



**REPÚBLICA DE CUBA  
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA  
"Dr. Antonio Núñez Jiménez"  
FACULTAD DE METALURGIA Y ELECTROMECAÁNICA  
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**

# **TRABAJO DE DIPLOMA**

*En opción al título  
De  
Ingeniero Mecánico*

**TITULO:** *Diseño del accionamiento mecánico de los Turboareadores de la planta "Lixiviación y Lavado" de la Empresa Cdte. Ernesto Che Guevara de Moa.*

**AUTOR:** Evenecer Díaz Charles.

**TUTORES:** MSc. Isnel Rodríguez González.

Ing. Jorge Botey Rodríguez.

**"Año 50 de la Revolución"  
Moa, Holguín  
2008**



# DECLARACIÓN



---

## **DECLARACIÓN DE AUTORIDAD**

---

Yo Evenecer Díaz Charles autor intelectual de este trabajo de diploma, y los tutores MSc. Isnel González Rodríguez y el Ing. Jorge Botey Martínez certificamos esta obra a solicitud del Instituto Superior Minero Metalúrgico Dr. Antonio Núñez Jiménez de Moa para que la misma lo utilice con la finalidad que estime conveniente.

---

Diplomante: Evenecer Díaz Charles

---

MSc. Isnel González Rodríguez

---

Ing. Jorge Botey Martínez



# PENSAMIENTOS



---

## PENSAMIENTOS

---

“Educar es depositar en cada hombre toda la obra humana que le ha antecedido: es hacer a cada hombre resumen del mundo viviente, hasta el día en que vive: es ponerlo al nivel de su tiempo, para que flote sobre él, y no dejarlo debajo de su tiempo, con lo que no podrá salir a flote: es preparar el hombre para la vida”.

**José Martí; Apóstol Nacional de Cuba.**

“...La mecánica es el paraíso de todas las ciencias”.

**Leonardo Da Vinci.**

“Como mismo la naturaleza les reveló su secreto a los hombres del pasado; así mismo lo hará con los hombres del presente. Solamente tienen que hacerse las preguntas correctas”...

**Albert Einstein.**



# AGRADECIMIENTOS



## AGRADECIMIENTOS

---

*Quiero agradecer primeramente antes que a todo, a Dios, que si no fuera por su voluntad hoy yo no fuera lo que soy.*

*A la Revolución Cubana y a su líder indiscutible Fidel Castro Ruz que me dieron la oportunidad de hacerme un profesional competente de forma gratuita.*

*Al departamento de Mecánica y a su talentoso claustro de profesores por su entrega y dedicación en cada una de las clases.*

*A mis tutores MSc. Isnel González Rodríguez y al Ing. Jorge Botey Martínez por transmitirme sus experiencias.*

*A mi mamá Olga A. Charles Maslén quien siempre confió en mí y supo ayudarme cuando más lo necesitaba.*

*A mi abuela Emilia Maslén Contí que siempre se preocupó por mí.*

*A mi hermana Elianne Hechavarría Charles por aportar su granito de arena por mi causa.*

*A mi tía Moraima Charles Maslén que me dio el aliento para estudiar.*

*A mi novia Aráís Rouseaux Duvergel y sus padres que me apoyaron siempre.*

*A Keila Cabrejas Fiss y a sus padres por todo lo que hicieron por mí.*

*A Williams Argüelles y a todos los trabajadores de la planta de Lixiviación por su ayuda desinteresada.*

*A mis compañeros de aula que supieron extenderme una mano cuando lo necesité y a todas aquellas personas que de una manera u otra contribuyeron a la realización de esta obra.*

*A todos gracias, muchas gracias de todo corazón.*



# DEDICATORIA





---

## DEDICATORIA

---

*Dedico la culminación de este trabajo de diploma:*

*A mi mamá Olga A. Charles Maslén.*

*A mi abuela Emilia Maslén Contí.*

*A mis hermanas Elianne, Evelyn y Yesenia.*

*A mis tíos y tías.*

*A todos mis primos y primas.*

*A mis abuelos paternos Rafael y Cándida.*

*A mi novia Aráís Rouseaux Duvergel.*

*A la memoria de mi abuelo Jaime Charles Jean-Michel que estaría orgulloso de este momento.*

*A todos mis amigos y a todos aquellos que me vieron y me dieron todo su apoyo para que este sueño se hiciera realidad.*

*Llégueles esta obra como una muestra de afecto por mi sacrificio y satisfacción.*

# RESUMEN

## **RESUMEN**

---

El presente trabajo de diploma que tiene como título: Diseño del accionamiento mecánico de los Turboareadores de la planta Lixiviación y Lavado de la empresa Cde. Ernesto Che Guevara de Moa, se realizó con el objetivo de aumentar la velocidad angular a la salida del moto-reductor de los turboareadores que laboran en dicha planta, a partir de una metodología de cálculo que permita realizar el diseño de un nuevo par de engranaje de la segunda etapa del mismo; así como la determinación de la geometría y dimensiones básicas del impelente que va asociado a él; para lograr que la eficiencia de extractado de níquel sea la mayor posible, evitando considerables pérdidas económicas por concepto de trabajo.

Se llevó a cabo la revisión y el análisis de los trabajos precedentes que sobre la temática han sido publicados, valorando el estado actual del proceso de la lixiviación carbonato-amoniaca, estableciendo además las bases de la evaluación integral del sistema.

Luego se establece el análisis de los resultados obtenidos por la metodología de cálculo por un lado; y por el otro se determina la influencia de las tensiones en el área de trabajo de los diferentes tipos de dispositivos en estudio, mediante el Método de Elementos Finitos (MEF).

Además de todo esto se refleja la valoración económica y ambiental de la propuesta estudiada y finalmente se emiten las conclusiones y las recomendaciones obtenidas a lo largo de todo el estudio, se muestra la bibliografía consultada y los anexos que incluyen la hoja de cálculo y los diferentes planos del diseño de las piezas.

## ABSTRACTS

---

The present investigation that has as title: Design of the mechanical working of the Turbo-aerator of the plant Lixiviation and Laundry of the company Cdte. Ernesto Che Guevara of Moa, was carried out with the purpose of increasing the angular speed to the exit of the motor-reducer of the turbo-aerator of the plant, starting from a calculation methodology that allows to carry out the design of a new couple of engagement of the second stage of the same one; as well as the determination of the geometry and basic dimensions of the impeller one that it goes associated to him; to achieve that the efficiency of having summarized of nickel is the biggest possible, avoiding considerable economic losses for work concept.

It was carried out the revision and the analysis of the precedent investigations that it has more than enough the thematic one they have been published, valuing the current state of the process of the lixiviation carbonate-ammoniac, also establishing the bases of the integral evaluation of the system.

Then the analysis of the results obtained by the calculation methodology settles down on one hand; and for the other one the influence of the tensions is determined in the workspace of the different types of devices in study, by means of the Elements Finite Method (F.E.M.).

Besides all this it is reflected the economic and environmental valuation of the studied proposal and finally the conclusions and the recommendations are emitted obtained along the whole study, it is shown the consulted bibliography and the annexes that include the calculation leaf and the different draws of the design of the pieces.



# ÍNDICE

**ÍNDICE**

	<b>Introducción</b> .....	1
<b>Capítulo I</b>	<b>Marco teórico- metodológico de la investigación</b> .....	5
1.1-	Introducción del capítulo.....	6
1.2-	Desarrollo del proceso de Lixiviación carbonato-amoniaca.....	6
1.3-	Generalidades de los Turboareadores.....	8
1.4-	Generalidades de las transmisiones dentadas.....	10
1.5-	Generalidades de los impelentes de agitación mecánica.....	12
1.6-	Principio de la Hidrodinámica aplicada a los Turboareadores.....	15
1.7-	Utilización del Método de Elemento Finito como complemento para el análisis de las tensiones estáticas de la rueda dentada y el impelente	16
1.8-	Conclusiones del capítulo.....	18
<b>Capítulo II</b>	<b>Materiales y Métodos</b> .....	19
2.1-	Introducción del capítulo.....	20
2.2-	Materiales utilizados para la medición del engranaje y el impelente	20
2.3-	Materiales empleados para la elaboración del engranaje y el impelente.....	20
2.4-	Metodología de cálculo para el diseño de la segunda etapa del reductor de los Turboareadores de la planta de Lixiviación y Lavado	23
2.5-	Metodología de cálculo para el diseño del impelente de los Turboareadores de la planta de Lixiviación y Lavado.....	27
2.6-	Metodología del Método de Elemento Finito.....	31
2.7-	Conclusiones del capítulo.....	32
<b>Capítulo III</b>	<b>Análisis de los resultados, valoración económica y ambiental</b> .....	33
3.1-	Introducción del capítulo.....	34
3.2-	Análisis de los resultados de las metodologías de cálculos del engranaje y el impelente.....	34
3.3-	Análisis de los resultados de la simulación por el Método de Elementos Finitos.....	36
3.4-	Valoración económica.....	40
3.5-	Impacto ambiental.....	42
	Conclusiones del Capítulo	45



---

<b>Conclusiones</b> .....	46
<b>Recomendaciones</b> .....	48
<b>Bibliografía</b> .....	50
<b>Anexos</b>	



# INTRODUCCIÓN





## INTRODUCCIÓN

---

La industria del níquel en el mundo ha jugado un papel fundamental en el desarrollo de diferentes ramas de la economía como la sidero-metalúrgica, la automotriz, la aeronáutica, la naval entre otras. Dada la importancia que ésta presenta en la actualidad se ponen en práctica todos los conocimientos y valores humanos posibles con el objetivo de aumentar las producciones de níquel y cobalto que se pueden obtener a partir de los minerales lateríticos. En nuestro país eso se concreta mediante la elaboración de distintas formas de desarrollo en esta industria, trabajando con ímpetu para lograr que la misma aumente en producción y eficiencia. Las principales industrias del níquel en Cuba se encuentran en la zona noreste de la provincia de Holguín, y más específicamente en Nicaro, municipio Mayarí; y en el municipio de Moa. En nuestros días contamos con 4 plantas encargadas con este fin: 3 de ellas en Moa; como son la Cdte. Pedro Sotto Alba que utiliza la lixiviación ácida como recurso para la extracción de níquel+cobalto, la empresa Cdte. Ernesto Che Guevara y una tercera que se encuentra en fase de desarrollo, Las Camariocas; y la cuarta se encuentra en Nicaro, la empresa René Ramos Latour.

Las empresas René Ramos Latour de Nicaro y la Cdte. Ernesto Che Guevara de Moa emplean como método de extracción del níquel a la lixiviación carbonato-amoniaca o proceso CARON como comúnmente se le denomina.

Para nuestro país la rama niquelífera constituye una de las principales de su desarrollo, su importancia radica entre otras causas, en la existencia de grandes yacimientos de mineral oxidados de níquel del tipo laterítico que se asientan en la costa noreste de la provincia de Holguín donde se encuentran en explotación dos grandes complejos industriales que aplican este proceso.

En este trabajo de diploma se trabajará en una de las plantas de proceso; en la Planta de Lixiviación y Lavado, específicamente en el accionamiento mecánico de los Turboareadores (TA).

### **Proceso tecnológico de la planta Lixiviación y Lavado**

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 (*ver la figura 1.2*



en los anexos) 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 el 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.

### **Fundamento de la investigación**

Los Turboareadores de la planta de Lixiviación son los reactores donde se verifican las reacciones químicas de oxidación de los diferentes elementos químicos que componen el mineral reducido de níquel.

De estos reactores es que depende la extracción del níquel por lo que es de mucha importancia darle un seguimiento minucioso a su comportamiento con el objetivo de prevenir a tiempo cualquier anomalía que pueda existir en su funcionamiento.

Durante el estudio que se pudo realizar se determinó que la principal deficiencia que tiene es que el accionamiento mecánico en su conjunto no le entrega al proceso como tal, la velocidad angular necesaria para que se realice con mayor eficiencia la extracción de níquel en el mismo.

Dada la eficiencia planteada en este proceso se concreta como **Situación problemática:**

En el funcionamiento de los Turboareadores de la planta de Lixiviación y Lavado de la Empresa del níquel Cdte. Ernesto Che Guevara existe una deficiencia que está asociada con velocidad de rotación insuficiente que se le suministra al impelente del agitador de la pulpa de mineral, debido a que el accionamiento mecánico no posee las



características necesarias para que el proceso se realice con la mayor calidad posible, afectando el extractado de mineral, la eficiencia metalúrgica, conduciendo a paradas frecuentes por averías, incrementando los costos de explotación y reduciendo la cantidad de mineral en el proceso de sedimentación y, por consiguiente, estarán presentes las pérdidas económicas relacionadas con este proceso.

