnas, pisos, barandas fueron diseñadas con la capacidad de resistencia mecánica suficiente para soportar las condiciones de explotación de estos equipos, tanto en condiciones normales como en circunstancias de un fenómeno natural.

Estas instalaciones están sometidas a condiciones de explotación muy severas, constantes derrames de pulpa, licor producto, aguas que son utilizadas en la limpieza de piso y agua de lluvia incluyendo una atmósfera industrial altamente agresiva. De todos estos productos que hemos enumerados los más dañinos son la pulpa, agua de lluvia y la atmósfera industrial severa.

Pulpa

Los derrames de pulpa cuando ocurren, gran parte de los sólidos se depositan en estas estructuras permaneciendo por largos periodos de tiempo; estos sólidos conservan mucha humedad incluyendo los agentes químicos que los acompañan.

Agua de lluvia.

El agua de lluvia que se forma en la atmósfera absorbe gas carbónico y sulfatos dando lugar a la formación de ácidos diluidos (carbónico y sulfúrico).

Conclusiones

La causa que originó la avería en las estructuras de los TA 104 y 105A es la pérdida de espesor de los perfiles que están sometidos a alta sollicitaciones de cargas.

El deterioro de los perfiles está dado por el efecto de la corrosión al cual fueron sometidos por un periodo mayor de 15 años, donde intervinieron la combinación de varios factores tales como:

1. Acumulación de cola en las vigas principales.
2. constantes derrames de agua y agentes químicos (pulpa lixiviada).
3. Lluvias ácidas.
4. Atmósfera industrial altamente agresiva.
5. La falta de protección anticorrosiva que por razones económicas se suspendió desde el año 1989.



6. Desde el año 2000 ya se evidenciaba el mal estado de estas estructuras, pero teniéndose en cuenta que todas estas serían demolidas con la modernización, prácticamente no se le dio mantenimiento.

Recomendaciones

1. Restablecer todos los perfiles dañados, reforzar las vigas y columnas con pérdidas de espesor en las alas y alma, las cuales están sometidas a mayores esfuerzos, así como restablecer la protección anticorrosiva lo antes posible, tanto de los turbos como de las estructuras.
2. Eliminar todos los escombros, sedimentos de pulpa y herrumbre que están adheridos a las estructuras.
3. Establecer sistema de limpieza permanente, que evite la acumulación de sólidos en pisos y estructuras.

Elaborado por: Ing. Pedro M Rodríguez Sablón.
Tec. Sup Mtto.

Vto. Bno: Ing. José A Sablón Leyva.
Esp Princ. Corrosión.



Anexo

En este informe se anexan algunas imágenes demostrativas del estado, de todas estas estructuras, donde se aprecia todo lo antes expuesto.