**Problema:** Insuficiente velocidad de rotación en el accionamiento de los Turboareadores de la Planta de Lixiviación y Lavado en la Empresa “Ernesto Che Guevara” lo que dificulta el proceso de extracción de níquel.

**Hipótesis:** Es posible mediante el diseño de un nuevo par de engranaje en la segunda etapa del reductor del Turboareador y de un impelente, garantizar el buen funcionamiento de los mismos, logrando incrementar la eficiencia de mineral extractado.

**Objeto:** Proceso de aireación de los Turboareadores.

**Objetivos del trabajo:**

**General:** Rediseñar la segunda etapa del reductor y el impelente de los Turboareadores en la planta de lixiviación y lavado de la ECG.

**Específicos:**

- Determinar los parámetros básicos del nuevo par de engranaje.
- Definir la geometría nueva del impelente del Turboareador que garantice una mayor agitación.

**Tareas de la investigación:**

- Realización de una búsqueda bibliográfica y establecimiento del estado del arte.
- Determinar la disponibilidad de los Turboareadores.
- Análisis del accionamiento actual.
- Análisis de los impelentes actuales.
- Valoración de los resultados obtenidos.



# CAPÍTULO I

---

## CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

---

### 1.1- Introducción del capítulo

En el presente capítulo se dará a conocer de manera explícita y sintetizada el flujo tecnológico por la que atraviesa la Unidad Básica de Producción (UBP) de Lixiviación y Lavado de la Empresa Cdte. Ernesto Che Guevara, el principio de funcionamiento de los Turboareadores que laboran en la misma, así como, la clasificación y diferencia entre uno y el otro, además de otras cuestiones generales tales como la clasificación de los engranajes entre otros.

### 1.2- Desarrollo del proceso de Lixiviación carbonato-amoniaca

Se entiende como **Lixiviación** al proceso de extracción de un constituyente soluble a partir de un sólido que lo contiene, utilizando para ello un solvente adecuado. En el caso de la lixiviación carbonato amoniaca este solvente es el denominado licor amoniaca, y el proceso de disolución de los metales se lleva a cabo mediante reacciones químicas muy controladas.

Las investigaciones sobre la lixiviación carbonato amoniaca se remontan a finales del siglo XIX y principios del XX. En 1924 **M. H. Caron** establece una patente que describe un proceso de extracción con el empleo de soluciones que contenían amoníaco y dióxido de carbono, donde podían lixivarse el níquel y el cobalto a partir de minerales oxidados de níquel previamente reducidos. Dicha tecnología, conocida hoy en día como proceso CARON, se utiliza desde hace más de 50 años en Cuba para la recuperación de níquel quedando la mayoría del cobalto en el residuo denominado cola.

La tecnología carbonato amoniaca que se implantó en Cuba a finales de la década del 40, (**Castellanos et al, 1972**), se utilizaba como sustancias reductoras la mezcla de gas pobre ( $\text{CO} - \text{H}_2$ ) obtenidos a partir de la antracita en hornos de reducción de múltiples hogares.

En base a lograr una mejor extracción de níquel y cobalto en mineral de tipo laterítico se han realizado diversos trabajos que analizan principalmente los aspectos de reducción-lixiviación.

A finales de la década del 60 se comenzó a estudiar una variante, en la cual, manteniendo el gas reductor, se quema petróleo en los diferentes hogares de los hornos múltiples.

**De Graff, (1979)** investigó el efecto de diferentes agentes reductores. **Chander y Sharma, (1980)**, estudiaron como lograr una mejor extracción de níquel reduciendo el mineral a sus valores metálicos a temperaturas algo superiores a 973 k. **Castellanos, (1985)**, valoró la efectividad de la utilización del petróleo aditivo como agente reductor en el proceso CARON, demostrando que para diferentes adiciones de petróleo se produce un incremento notable en la extracción de níquel (10-15%). **Acosta et al, (1996)** realizó trabajos a escala de banco sobre la reducción de petróleo, (tipo Masut), de minerales lateríticos utilizando para ello diferentes porcentajes del mismo, obteniéndose como resultado que para el mineral laterítico a temperaturas de 750 °C, 3% de petróleo aditivo y 10 min de retención se obtienen las mejores extracciones de níquel y cobalto.

En cuanto a la lixiviación se han realizado investigaciones como las de **Rezvanov y Onishin, (1970)** los cuales analizaron los distintos tipos de floculantes para aumentar la velocidad de sedimentación de la pulpa con el objetivo de encontrar una velocidad óptima de lixiviación de éstas, que permita la lixiviación conjunta de las lateritas y las serpentinas. En dicho trabajo se demostró que la reducción que tiene lugar a altas temperaturas por la adicción de carbono influye negativamente en la extracción de níquel y cobalto, aún en presencia de los floculantes.

En 1980, **Osseo – Asare y Asihene** describen desde el punto de vista químico el fenómeno de disolución y precipitación asociado con la recuperación de níquel y cobalto en las incrustaciones de magnesio, en el contexto de los diagramas de pH-<sup>0</sup>E en el sistema de lixiviación carbonato amoniacal-mineral laterítico, así como los fundamentos básicos del proceso CARON.

**Herrera y Presillas, (1968)** registraron una patente sobre un procedimiento para extraer cobalto y níquel de los minerales con alto contenido de hierro y bajos valores de cobalto y de níquel, para ello emplean soluciones de carbonato de amonio-amoniacal y como agente de oxidación el aire atmosférico.

En dicho trabajo se emplearon soluciones que contenían entre 107 y 137 g/L de amoniaco total, 31 y 40 g/ L de dióxido de carbono y un contenido de amonio libre de 68.5 y 98 g/L. Con el empleo de estas soluciones se logran extracciones de níquel de 84 % y de cobalto de 60.8-72.8 %. Estos resultados muestran el efecto beneficioso producido por la lixiviación de dichos minerales reducidos con una solución lixivadora de relativamente alta concentración másica del dióxido de carbono, una relación molar alta entre el amoniaco y el dióxido de carbono a altas concentraciones másicas del amoniaco libre.

**Fiffe y Granda, (1985)** realizaron un estudio sistemático a nivel de laboratorio sobre el comportamiento del níquel y el cobalto en soluciones de carbonato amoniacal reportando datos cinéticos de dicho proceso, así como aspectos del mecanismo de disolución.

Como se puede apreciar estos trabajos se referían principalmente a la búsqueda de mayores extracciones de níquel y cobalto en el proceso carbonato amoniacal variando diferentes parámetros operacionales que influyen en dicho proceso.

### **1.3- Generalidades del los Turboareadores**

El Turboareador, ver la (*figura 1.3 de los anexos*), que opera en la planta de Lixiviación y Lavado, es el equipo encargado de lixiviar el níquel y el cobalto contenido en la pulpa de mineral proveniente de la planta de Hornos de Reducción, o sea, que mediante la agitación de los residuos de la pulpa de mineral con soluciones amoniacaes y de carbonato y por el suministro de aire de alta presión por el burbureador, se produce la oxidación del hierro contenido en la misma, posibilitando el rebose del licor rico en mineral de níquel y cobalto.

#### **1.3.1 Principio de funcionamiento de los Turboareadores de la Planta de Lixiviación y Lavado**

La principal actividad de los Turboareadores es lograr la turbulencia adecuada en el interior del tanque, mediante la ayuda de un **agitador mecánico**.

Para el estudio de los mismos se ha tomado como referencia su similitud con los diferentes tipos de agitadores mecánicos.

La agitación, en su aspecto tecnológico, consiste en producir movimientos irregulares turbulentos en un fluido, por medio de dispositivos mecánicos que actúan sobre el mismo.

Encuentra amplia aplicación industrial para acelerar ciertas operaciones como la extracción, el mezclado, la absorción, la transferencia calorífica y algunas reacciones químicas.

Las características principales que posee el Turboareador que opera en la planta de Lixiviación y Lavado es que posee un accionamiento mecánico, el cual está compuesto por un motor eléctrico de 55 kW de potencia y reductor acoplado a él, de dos etapas con una relación de transmisión total  $i_T = 22.8$ .

### **1.3.2 Clasificación de los Turboareadores de la planta de Lixiviación y Lavado**

Los Turboareadores son considerados en su aspecto teórico como dispositivos mecánicos de agitación, los cuales pueden ser muy variados, desde un batidor de huevos doméstico hasta un velocísimo molino coloidal. Constan de tres partes fundamentales: el impelente o agitador, el árbol y el accionamiento mecánico.

Los agitadores rotativos pueden ser de distintas formas y tamaños y pueden girar solidarios con sus ejes, en tanques cilíndricos, cónicos, semiesféricos o rectangulares. Ejemplo de estos tipos de agitadores son los de hélice marina, los de paletas y las turbinas de álabes curvadas o las que forman un ángulo con respecto al eje central.

Los Turboareadores de la planta de lixiviación y lavado se clasifican en función del tipo de moto reductor que emplean para mover el accionamiento mecánico del mismo, en este caso tenemos tres tipos de moto reductores:

1. Moto reductor de la antigua URSS (inutilizado).
2. Moto reductor de la firma mexicana Mecánica FALK.
3. Moto reductor de la firma española ECHESA (el más utilizado).

### **1.3.3 Disponibilidad de los Turboareadores**

La disponibilidad es la probabilidad de que el activo, en este caso el Turboareador, se encuentre en condiciones de cumplir su función en cualquier instante excepto en el tiempo de paradas para el mantenimiento, ya sea preventivo o por diagnóstico.



También se puede expresar por el tiempo de operación dividido por la suma del tiempo de operación más el tiempo de fallo. En *el gráfico 1.1 mostrado en los anexos* se muestra la disponibilidad de los Turboareadores desde enero hasta junio del año 2008.

Para lograr que el Turboareador trabaje con una mayor eficiencia, el mismo deberá trabajar con una velocidad angular no menor a 90 rev/min., y esto lo garantizará el moto-reductor allí instalado. Para ello se rediseñará la segunda etapa del engranaje del reductor ECHESA que opera en los Turboareadores y a la vez se determinará las dimensiones básicas y la geometría del impelente correspondiente al mismo, para así lograr que aumente la calidad de la extracción de níquel y cobalto en el proceso de lixiviación de la industria del níquel.

#### **1.4- Generalidades de las transmisiones dentadas**

El mecanismo de engranaje es una transmisión mecánica que, mediante la ayuda del engrane transmite o convierte el movimiento cambiando las velocidades angulares y/o los momentos torsores.

Los engranajes se emplean para transmitir el movimiento de rotación entre árboles paralelos (engranajes cilíndricos de dientes rectos, oblicuos y angulares), árboles que se cortan (ruedas cónicas o hipoides) y árboles que se cruzan (engranajes helicoidales), así como, para transformar el movimiento de rotación en movimiento de avance y viceversa (engranajes cilíndricos de dientes rectos y cremalleras).

Los engranajes es el grupo de transmisiones mecánicas más difundido e importante. Se emplean en los más diversos campos y condiciones de trabajo: desde relojes y aparatos hasta máquinas muy pesadas; para transmitir fuerzas circunferenciales, momentos y potencias; con diámetros de las ruedas desde fracciones de milímetros hasta más de diez metros.

En la figura 1.4 mostrada en los anexos se muestran los diferentes tipos de engranajes que se utilizan para las transmisiones mecánicas.

Los engranajes en comparación con otras transmisiones mecánicas poseen diferentes ventajas y desventajas. A continuación se dan a conocer algunas de ellas.

##### **1.4.1 Ventajas de los engranajes**

Las transmisiones mecánicas por engranaje presentan las siguientes ventajas:

1. Las dimensiones exteriores son pequeñas.
2. Poseen un elevado grado de rendimiento.
3. Presentan gran duración y fiabilidad de funcionamiento.
4. La constancia de la relación de transmisión por ausencia de patinaje es elevada.
5. La posibilidad de emplearlos dentro de un campo ancho de momentos, velocidades y relaciones de transmisión es amplia.
6. Son elementos esenciales en la mayoría de las máquinas industriales.

#### 1.4.2 Desventaja de los engranajes

La mayor desventaja que presentan las transmisiones por engranaje es que son muy ruidosas durante su funcionamiento a grandes velocidades de operación.

#### 1.4.3 Particularidades del engranaje cilíndrico de dientes rectos

Los engranajes cilíndricos de dientes rectos se utilizan para transmitir movimientos de rotación entre ejes paralelos. Los dientes son paralelos al eje de rotación. En la Figura 1.4 se representan las características principales de un engranaje recto:

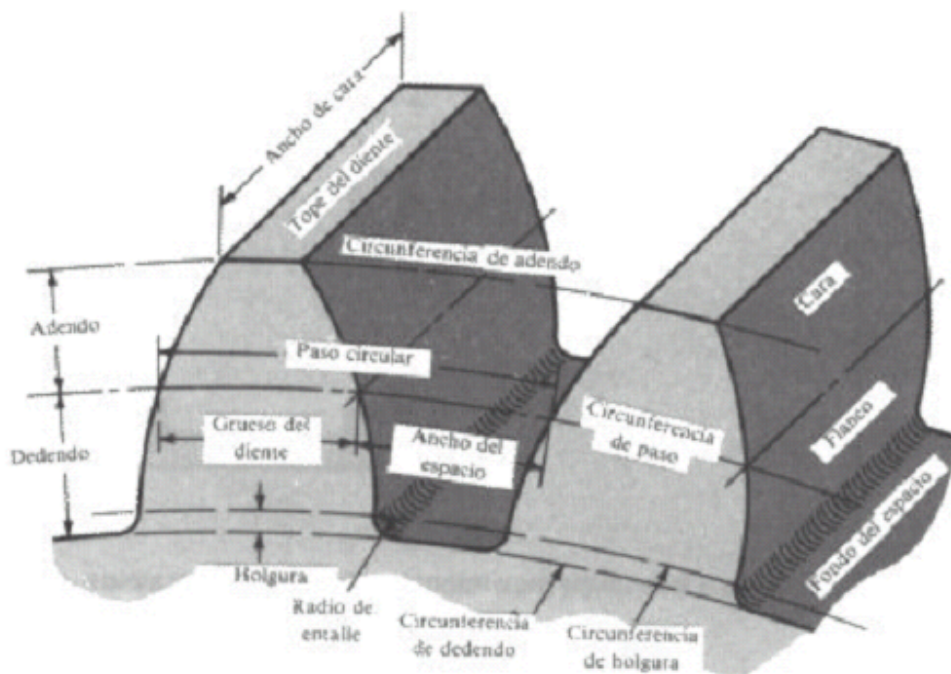


Figura 1.4 Nomenclatura de los dientes de engrane.

Donde:

$p$ , paso circular (medido en la circunferencia de paso en mm entre 2 dientes).

$m$ , módulo normal

$Z$ , número de dientes.

$a$ , adendo.

$t$ , dedendo.

El contacto inicial de los engranes de dientes rectos (Figura 1.5) tendrá lugar cuando el flanco del diente impulsor quede en contacto con la punta del impulsado (punto  $a$ , donde la línea  $ab$  cruza la circunferencia de adendo del engranaje).

El punto de contacto final sucede cuando la circunferencia de adendo del impulsor corta a la línea de presión (punto  $b$ ).

Si se aumenta la distancia entre centros de un par de engranes (respecto de la distancia que corresponde a las circunferencias de paso de diseño) se originan dos nuevas circunferencias de paso de operación. Este cambio no influye en las circunferencias base, pero se incrementa el ángulo de presión y se reduce la longitud de la línea de acción.

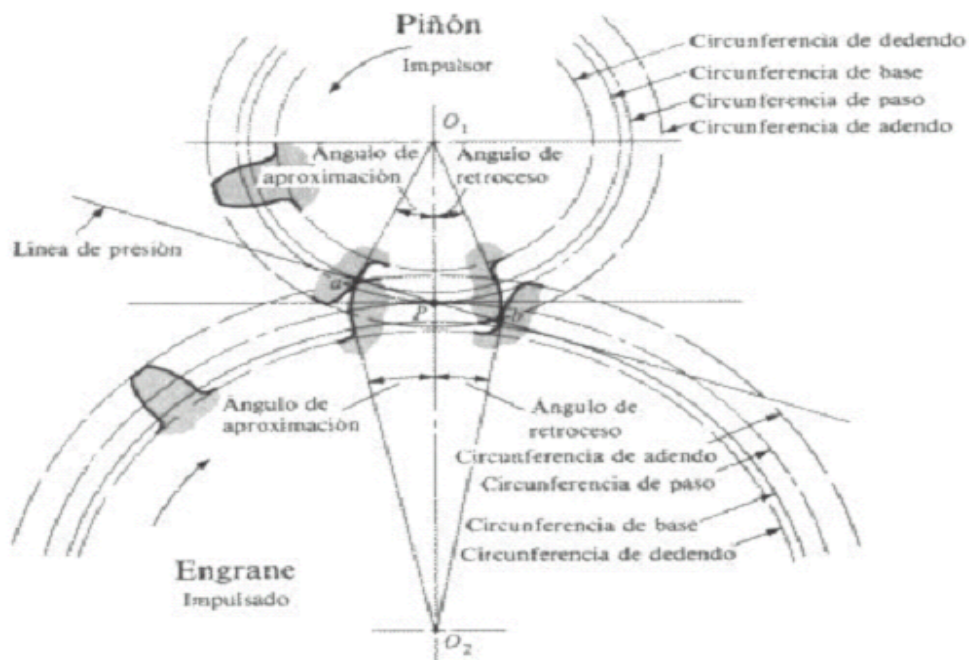


Figura 1.5 Contacto del engrane y el piñón.

## 1.5- Generalidades de los impelentes de agitación mecánica

Es en el impelente donde ocurre la transformación de la energía mecánica en hidráulica, de donde proviene la importancia del estudio de las diferentes condiciones de trabajo en determinados procesos. Estos dispositivos mecánicos de agitación son los elementos de función del aparato acoplado a un árbol vertical, horizontal e inclinado. En el caso de los turboareadores es el encargado de agitar la pulpa de mineral hasta lograr un nivel de turbulencia adecuado para la realización del proceso de lixiviado. Dentro de los requerimientos que cumple un impelente para activar la velocidad de la reacción química en un sistema líquido-gas-sólido (como el de los turboareadores) se tiene que: debe dispersar o suspender la fase discontinua en la totalidad de la continua (**Fondy y Corpstein, 1963**), provocar intensa turbulencia entre las gotas, burbujas y partículas suspendidas para favorecer la transferencia de materia entre las fases (**Nienov, 1968, Brown, 1990**).

Cuando se inyecta aire en el fondo del recipiente (Turboareador) con el impelente en reposo, el aire fluye a través de sus aspas sin dispersarse. Si se inicia el movimiento del agitador incrementando gradualmente su velocidad de rotación se observa que el aire sigue fluyendo a través de las aspas hasta un momento en que ya la velocidad de rotación es suficientemente alta desplazando radialmente las burbujas de aire hacia la pared del recipiente iniciándose la dispersión (**Otero, 1992**).

De la configuración de los álabes o paletas depende en gran medida el rendimiento hidráulico de los impelentes, ya que de la forma que tengan éstas, dependerán las pérdidas producidas por la formación de remolinos, choques entre el fluido y el borde de entrada de los álabes, separación anticipada del fluido de la superficie del álabe antes de llegar al borde de salida, etc.

Las paletas pueden ser de espesor variable o constante. Los de espesor variable, generalmente tienen una forma aerodinámica con el objetivo de disminuir las pérdidas antes mencionadas y como producto de resultados experimentales. Los de espesor constante son los más empleados debido a la simplicidad de su construcción. En ambos

casos es importante la determinación de la posición geométrica en el disco de la línea media de la paleta (**Ramos, 1995**).

El elemento que caracteriza a los distintos tipos de impelentes es el modelo de flujo que producen. Estos modelos a pesar de su diversidad tienden a cuatro condiciones principales: flujo tangencial, flujo radial, flujo axial y flujo mixto.

El flujo es radial cuando la succión del fluido ocurre en dirección paralela al eje del impelente, y la descarga se realiza en dirección radial, es decir, paralela al plano de las hojas. El flujo del impelente del turboareador es de este tipo. La principal característica de este flujo es que dirige el movimiento del líquido hacia las paredes del tanque de forma perpendicular al eje de rotación.

Por otra parte el flujo es axial cuando tanto la succión como la descarga del fluido ocurren en dirección paralela al eje del impelente.

La característica principal de los impelentes que generan el flujo axial es que sus aspas presentan ángulo de inclinación y por lo tanto penetran en el líquido con facilidad, es decir, son de bajo corte y producen además un alto flujo. Entre los impelentes mas comunes de flujo axial tenemos los de hélice marina, turbinas de 4, 6, 8 aspas inclinadas con ángulos de 45 y 60° , impelentes de 4 aspas con ángulos de inclinación y ancho de aspa variables.

Según los estudios realizados por (**Brown, 1990**), los impelentes con diámetro pequeño que operan a altas velocidades de agitación producen grandes velocidades de corriente, pero concentran la zona de turbulencia en las proximidades del impelente, por otra parte, los impelentes de diámetro grande que funcionan a pequeñas velocidades producen una turbulencia uniforme en todo el tanque, si bien las velocidades que determinan son demasiado bajas para lograr una buena suspensión o dispersión de las fases. En consecuencia para la operación de agitar se recomienda impelentes de tamaño mediano que funcionen a velocidades medianas.

Los álabes del impelente pueden ser rectos o curvados, pero en dependencia de su posición respecto a los discos, podrán tener un ángulo de salida  $\beta_2$  mayor, igual o menor 90°.

Uno de los métodos para trazar la línea media del álabe es el de los **arcos tangentes**, el cual permite la construcción de la línea media mediante arcos de círculos que tienen la propiedad de ser tangentes a la dirección de la velocidad relativa ( $\omega$ ) del fluido en los puntos de unión de dos arcos adyacentes (**Ramos, 1995**).

Para aplicar este método, el impelente se subdivide en un cierto número de anillos con céntricos, lo cual no tienen que estar igualmente espaciados. Cada uno de estos anillos depende de un radio ( $\rho$ ) que es el que permite trazar dichos arcos.

Por la imposibilidad de la determinación de la velocidad relativa del líquido con respecto al impelente debido a que este es un sistema completamente abierto donde no se tienen en cuenta las características dinámicas del flujo se obstaculiza la utilización de dicho método (**Brown, 1990**).

No obstante a todo esto, según (**Ramos, 1995**), los valores de  $\beta_1$  recomendados se encuentran en el intervalo de  $10 - 25^\circ$ . Luego se recomienda un aumento de  $2 - 6^\circ$  para tener en cuenta una pequeña desviación del flujo producida por la reducción del área del mismo debido al espesor de los álabes, así como una cierta prerrotación que el impelente, al girar, le induce al líquido antes de que este penetre en el mismo.

A la salida del impelente será necesario suponer el ángulo de salida del fluido, el cual para álabes con  $\beta < 90^\circ$  se toma en el intervalo de  $25 - 30^\circ$  que experimentalmente ha dado los mejores resultados.

Las dimensiones del impelente no deben variar en lo absoluto, debido a que un aumento de sus dimensiones provocaría que aumente el momento torsor del proceso y se dispararía el motor por sobrecarga, y si se disminuye, provocaría que disminuyera la turbulencia, factor fundamental del proceso.

## **1.6- Principio de la Hidrodinámica aplicada al impelente de los Turboareadores**

La Hidrodinámica, en sí, es la ciencia encargada del estudio de los líquidos en movimiento, así como los cuerpos que se mueven dentro de él.

La fuerza propulsora que motiva el movimiento de los fluidos es la diferencia de presiones, creada por bombas, compresores u otros equipos mecánicos que produzcan movimiento de este tipo, o simplemente debido a la diferencia de niveles o de densidad de los mismos.

El conocimiento de las leyes de la Hidrodinámica permite determinar la diferencia de presiones, necesaria de un líquido con la velocidad requerida, es decir, el gasto de energía para realizar su transporte, o por el contrario, definir la velocidad y cantidad de un líquido, conociendo la diferencia de presiones. En hidrodinámica se distinguen dos tipos de problemas relacionados con los flujos internos y externos. El primero trata sobre el análisis del movimiento del líquido por el interior de tubos y canales. El segundo consiste en estudiar los fenómenos engendrados por el movimiento de diversos cuerpos en el seno de los fluidos, como por ejemplo, durante el mezclado y/o agitación mecánica.

Durante el movimiento de un cuerpo en el seno de un fluido o cuando el cuerpo permanece inmóvil y se halla sometido a la acción de corrientes del fluido, surgen resistencias que para superarlas y asegurar un movimiento uniforme del mismo deberá gastarse cierta cantidad de energía. La magnitud de la resistencia opuesta por los cuerpos depende en lo fundamental del régimen de movimiento y de la forma del móvil.

En caso del movimiento laminar ( $Re < 2.0$ ), el cuerpo está rodeado por la capa límite del fluido y el flujo lo contorna suavemente. La pérdida de energía en estas condiciones está relacionada con la resistencia de rozamiento.

Con el desarrollo de la turbulencia del flujo ( $500 < Re < 2 \times 10^5$ ) cada vez mayor importancia obtienen las fuerzas de inercia. Bajo la acción de éstas la capa límite se desprende de la superficie del cuerpo, lo que conlleva a la reducción de la presión en inmediata cercanía de la parte posterior del cuerpo en movimiento, formándose en este espacio una estela de remolinos locales. En este caso la diferencia de presiones del fluido sobre la superficie anterior del cuerpo y sobre su superficie posterior supera cada vez más la diferencia de presiones, que surgen siendo el régimen laminar.

### **1.7- Utilización del Método de Elemento Finito como complemento para el análisis de las tensiones estáticas de la rueda dentada y el impelente**



El Método de Elemento Finito (MEF) se emplea para la solución de problemas de contorno gobernados por ecuaciones diferenciales ordinarias o parciales. En esencia 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 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.

El Método de Elemento Finito es un método numérico de resolución de ecuaciones diferenciales. Para ello trabaja discretizando la estructura en elementos de forma variada (pueden ser superficies, volúmenes y barras), que se conectan entre sí mediante “nodos”. La solución ahora es sólo aproximada en función de los resultados obtenidos para los nodos. El Método de Elemento Finito parte del cálculo matricial en el planteamiento del equilibrio en los nodos mediante un sistema de ecuaciones resultado de la contribución de los elementos.

Con la llegada de los centros de cálculo y los primeros programas comerciales en los años 60, el Método de Elemento Finito a la vez que se populariza en la industria refuerza sus bases teóricas en los centros universitarios de todo el mundo.

Debido a la gran dificultad para obtener soluciones analíticas a las ecuaciones aludidas, la ingeniería ha recurrido, históricamente, al uso de modelos simplificados basados en resultados experimentales, experiencia y en el mejor de los casos en unas pocas soluciones matemáticas particulares relativas a un modelo más preciso.

Esta metodología general de la ingeniería ha dado muy buenos resultados y aún lo sigue haciendo. No obstante, es importante notar que se trata de una metodología que presenta fuertes limitaciones en cuanto a las posibilidades de análisis, hecho que se hace más grave si se consideran las crecientes necesidades de la tecnología moderna.

El Método de Elemento Finito ha sido aplicado a numerosos problemas estructurales y no estructurales. Tiene un número significativo de ventajas que lo han hecho muy difundido. Estas incluyen la capacidad de:



1. Modelar cuerpos con formas complejas con relativa facilidad.
2. Manipular condiciones de carga generales sin dificultad.
3. Modelar cuerpos compuestos de diferentes materiales debido a que las ecuaciones de elementos son evaluadas individualmente.
4. Manipular un limitado número y tipos de condiciones de fronteras.
5. Variar las dimensiones de los elementos y usar elementos pequeños donde sea necesario.
6. Es fácil y barato alterar el modelo de elementos finitos.
7. Se pueden incluir efectos dinámicos.
8. Soluciona problemas de no linealidad material y geométrica con grandes deformaciones y rotaciones.
9. Facilidad de implementación en un programa computacional.

El Método de Elemento Finito de análisis estructural permite al diseñador detectar tensiones, deformaciones en zona plástica, vibraciones y problemas térmicos, así como la interacción multifísicas de éstos durante el proceso de diseño lo que posibilita evaluar y pronosticar el comportamiento del sistema mecánico antes de su construcción y puesta en funcionamiento, eliminando en muchos casos la necesidad de construir prototipos.

Para el caso de la simulación mediante este método a los dientes del engranaje y a los álabes del impelente se realizan con el objetivo de determinar aquellas zonas donde las tensiones locales son mayores para una prevenir una futura rotura del mismo y darles la mayor confiabilidad de trabajo.

### **1.8- Conclusiones del capítulo**

- El proceso de solución amoniacal o Caron es de mucho interés para el conocimiento de estudiantes y profesores por la importancia que reviste ante los otros procesos o métodos de obtención de minerales a escala industrial.
- Los Turboareadores más utilizados son los que operan con los moto-reductores de la firma española ECHESA.



- El impelente del Turboareador de la planta de Lixiviación y Lavado produce un flujo radial.

# CAPÍTULO II

---

## CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

---

### 2.1- Introducción

En este capítulo se establecerán los diferentes tipos de materiales empleados para la elaboración del engranaje y del impelente, así como, las metodologías de cálculos correspondientes al rediseño de la segunda etapa del reductor de la firma española ECHESA y del impelente, los cuales laboran en los turboareadores. Todo esto se realiza con la finalidad de lograr que la eficiencia del extractado de níquel sea ligeramente mayor provocado por el aumento de la velocidad angular del accionamiento mecánico, y cambiando la configuración del impelente.

### 2.2- Materiales utilizados para las mediciones del engranaje y el impelente

Para la realización de las mediciones de estas piezas se utilizaron los siguientes instrumentos:

1. Pie de rey.
2. Calibrador de diente de engranaje o pie de rey moderno con 0,05 mm de error.
3. Cinta métrica.

El pie de rey se utilizó para medir:

- Los diámetros exteriores e interiores hasta una medida aproximada de los engranes del reductor e interior del disco de la paleta.
- Longitud y ancho del chavetero.

El calibrador de diente de engranaje para medir:

- El ancho de los dientes.
- La altura de los dientes.

Y la cinta métrica se utilizó para medir:

- La longitud del disco y las paletas del impelente actual.

### 2.3- Materiales empleados para la elaboración del engranaje y el impelente

Tanto el engranaje como el impelente se elaborarán con aceros de alta resistencia al contacto y/o a la corrosión.

Todos los aceros inoxidables contienen el cromo suficiente para darles sus características de inoxidables. Muchas aleaciones inoxidables contienen además níquel

para reforzar aun más su resistencia a la corrosión. Estas aleaciones son añadidas al acero en estado de fusión para hacerlo "inoxidable en toda su masa". Por este motivo, los aceros inoxidables no necesitan ser ni chapeados, ni pintados, ni de ningún otro tratamiento superficial para mejorar su resistencia a la corrosión. En el acero inoxidable no hay nada que se pueda pelar, ni desgastar, ni saltar y desprenderse.

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

El empleo de acero inoxidable estará bajo la dependencia de las características oxidantes del ambiente. Si imperan condiciones fuertemente oxidantes, los aceros inoxidables resultan superiores a los metales y aleaciones más nobles. Sin embargo, en la misma familia de los aceros inoxidables la resistencia a la corrosión varía considerablemente de un tipo al otro. En el grupo al cromo níquel, los tipos 301 y 302 son menos resistentes a la corrosión que los tipos 310 y 316. En el grupo más sencillo al cromo, los tipos 405 y 410 son menos resistentes a la corrosión que los tipos 430 y 442.

La utilización de los aceros al cromo (Serie 400) para fines industriales se debe principalmente a las condiciones de resistencia a la oxidación. Un acero al cromo con el 12 % desarrollará una película de óxido superficial al cabo de varias semanas de exposición a una atmósfera industrial. La película, una vez formada, actúa como barrera contra la corrosión más pronunciada, pero si se ha de tener en cuenta la apariencia del metal, el tipo 410 y el tipo 405 pueden resultar objetables. El tipo 430, con el 17% de cromo, necesita varios meses hasta que se forma la película superficial de óxido, mientras que el tipo 442, con más del 20 % de cromo, se vuelve pasivo en la atmósfera sin que se desarrolle una película de óxido visible. Otro procedimiento para evitar que en condiciones semejantes se forme óxido, consiste en añadir más del 7 % de níquel a una aleación con el 17 % o más de cromo, como son los tipos 301, 302 y 304. En atmósferas que contengan aire salino o humos procedentes de fábricas de productos químicos, la adición de molibdeno aumenta la resistencia a la corrosión, como es el caso con el tipo 316.

### 2.3.1 Material del engranaje

El material del engranaje es de acero AISI 3140, la composición química de este así como los principales elementos químicos que posee la aleación se muestra en la tabla 2.1.

**Tabla 2.1** Composición química del acero AISI 3140.

<b>C</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>	<b>Ni</b>
0.40	0.26	1.3	0.04	0.05	0.95	0.01	0.40

El acero AISI 3140 en varias normas tiene una forma diferente de representarse en la tabla 2.2 se muestran las fundamentales.

**Tabla 2.2** Equivalencia con otros sistemas.

<b>GOST</b>	<b>DIN</b>	<b>AFNOR</b>	<b>BS.</b>	<b>UNI</b>	<b>JIS</b>
40X	1.7035	42C4 41Cr4	530M40 530H40	41Cr4 41Cr4KB	SCr440(H)
<b>SS</b>	<b>UNE</b>	<b>GB</b>	<b>EN</b>		
2245*	F1202-42Cr4 F1211-41Cr4DF	40Cr	41Cr4KD		

### 2.3.2 Material del impelente

El material con que se elaborará el impelente es de acero AISI-316. Este acero está dentro del los del tipo inoxidable como se mencionaba anteriormente, presenta una aleación de alto contenido de carbono, níquel, cromo y molibdeno en algunos casos.

A continuación la tabla 2.3 relaciona al acero 316 con otras normas de nomenclaturas.

**Tabla 2.3:** Nomenclatura en otros sistemas.

<b>SAE</b>	<b>DIN</b>	<b>AFNOR</b>	<b>BS.</b>
30316	1.4401	Z6CND 17.11.2	316 S25
<b>UNE</b>	<b>UNI</b>	<b>JIS</b>	
X5CrNi 18-10	X5CrNiMo 17.12	SUS 316	

## 2.4- Metodología de cálculo para el diseño de la segunda etapa del reductor de los Turboareadores de la planta de Lixiviación y Lavado

Para el diseño del engranaje se tomó como referencia al Folleto de Transmisiones Mecánicas elaborado por el MSc. Isnel González Rodríguez, profesor de la asignatura Elementos de Máquinas del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

### Diseño del nuevo engranaje:

Mediante la ecuación 2.1 se determinará la relación de transmisión total ( $i_T$ ) del reductor de dos etapas:

$$i_T = i_{12} \cdot i_{23} \quad (2.1)$$

Donde:

$i_T$ : relación de transmisión total del reductor.

$i_{12}$ : relación de transmisión en la primera etapa del reductor que se determina por la relación de transmisión total (conocida).

$i_{23}$ : relación de transmisión en la segunda etapa del reductor la cual se determina dividiendo el número de revoluciones a la entrada por el de la salida.

La potencia a la salida del reductor ( $N_3$ ) se obtiene mediante la ecuación 2.2

$$N_3 = N_2 \cdot \eta \quad (2.2)$$

Donde:

$N_2$ : potencia en la segunda etapa del reductor (kW) que se determina multiplicando la potencia del motor por el rendimiento del reductor.

$\eta$ : rendimiento del reductor el cual oscila de (0.94-0.96).

### *1- Definiendo el tipo de transmisión:*

La determinación del tipo de dientes a utilizar, ya sean rectos ó inclinados, se determina en dependencia del número de revoluciones y la potencia del motor, y está dada por la expresión 2.3. En la misma cuando se cumple la igualdad es necesario utilizar un engranaje cilíndrico de dientes inclinados, y al incumplirse se utiliza un engranaje cilíndrico de dientes rectos.

$$\frac{n_3^2 N_3}{i_{23}} \geq 2.8 \times 10^6 \quad (2.3)$$

Donde:

$n_3$ . Número de revoluciones del piñón (rev/min.).

$N_3$ . Potencia en el árbol conductor en kW.

2- Cálculo de la resistencia al contacto ( $\sigma_T$ ):

El cálculo de resistencia se reduce a satisfacer la condición, según la cuál las tensiones de contacto no deben superar las admisibles. Representamos la fórmula en la forma más cómoda para su uso en la práctica mediante la ecuación 2.4:

$$\sigma_T = \frac{1085 \cdot Z_\varepsilon}{a_\omega \cdot i_{23}} \cdot \sqrt{\frac{(i_{23} + 1)^3 \cdot K \cdot M_{tor2}}{b}} \leq [\sigma]_T \quad (2.4)$$

Donde:

$Z_\varepsilon$ : Coeficiente que considera la influencia del recubrimiento de los dientes.

$a_\omega$ : Distancia interaxial (mm).

$b$ : Ancho de la rueda dentada (mm).

$M_{tor}$ : Momento torsor en la segunda etapa del reductor (kgf\*cm) y la misma se determina por la ecuación 2.5.

$K$ : Coeficiente de carga.

$[\sigma]_T$ : Tensión admisible por contacto de la rueda dentada (kgf/cm<sup>2</sup>). Se determina mediante la ecuación 2.6.

Ecuación para determinar el momento torsor máximo ( $M_{tor}$ ) a la salida del reductor:

$$M_{tor3} = \frac{N_3}{\omega_3} \quad (2.5)$$

Donde:

$\omega_3$ : Velocidad angular de la rueda dentada del segundo par de engranaje (rad/s) la cual depende del número de revoluciones a la salida del reductor.

La tensión admisible al contacto se determina por la ecuación 2.7:

$$[\sigma]_T = \frac{\sigma_{ot} \cdot Z_R}{n} \quad (2.6)$$



Donde:

$\sigma_{of}$ : Es límite de fatiga de las capas superficiales de los dientes por contacto que se determina por la dureza media ( $\text{kgf/cm}^2$ ).

$Z_R$ : Es el coeficiente que considera la aspereza de las superficies y que se selecciona en función del grado de aspereza de las superficies.

$n$ : es el coeficiente de seguridad.

4- Luego se determina la relación de anchura  $\Psi_a$  que depende de la distancia interaxial y del ancho de la rueda mediante la ecuación 2.7:

$$\Psi_a = \frac{b}{a_\omega} \quad (2.7)$$

5- Fijando el módulo normal ( $m_n$ ):

Selección del Módulo, el mismo depende de la distancia interaxial y se calcula por la expresión 2.8:

$$m_n = (0,01 \dots 0,02) \alpha_\omega \quad (2.8)$$

Donde:

$m_n$ : Módulo nominal (mm).

6- Determinando el número sumario de dientes:

Determinación del número sumario de dientes ( $Z_\Sigma$ ), este depende de la distancia interaxial y del módulo normalizado, el mismo se determina mediante la expresión 2.9:

$$Z_\Sigma = \frac{2 \cdot a_\omega}{m} \geq 36 \quad (2.9)$$

7- Número de dientes del árbol piñón ( $Z_1$ ):      8- Número de dientes de la rueda ( $Z_2$ ):

$$Z_1 = \frac{Z_\Sigma}{i_{23} + 1} \geq Z_{\min} = 17 \quad (2.10)$$

$$Z_2 = Z_\Sigma - Z_1 \quad (2.11)$$

9- Expresando la condición de resistencia a la flexión ( $\sigma_F$ ) de los dientes de un piñón y una rueda dentada, la misma se determina mediante la ecuación 2.12:

$$\sigma_F = \frac{(i_{23} + 1)Y_F KM_{tor3}}{i_{23} \cdot m \cdot b \cdot a_w} \leq [\sigma]_F \quad (2.12)$$

Donde:

$Y_F$ : es el coeficiente de resistencia de los dientes según la tensión local en la sección peligrosa del diente.

$[\sigma]_F$ : tensión admisible a la flexión de los dientes del árbol y el piñón. La misma se determina por la ecuación 2.13.

$$[\sigma]_F = \frac{\sigma_0 Y_R Y_{e.m} Y_e}{n} \quad (2.13)$$

Donde:

$\sigma_0$ : es el límite de resistencia a la fatiga, expresado en las tensiones locales ( $\text{kgf/cm}^2$ ).

$Y_R$ : es el coeficiente que considera la aspereza de la superficie y el rectificado de redondeo.

$Y_{em}$ : es el coeficiente que considera el endurecimiento por deformación en frío.

$Y_e$ : es el factor de escala; con el diámetro exterior del engrane.

$n$ : coeficiente de seguridad.

10- De aquí el valor mínimo del módulo ( $m$ ):

$$m \geq \frac{(i + 1)Y_F KM_{tor3}}{i \cdot b \cdot a_w \cdot [\sigma]_F} \quad (2.14)$$

11- Determinación de la velocidad circunferencial ( $v$ ):

Comprobación de la velocidad circunferencial de rotación, la misma depende del diámetro del tambor rotatorio y del número de revoluciones del mismo, esta se determina por la expresión 2.15:

$$v = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n_1}{60 \cdot 10^3} \quad (2.15)$$

12- Parámetros básicos del engranaje:

La comprobación de la distancia interaxial se determina por la ecuación 2.16, la cual depende del número de dientes del árbol y de la rueda dentada respectivamente, así como del módulo tangencial.

$$a_w = 0,5 \cdot (Z_1 + Z_2) \cdot m_t \quad (2.16) \quad m_t = m_n - \text{engranaje cilíndrico de dientes rectos.}$$

La altura del diente, la de la cabeza del diente y el juego radial se determinan por las ecuaciones 2.17, 2.18 y 2.19 respectivamente. Las mismas dependen del módulo nominal de la rueda dentada.

$$h = 2,25 \cdot m_n \quad (2.17)$$

Donde:

$m_n$ : Módulo nominal de la rueda dentada.

$$h_a = m_n \quad (2.18)$$

$$c = 0,25 \cdot m_n \quad (2.19)$$

Los diferentes diámetros de la rueda dentada también se determinan en dependencia del módulo anteriormente dicho. Los mismos se pueden determinar mediante las ecuaciones 2.20, 2.21 y 2.23 respectivamente.

Diámetro de la circunferencia primitiva;  $d_{w2}$ :

$$d_{w2} = m_n \cdot Z_2 \quad (2.20)$$

Siendo  $Z_2$ : el número de dientes de la rueda.

Diámetro de la circunferencia exterior;  $d_a$ :

$$d_{a2} = d_{w2} + 2 \cdot m_n \quad (2.21)$$

Diámetro de la circunferencia de fondo;  $d_f$ :

$$d_{f2} = d_{w2} - 2 \cdot m_n - 2 \cdot c \quad (2.22)$$

Las dimensiones del árbol piñón se seleccionan del libro de texto D. Reshetov en la página 214 aquí van los datos que hacen falta:

*Diámetro de trabajo ( $D=75 \text{ mm}$ )*

*Número de dientes ( $Z_1=20$ )*

*Módulo ( $m=3.5 \text{ mm}$ )*

## **2.5- Metodología de cálculo para el diseño del impelente de los Turboareadores de la planta de Lixiviación y lavado**

Para el diseño del impelente nuevo se tomaron como referencia los textos Operaciones Básicas y Aparatos en la Tecnología Química, de A. G. Kasatkin,

Operaciones Básicas de la Ingeniería Química de G. Brown y Máquinas Cálculos de Taller de A. L. Casillas.

Diseño del impelente:

1. Determinación de las dimensiones del impelente

Mediante la ecuación 2.23 se determinará el ángulo  $\alpha$  (*figura # 2.1 Anexos*) que depende de los valores de  $\beta_1$  y  $\beta_2$  respectivamente.

$$\alpha = 180^\circ - (\beta_1 + \beta_2) \quad (2.23)$$

Donde:

$\beta_1$ : Ángulo de curvatura del álabe a la entrada del líquido, expresado en grados.

$\beta_2$ : Ángulo de curvatura del álabe a la salida del líquido, expresado en grados.

Cálculo del radio de la circunferencia de referencia (R) que se expresa en mm y se determina por la ecuación 2.24 (*figura # 2.1 Anexos*).

$$R = C/C_T \quad (2.24)$$

Donde:

C: Longitud de la cuerda de la circunferencia mostrada (*figura # 2.1 Anexos*); expresado en mm.

$C_T$ : Valor de la cuerda en dependencia del ángulo  $\alpha$ , (tabla 118 Casillas).

La ecuación 2.25 es para determinar el cálculo del desarrollo del arco circunferencial correspondiente;  $A_c$ , expresado en mm.

$$A_c = R * A_T \quad (2.25)$$

Donde:

$A_T$ : Valor del arco que depende del ángulo  $\alpha$ , (tabla 118 Casillas).

Cálculo de la flecha F mediante la ecuación 2.26, expresada en mm (*figura # 2.1 Anexos*).

$$F = R * F_T \quad (2.26)$$

Donde:

$F_T$ : Valor de la flecha que depende del ángulo  $\alpha$ , (tabla 118, Casillas).

2. Relación de los diámetros entre el impelente y el tanque del Turboareador.

Esta relación debe ser aproximadamente igual a 3. La misma se refleja en la ecuación 2.27.

$$\frac{D_t}{D_i} = 2.857 \quad (2.27)$$

Donde:

$D_t$ : Diámetro del tanque del turboareador (mm).

$D_i$ : Diámetro del impelente (mm).

3. Dimensiones de la paleta del impelente.

Mediante las ecuaciones 2.28 y 2.29 se determinarán la altura y la longitud de la paleta respectivamente, expresadas en mm.

$$h_p := 0.2 \cdot D_i \quad (2.28) \quad L_p := 0.25 \cdot D_i \quad (2.29)$$

4. Cálculo de la velocidad circunferencial del impelente.

La velocidad circunferencial expresada en m/s depende del número de revoluciones del impelente y del diámetro del mismo. La misma se determina mediante la ecuación 2.30.

$$w_{cir} := \pi \cdot D_i \cdot n \quad (2.30)$$

Donde:

$n$ : número de revoluciones, expresado en Hz.

5. Cálculo del número de Reynolds modificado para este tipo de proceso.

Este cálculo se reduce a determinar el régimen del flujo del impelente de los turboareadores, el mismo se determina por la ecuación 2.31.

$$Re_M := \frac{n \cdot D_i^2 \cdot \rho}{\mu} \quad (2.31)$$

Donde:

$n_1$ : Número de revoluciones del impelente, expresado en Hz.

$\rho$ : Densidad del fluido, expresado en Kg/ m<sup>3</sup>.

$\mu$ : Viscosidad absoluta, expresada en Pa.s.

6. Cálculo del criterio de Euler modificado para este proceso. Se determina por la ecuación 2.32.

$$Eu_M := \frac{N_t}{\rho \cdot n^3 \cdot D_i^3} \quad (2.32)$$

Donde:

$N_t$ : Potencia que le entrega el reductor al impelente, expresado en kW.

7. Determinación del criterio de potencia mediante la ecuación general de la Hidrodinámica, la cual depende del área de la paleta del impelente y de los radios  $r_1$  y  $r_2$  respectivamente. La misma se expresa en la ecuación 2.33.

$$K_N := A \cdot Re_M \cdot r_1 \cdot r_2 \quad (2.33)$$

Donde:

A: Área de la sección transversal de la paleta del impelente, expresada en mm<sup>2</sup>.

$r_1$ : Radio de entrada de la paleta, mm.

$r_2$ : Radio de salida de la paleta, mm.

8. Cálculo de la fuerza de resistencia opuesta por el fluido a las paletas del impelente.

La fuerza de resistencia se determina por la ecuación 2.34. Se expresa en N y la misma depende de la velocidad circunferencial del impelente.

$$R_f := \xi \cdot S \cdot \frac{\rho \cdot w_{cir}^2}{2} \cdot i \quad (2.34)$$

Donde:

$\xi$ : Coeficiente de resistencia del fluido.

S: Área de la sección transversal de la paleta.

i: Número de paletas del impelente.

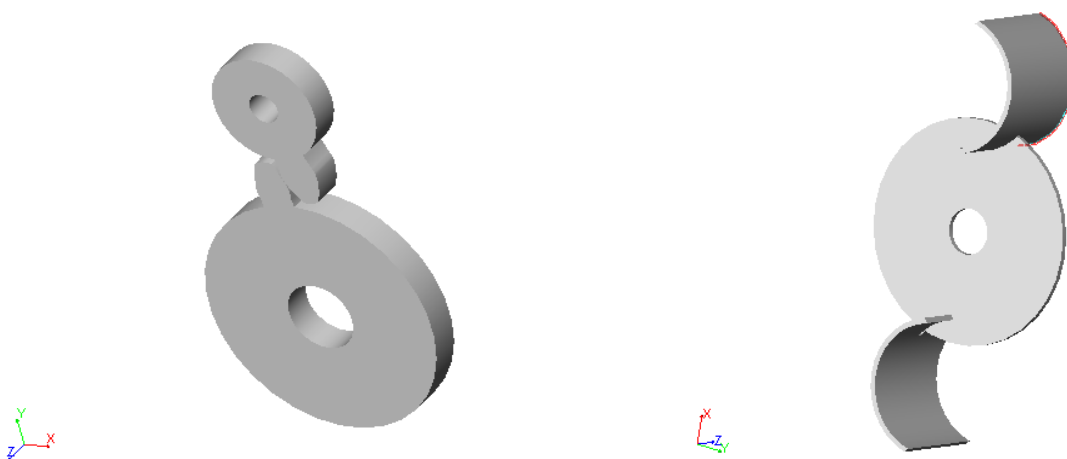
## 2.6- Metodología del Método de Elemento Finito

La metodología que se va a utilizar en este caso está relacionada con el software complementario Cosmos Design Star, versión 4.5, donde se determinarán las zonas de mayores concentraciones de tensiones bajo condiciones de carga especificada; tanto para la rueda dentada, como para el impelente de agitación mecánica, usando la discretización de los “Nodos intermedios”.

### Pasos a seguir para realizar la metodología del Método de Elemento Finito:

1. Elaboración del modelo geométrico en 3D de las piezas, utilizando como software de dibujo auxiliar el Autocad 2000.
2. Creación de un estudio para cada caso.
3. Selección del material utilizando la biblioteca de materiales del Cosmos.
4. Aplicación de las condiciones de frontera.
5. Aplicación de las cargas correspondientes para cada una de las piezas.
6. Discretización del modelo.
7. Corrida de los estudios para la obtención de los resultados.

En la figura 2.2 se muestran los modelos geométricos de las piezas de estudio.



**Figura 2.2** Piezas para realizar el estudio.

Para el caso del engranaje se fijan en los centros de la rueda dentada (no-traslacion) y el árbol piñón y se le aplican las cargas (concentrada) en los dientes. Luego se procede

a efectuar el enmallado fino de los mismos para determinar las zonas de altas concentraciones de tensiones.

También se le aplica el momento torsor que le produce el piñón a la rueda dentada para localizar los desplazamientos máximos de los esfuerzos y el nivel de deformación con su respectivo coeficiente.

Para la modelación del impelente se tuvo en cuenta la fuerza de resistencia que le ofrece el fluido a las paletas del mismo. Bajo condiciones extremas de temperatura a la cual está sometida y mediante la velocidad angular que experimenta se procede de la siguiente forma:

Se fijan las paletas con respecto al disco del impelente (no-traslacion y no-rotation), y se fija el centro del impelente (no-traslacion).

Luego se le aplica las cargas ofrecida por la fuerza de resistencia del fluido a las paletas de la misma.

Se aplica el torque que le ofrece el accionamiento mecánico.

Se introduce un análisis térmico, ya que el impelente trabaja sumergido en la pulpa de mineral que tiene una temperatura que oscila alrededor de los 45<sup>0</sup> relativamente.

También se introduce una fuerza extra ofrecida por la velocidad angular que se le ofrece al impelente.

Se realiza el enmallado fino de la pieza y se corre el estudio para determinar donde están las zonas de concentraciones de tensiones y los desplazamientos de las deformaciones de la misma.

## **2.7- Conclusiones del capítulo**

- Se realizaron los diseños del engranaje y el impelente por las Metodologías de cálculo correspondientes.
- El Método de Elemento Finito es de mucha importancia para determinar mediante la simulación de estructuras y complementos mecánicos; las tensiones, las deformaciones y los desplazamientos que tienen lugar en las diferentes caras de las mismas.



- Para el diseño de un elemento mecánico hay que tener en cuenta las tensiones máximas actuantes y compararlas con las admisibles con el objetivo de determinar hasta que grado pueden soportar las mismas.



# CAPÍTULO III

## CAPÍTULO III: VALORACIÓN DE LOS RESULTADOS

---

### 3.1- Introducción del capítulo

En el siguiente capítulo se dará a conocer los resultados de las metodologías de cálculos, tanto del engranaje como del impelente; así como los efectos que producen dichas piezas mediante los análisis de la simulación por el Método de Elemento Finito. Se hará una valoración económica con el objetivo de reducir los costos de producción y por último se concretará los daños producidos al medio ambiente por estos equipos.

### 3.2- Análisis de los resultados de las metodologías de cálculos del engranaje y el impelente

En este epígrafe se hará el análisis de los resultados obtenidos por las metodologías de cálculos del engranaje y el impelente de agitación mecánica respectivamente.

#### 3.2.1 Resultado de la metodología de cálculo del engranaje

Los resultados obtenidos de la metodología de cálculo para el diseño de un engranaje cilíndrico de dientes rectos se muestran a continuación.

El valor de la expresión 2.1, que se emplea para determinar la relación de transmisión total del reductor de dos etapas, la cual depende de las relaciones de cada una de ellas es igual a 20.

La potencia de salida del reductor que depende del rendimiento del mismo se determinó por la expresión 2.2 y se obtuvo un valor de 50.7 kW, potencia que se le suministra a las partes móviles del Turboareador.

El tipo de transmisión se determina por la expresión 2.3, la cual tiene un valor de 983076 lo que significa que es una transmisión cilíndrica de dientes rectos, ya que se cumple la relación que debe ser menor que  $2.8 \cdot 10^6$ .

Mediante el cálculo de la relación de resistencia al contacto de los dientes de la rueda y el piñón, expresada en la ecuación 2.4, la cual depende del momento torsor, expresado por la ecuación 2.5 y de la relación de transmisión, se determinó que la misma se cumple. El valor de esta expresión es de  $1.314 \cdot 10^7$  Pa la cual es menor que el valor de la tensión admisible, que se expresa por la ecuación 2.6 que equivale a  $9.022 \cdot 10^8$  Pa.

El módulo nominal, expresado por la ecuación 2.8, la cual depende de la distancia interaxial tiene un valor estandarizado de 3.5 mm.

La rueda dentada tiene 94 dientes y el árbol piñón 20, estos valores fueron determinados por las ecuaciones 2.10 y 2.11, la cuales dependen del número sumario de dientes expresada en la ecuación 2.9.

El cálculo de la resistencia a la flexión de los dientes de la rueda dentada y el árbol piñón se determinó por la ecuación 2.12, la misma satisface a reducir que debe ser menor que los valores admisibles, expresada por la ecuación 2.13. El valor de esta ecuación es  $6.542 \cdot 10^6$  Pa lo que significa que la condición de resistencia para este caso se cumple.

La velocidad circunferencial de la rueda dentada, expresada por la ecuación 2.15 es igual a  $7.19 \cdot 10^{-4}$  m/s lo que significa que está dentro de los parámetros admisibles.

Los parámetros básicos de la rueda dentada se determinan por las ecuaciones 2.17-2.22 donde se determinan:

- Altura del diente;  $h = 7$  mm
- Altura de la cabeza del diente;  $h_a = 3.5$  mm
- Juego radial;  $c = 0.8$  mm
- Diámetro de la circunferencia primitiva;  $d_w = 328$  mm
- Diámetro de la circunferencia exterior ;  $d_a = 335$  mm
- Diámetro de la circunferencia de fondo;  $d_f = 319$  mm

### 3.2.2 Resultados de la metodología de cálculo del impelente de agitación

Los resultados de la metodología de cálculo del impelente son los siguientes:

La relación de los diámetros del impelente del Turboareador y el tanque del mismo se determina por la ecuación 2.27 y la misma tiene un valor de 2.857 lo que significa que está dentro del rango permisible (2.4 - 3), propuesto por **Brown, 1990**.

Para determinar el ángulo de curvatura de la paleta del impelente se emplearon las ecuaciones 2.23 - 2.26, lo cual permitió deducir que:

- El ángulo de entrada del fluido a la paleta del impelente es de  $12^\circ$ .
- El ángulo de salida es de  $20^\circ$ .

Los parámetros básicos de la paleta del impelente se determinaron por las ecuaciones 2.28 y 2.29, mostrando un valor de 280 mm para la altura y 350 mm para la longitud de la misma.

La velocidad circunferencial del impelente del Turboareador se determina por la ecuación 2.30 y la misma depende del número de revoluciones y el diámetro de la circunferencia exterior. El valor de dicha ecuación es de 41.4 m/s.

El impelente del Turboareador produce un flujo radial, el cual se determina por la relación 2.31, para situar el Número de Reynolds en el régimen que le corresponde. Hay que tener en cuenta que el impelente debe producir un flujo turbulento para que el Turboareador opere con la mayor calidad. En este caso se obtiene un valor de  $1.174 \cdot 10^4$ , lo que significa que está dentro del régimen turbulento.

El valor de la ecuación generalizada de la Hidrodinámica aplicada a los Turboareadores, expresada por la ecuación 2.33 es de  $368.4 \text{ m}^4$ , lo que significa que la relación hidrodinámica entre el fluido, en este caso la pulpa de mineral, y el impelente es relativamente elevado.

La fuerza de resistencia que le ofrece el fluido al impelente del Turboareador, expresada por la ecuación 2.34, tiene un valor de  $4.026 \cdot 10^5 \text{ N}$ . Esta es la fuerza que ejerce la pulpa de mineral a las paletas del impelente del Turboareador

Los cálculos relacionados con éstas Metodologías de cálculo se muestran en el anexo # 5.

### 3.3- Análisis de los resultados de la simulación por el Método de Elementos Finitos (M.E.F.)

En este epígrafe se darán a conocer los resultados obtenidos por la modelación mediante el programa computacional Cosmos Desing Star, versión 4.5 utilizando como referencia el Método de Elementos Finitos.

#### 3.3.1 Resultados de la modelación de la rueda dentada

En la figura 3.1, las máximas tensiones de valor  $1.006 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$  están en la zona interior de la rueda dentada y se encuentra aproximadamente a 1.0 m de las tensiones mínimas. El valor de las tensiones mínimas es 0 y éstas se encuentran en la zona del diente, por lo que se encuentran un poco distante de las tensiones admisibles del material.

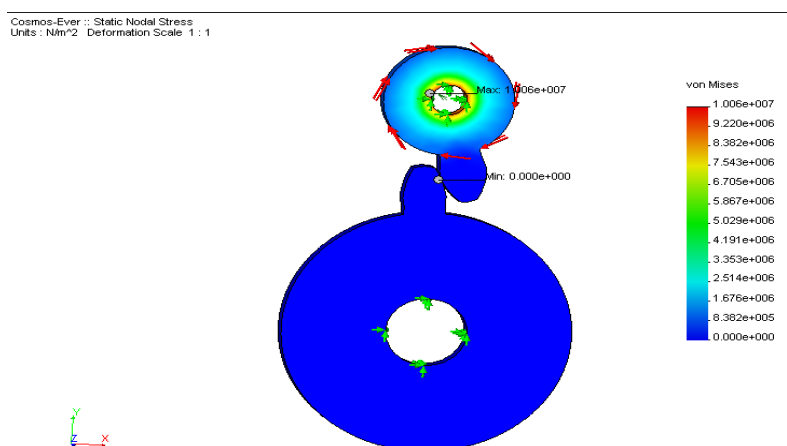
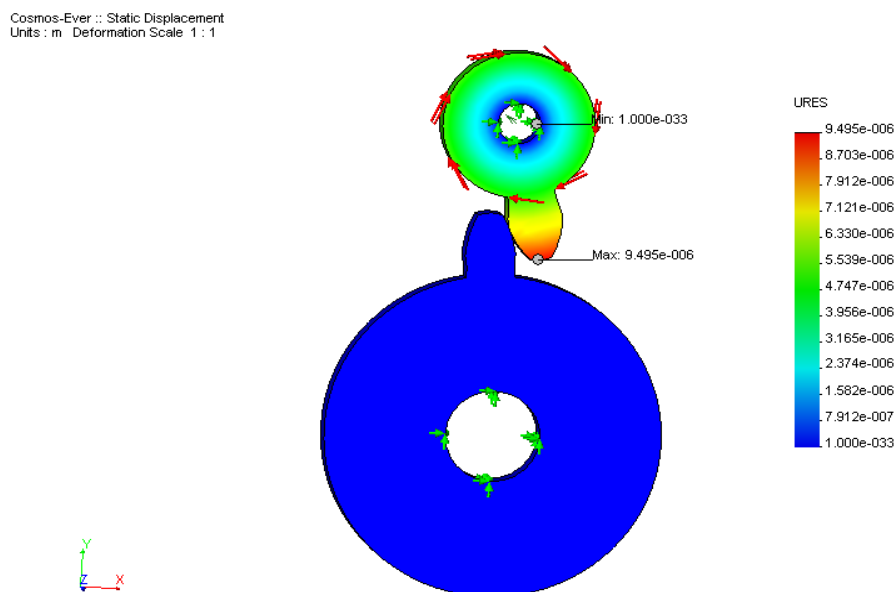


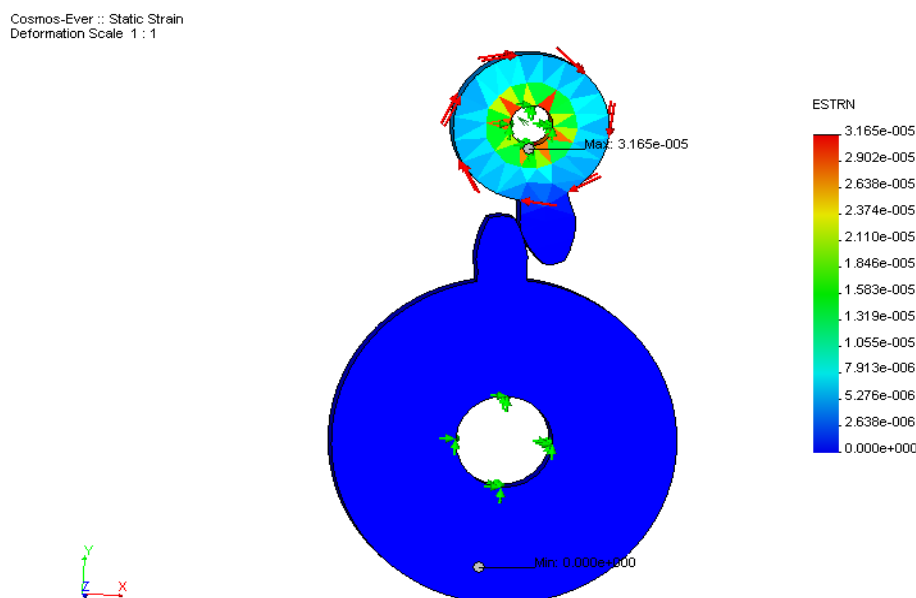
Figura 3.1 Tensiones (Von Mises) del engranaje.

Refiriéndonos a los resultados adquiridos en la figura 3.2, de desplazamientos máximos obtenidos a partir del análisis estático; son del orden  $9.495 \cdot 10^{-6}$  m es decir que se desprecian los desplazamientos máximos.



**Figura 3.2** Deformación de los desplazamientos estáticos del engranaje.

Los máximos esfuerzos de valor  $3.165 \cdot 10^{-5}$  N/m<sup>2</sup> están alrededor del centro de la rueda dentada 1, representadas en la figura 3.3 y éstas se encuentra distante de los esfuerzos mínimos.



**Figura 3.3** Tensiones estáticas del engranaje.

Las deformaciones, tanto del árbol piñón como de la rueda, están asociadas a los dientes de los mismos, como se muestra en la figura 3.4.

Cosmos-Ever :: Deformed Shape  
Deformed Shape Deformation Scale 1 : 11686.9

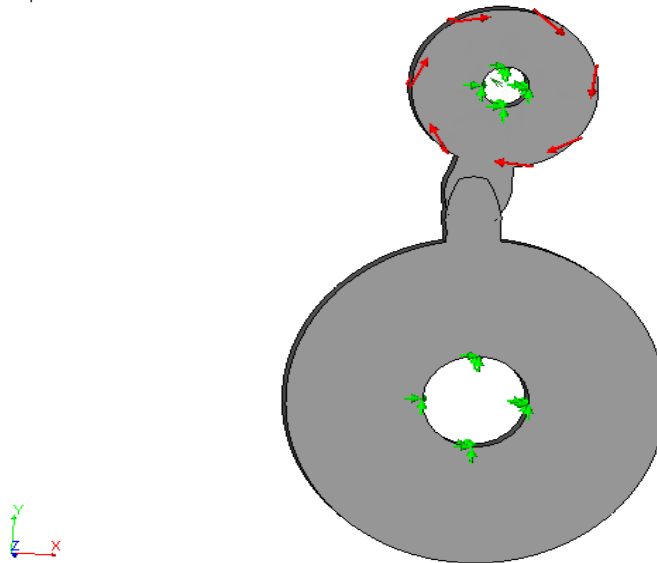


Figura 3.4 Deformaciones asociado al engranaje.

### 3.3.2 Resultados de la modelación del impelente de agitación mecánica

En la figura 3.5, las máximas tensiones de valor  $4.333 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$  están en la zona cercana a la intersección de la paleta con el disco y se encuentra próximas a las tensiones mínimas. El valor de las tensiones mínimas es  $3.484 \cdot 10^4$  y éstas se encuentran en las caras superior y posterior del disco del impelente, por lo que están difieren relativamente de las tensiones admisibles del material del mismo.

IMPELLER 3D-Evenecer :: Static Nodal Stress  
Units : N/m<sup>2</sup> Deformation Scale 1 : 32.1431

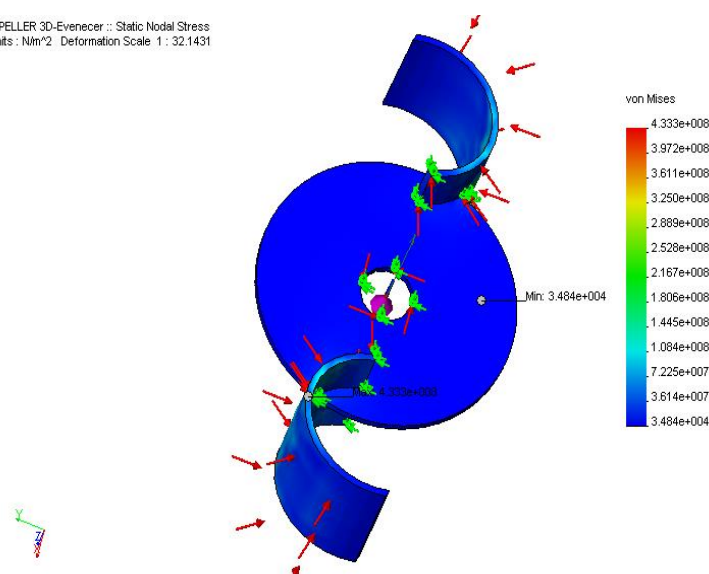
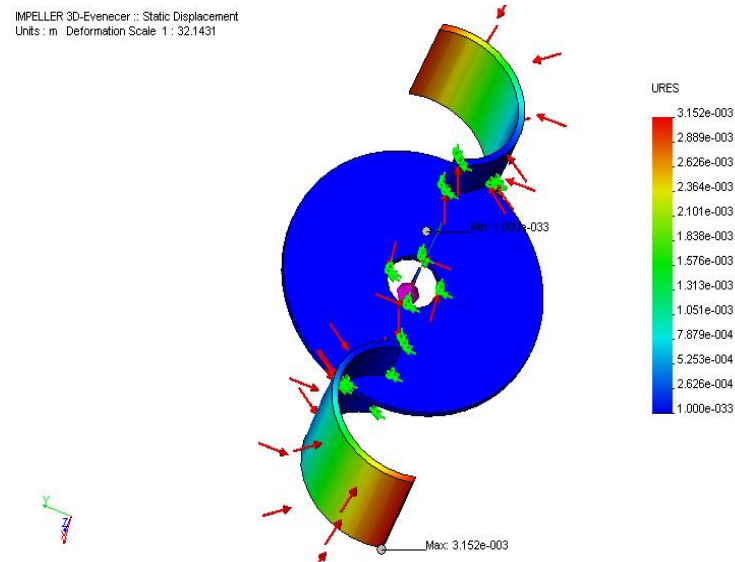


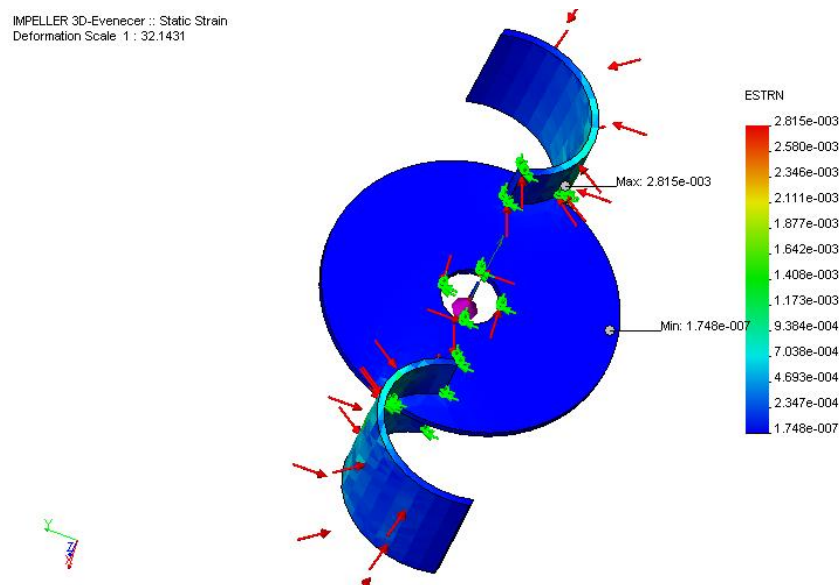
Figura 3.5: Tensiones (Von Mises) del impelente.

Como se puede apreciar en la figura 3.6, de desplazamientos máximos obtenidos a partir del análisis estático; los mismos están alrededor de los  $9.495 \cdot 10^{-6}$  m es decir que se desprecian los desplazamientos máximos.



**Figura 3.6** Deformación de los desplazamientos estáticos del impelente.

Los máximos esfuerzos de valor  $2.815 \cdot 10^{-3}$  N/m<sup>2</sup> están alrededor del ángulo de entrada de la paleta del impelente, representadas en la figura 3.7 y éstas se encuentra distantes de los esfuerzos mínimos, el cual presenta un valor de  $1.748 \cdot 10^{-7}$  N/m<sup>2</sup>.



**Figura 3.7** Distribución de tensiones en el impelente



Las deformaciones presentes en la figura 3.8 están asociadas en lo fundamental a las paletas del impelente.

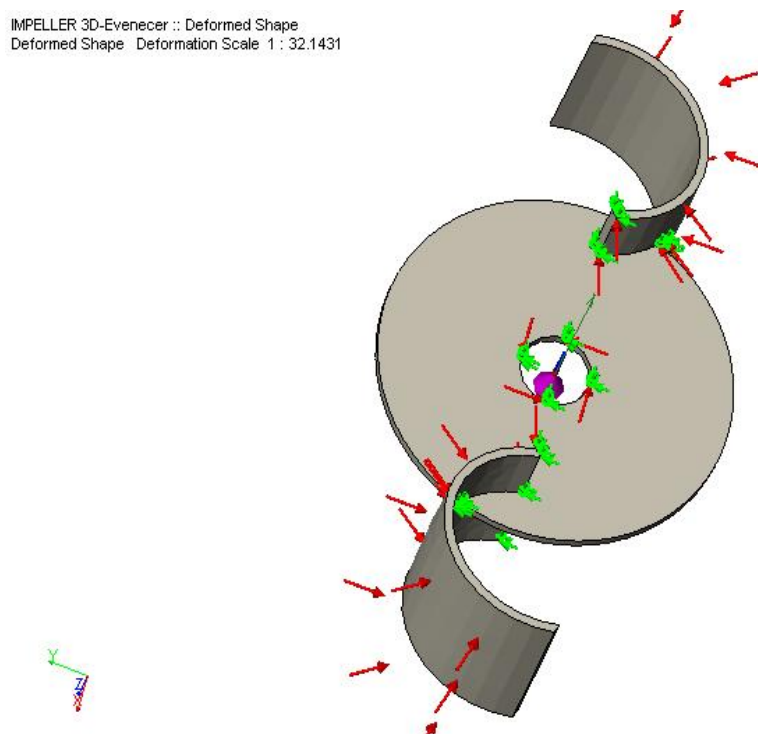


Figura 3.8 Deformaciones asociadas al impelente.

### 3.4- Valoración Económica

Para la elaboración económica de los dispositivos mecánicos en estudio se han tenido en cuenta los siguientes aspectos:

- ❖ Valor unitario de la rueda dentada y el árbol piñón ( $C_1$ ).
- ❖ Importe de la fuerza de trabajo y la tecnología de fabricación del impelente ( $C_2$ ).
- ❖ Precio del material del impelente ( $C_3$ ).

#### 3.4.1 Valor unitario de la rueda dentada y el árbol piñón ( $C_1$ )

Este valor tiene en cuenta los precios de la rueda dentada y el árbol piñón respectivamente en el mercado europeo, en este caso, el español; debido a que estas piezas de repuesto son elaboradas en el extranjero por sus características técnicas y exigencias de diseño.

En la tabla 3.4 se muestran los precios de dichas piezas.

Tabla 3.4 Valor unitario de las piezas de repuesto.

Piezas de recambio	Valor unitario (CUC)
Árbol piñón	\$ 620.45 ( $Vu_1$ )
Rueda dentada 2	\$ 820.80 ( $Vu_2$ )

Legenda: Vu-valor unitario

$$C_1 = Vu_1 + Vu_2$$

$$C_1 = 1441.25 \text{ CUC.}$$

### 3.4.2 Importe de la fuerza de trabajo y la tecnología de fabricación del impelente ( $C_2$ )

Este valor tiene en cuenta los costos de fabricación y de la fuerza de trabajo a la hora de elaborar el impelente. En la tabla 3.5 recoge los valores de los costos teniendo en cuenta lo antes mencionado.

Tabla 3.5 Costos de fabricación y de la fuerza de trabajo.

Pieza a elaborar	Costo de fabricación	Costo de la fza de trabajo
Impelente de 6 paletas	3239.88 CUC	647.889 CUC

$$C_2 = C_f + C_{ft}$$

$$C_2 = 3887.769 \text{ CUC.}$$

### 3.4.3 Precio del material de elaboración del impelente ( $C_3$ )

Este tiene en cuenta el precio del material con que se elaborará la pieza, en este caso el impelente. Este precio está asociado con el valor del acero inoxidable del tipo 316 por tonelada.

Este material tiene un valor de 13 141.02597 CUC por tonelada.

$$C_3 = \text{valor del material} \times \text{cantidad que se emplea.}$$

Para determinar la cantidad de material que se utilizaría para la elaboración de esta pieza se tienen en cuenta dos aspectos:

- El peso del disco del impelente.
- El peso de las paletas (6).

El disco pesa 78 Kg, por lo el valor del material para este caso es: 1025 CUC.

La paleta tiene un peso de 22.37 Kg, entonces el valor del material en este caso es: 293.96CUC, que multiplicado por el número de paletas (6) sería: 1763.79 CUC.

$C_3=2788.79$  CUC.

### 3.4.4 Valor total ( $C_0$ )

El valor total es la suma de todos los costos que se tienen en cuenta para el diseño de las piezas.

$C_0= C_1 + C_2 + C_3$

$C_0=8117.81$  CUC.

## 3.5 - Impacto Ambiental

La empresa Cdte. Ernesto Che Guevara afecta considerablemente el medio ambiente circundante por lo que es necesario, y se pretende, reducir este efecto negativo paulatinamente. La reducción del efecto negativo de la empresa solo se logrará, creando una conciencia ambiental sólida en la sociedad para así garantizar una vida sana y agradable a las generaciones venideras; ya que éste es uno de los factores que incide sobre el nivel de la vida de la población de Moa.

Ya se sabe que se violan muchas regulaciones internacionales del medio ambiente y se debe tratar de cumplirlas porque hay una gran cantidad de la población del municipio de Moa que vive cerca de las zonas industriales, como es el caso del reparto Rolo Monterrey, Veguita y otras zonas aledañas.

Las principales fuentes de contaminación de la planta de lixiviación y lavado son las que giran entorno a las utilizaciones de gases nocivos como el amoniaco o el carbonato de amonio, en este caso, los Turboareadores de esta planta presentan, en mayor o menor medida emisiones de amoniaco, dañino para la salud humana, principalmente cuando son evacuados para el mantenimiento o la reparación del mismo.

### 3.5.1 Afectaciones a la salud por gases amoniacales

El amoníaco, 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 amoniaco pueden cortar la respiración, pero sin provocar efectos nocivos.

Las concentraciones medias de amoníaco pueden provocar decaimiento, irritación, congestión, hinchazón, entumecimiento de las membranas mucosas de los ojos, nariz y garganta.

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

Cuando el amoníaco líquido se pone en contacto con la piel, produce congelaciones rápidas e intensas en la zona afectada.

La ingestión del amoníaco líquido origina una severa acción corrosiva en la boca, la garganta y el estómago.

El amoníaco gaseoso tiene una gran acción irritante en cualquier parte húmeda de los tejidos, da taquicardia (agitación de la respiración y los latidos del corazón respectivamente), son algunos de los efectos originados por la irritación de las vías respiratorias, pudiendo llegar hasta detener la respiración y causar la asfixia.

Una vez inhalado produce efectos en los tejidos superficiales ya que no es absorbido por el organismo.

Debido a la alta solubilidad del amoníaco en el agua, este tiene gran facilidad de disolverse en el sudor del cuerpo humano.

En la tabla 3.6 se expone las afectaciones del amoníaco en diferentes concentraciones, partículas por millón (ppm).

**Tabla 3.6:** Afectaciones del amoníaco en diferentes concentraciones.

<b>Amoníaco en el aire (ppm)</b>	<b>Efectos</b>
300-500	Concentración máxima tolerable en inhalaciones por corto tiempo (½ - 1 hora)
408	Concentraciones mínimas que causan irritaciones inmediatas en la garganta.
698	Concentraciones mínimas que causan irritaciones inmediatas en los ojos.
1720	Concentraciones mínimas que hacen toser.
2500-4500	Concentración peligrosa, incluso por breve tiempo.

A la hora de trabajar en la instalación en estudio o directamente con los Turboareadores, y debido a los efectos contaminantes que se encuentran en la misma se deben tener en cuenta las siguientes medidas de seguridad.

### 3.5.2 Medidas de seguridad para reducir los efectos negativos del amoniaco

Para lograr que los trabajadores obtengan la mayor seguridad en la entidad o en el puesto que se encuentren desempeñando su papel se recomienda que cumpla con las siguientes medidas de seguridad.

- ✓ Hace falta un suministro de caretas en la planta para prevenir la inhalación de los vapores del amoniaco y para evitar que se ardan a los ojos.
- ✓ El personal que trabaja con amoniaco siempre debe tener en cuenta hacia donde circula la dirección del viento para situarse de manera que los vapores del mismo sean alejados de él.
- ✓ Hay que situar duchas y lavadores de ojos convenientes para que cualquier obrero afectado se aplique grandes cantidades de agua rápidamente. También es necesario utilizar los equipos de protección cuando se requieran.
- ✓ Instruir adecuadamente a los trabajadores respecto a los métodos adecuados de manipulación del amoníaco con el objetivo de prevenir el contacto directo del líquido o una exposición imprevista al gas.
- ✓ Utilizar los medios de protección personal como: caretas, botas de goma, guantes de goma y traje de protección química con aire asistido en caso que se requiera.

Unido a las medidas de seguridad está también los medios de protección que por su importancia, es de uso obligatorio en la instalación.

### 3.5.3 Medios de protección

Los siguientes medios de protección contribuyen a la integridad física de los trabajadores de la empresa.

- ✓ Cuando las concentraciones están por encima de 28.71 ppm (partículas por millón) de amoníaco en los gases del ambiente, deben usarse respiradores (marca KD) o máscara antigás (marca KD), si la concentración afecta a los ojos, también pueden usarse espejuelos de seguridad marca 3m 4-72.
- ✓ Cuando las concentraciones están por encima de 2500 ppm deben utilizarse trajes de protección química con aire asistido, también puede pasarse grasa por la piel

antes de ponerse el traje para evitar que los vapores del amoníaco sean absorbidos, las cremas no son suficientes para la protección.

### **3.6- Conclusiones del capítulo**

- Los resultados de la simulación por el Método de Elementos Finitos demuestran donde se encuentran las zonas de alta concentraciones de tensiones, posibilitando prevenir una posible avería en estos elementos mecánicos.
- El costo total del engranaje y el impelente es: **8117.81 CUC.**
- La planta de Lixiviación y Lavado es un agente contaminante de la atmósfera por lo que se requiere tomar las precauciones necesarias para disminuir el efecto producido por la misma.



# CONCLUSIONES

## CONCLUSIONES

---

- La disponibilidad de los Turboareadores en lo que va de año se ha comportado con un valor de **96.67 %**.
- El engranaje diseñado presenta una relación de transmisión igual a: **20**.
- El diámetro exterior de la rueda diseñada es de **335 mm**.
- Las dimensiones de la paleta del impelente del Turboareador son **280 mm** para la altura y **350 mm** para la longitud de la misma.
- El ángulo de entrada del flujo de la pulpa de mineral en el impelente del turboareador es de **12°** y el de salida es aproximadamente **20°**.
- Los resultados de la simulación por el Método de Elemento Finito del engranaje demuestran que las zonas de alta concentraciones de tensiones de la rueda dentada es en el centro de la misma.
- Las tensiones del impelente mostrado por el Método de Elemento Finito demuestran que las mismas se concentran cercanas a la soldadura de la paleta con el disco de la misma.
- El costo total del engranaje y el impelente diseñados es de: **8117.81 CUC**.





# RECOMENDACIONES



## RECOMENDACIONES

---

- ✓ Realizar un estudio más profundo de la incidencia de los álabes curvados del impelente del Turboaredor, debido a la importancia que esta presenta para el desarrollo de la industria del níquel cubana.
- ✓ Realizar la tecnología de fabricación y la elaboración de las piezas diseñadas con la máxima exigencia.
- ✓ Realizar el montaje in situ del moto-reductor y el impelente una vez fabricadas las piezas proyectadas.
- ✓ Establecer un sistema de mantenimiento único, que sea más asequible y económico y que garantice la mayor disponibilidad de estos equipos.

# BIBLIOGRAFÍAS

---

**BIBLIOGRAFÍAS CONSULTADAS**

---

1. Aneiros, J. M. Problemas de Diseño de Elementos de Máquinas.
2. Atlas de Diseño I y II Parte.
3. Baranóv, G. G. Teoría de los Mecanismos. Editorial MIR, Moscú. 1985.
4. Brown, G. Operaciones Básicas de la Ingeniería Química. Tomo II, Editorial Pueblo y Educación, 528. 1990.
5. Colectivo de autores. Manual de Trabajos Prácticos de Dibujo Aplicado.
6. Castellanos, J. Metalurgia extractiva de los minerales oxidados de níquel. Tomo I, Instituto Cubano del Libro, La Habana. 1972.
7. Chander y Sharma, Hydrometallurgy. 5, 525. 1980.
8. De Graff, J. E. Hydrometallurgy, Vol. 4, 7. 1980.
9. Dobrovolski, R. Elementos de Máquinas. Editorial MIR, Moscú.
10. Documentación Técnica de los Equipos.
11. Fiffe, L. J. y Granda, O. Tecnología Química. Vol. 2, 13. 1985.
12. Fondy, V. y Corpstein Engineering. Chemical. Process Design Develop. 2, 310. 1963.
13. González, Isnel, Folleto de Transmisiones Mecánicas. ISMMM.
14. Habashi, F. Principles of extractible metallurgy. Vol. 2. Quevec, Canadá. 1980.
15. Herrera, V. Y Presillas, D. Patente Cubana. N°. 33333. 1968.
16. Masola, Collazo Nelson; Manual del Sistema Internacional de Unidades (SIU). Editorial Pueblo y Educación, 1981.
17. Nievov, A. Chem. Eng. Soc. 23, 1453. 1968.
18. Osseo-Assare, K. y Asihene, S. W. Heterogeneous equilibrium in ammonia laterite leaching system, International laterite symposium. Society of Mining Engineers Publisher, February, New York, 585. 1980.
19. Otero, J. Modificación a los Turboareadores de la Planta de Lixiviación y Lavado en búsqueda de su optimización y su análisis comparativo con los turbos de Greenvale. Informe Técnico, Empresa Cdte. Ernesto Che Guevara, Moa. 1992.

20. Reshetov, D. Elementos de Máquinas Editorial Pueblo y Educación, 1975.
21. Reyes, Palacios. E. E. “Influencia del dispositivo de contacto y las relaciones geométricas del sistema de agitación, en una instalación de lixiviación estándar. Tesis en opción al título de Master en Química Inorgánica. Universidad de Oriente. 1998.
22. Rodríguez, H. O. Dibujo Aplicado para Ingenieros, Tomo II.
23. Rodríguez, Moya J. L., Goytisoló, Espinosa R. Correcciones en las Transmisiones por Engranajes Cilíndricos de Dientes Rectos. Universidad Central de Las Villas. 2000.
24. Sitios web: [www.aeroglide.com](http://www.aeroglide.com)  
[www.ismm.edu.cu](http://www.ismm.edu.cu)  
[www.uo.edu.cu](http://www.uo.edu.cu)  
<http://www.ing.puc.cl/apuntes/materiales/aceros/sabimet.htm>  
[http://www.inoxidable.com/normas\\_internacionales.htm](http://www.inoxidable.com/normas_internacionales.htm)



# ANEXOS

ANEXO 1

Figura # 1.1 Modificación del cuerpo del Turboareador propuesto por J. Otero, 1990.

