

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

TRABAJO DE DIPLOMA

En opción al Título de Ingeniero Mecánico

Título: *Diseño de la varilla de perforación de mineral en la empresa Comandante Pedro Sotto Alba.*

Autor: *José Idrian Guzmán González.*

Tutor: *Ms C. Geovany Ruiz Martínez.*

Dr. C. Alberto Velázquez del Rosario.

Moa – 2013

“Año 55 de la Revolución”



DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo: José Idrian Guzmán González;

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

Firma del Autor

José Idrian Guzmán González

Firma del tutor

M Sc. Ing. Geovany Ruiz Martínez



AGRADECIMIENTOS

Muchas veces tenemos una meta que vencer en la vida; sin embargo en ocasiones nos resulta difícil llegar e incluso solemos encontrarla lejana por muy cercana que esta se encuentre, percatándonos al final de la meta, que con buen esfuerzo puede ser vencida fácilmente.

Este especial lugar es sencillamente para darles las gracias a todas las personas que de una forma u otra depositaron su granito de "oro" para que este sueño fuese realidad en especial a:

mis padres José Luis y Nelcys que con su amor, maestría, cariño, respeto, sinceridad, dedicatoria plena, responsabilidad y fidelidad me apoyaron en todo momento de mi carrera.

A mi esposa Esleydis Rodríguez que me ayudó y apoyó en todos los momentos, a mi hermana Gretchen.

A todas mis amistades que de una forma u otra siempre estuvieron al tanto de este espejismo.

A mis compañeros de trabajo que ofrecieron amplia información y documentación del trabajo realizado, en especial a los perforadores.

A Mario que dedicó parte de su tiempo en una excelente búsqueda del Internet.

A los profesores de la carrera y en especial a mi tutor Geovany Ruiz Martínez por su dedicación e incondicional instrucción y maestría.

A todos: Gracias.



DEDICATORIA

Cuando se realiza una ardua labor muchas veces nos queda el cansancio y el agotamiento, pero lo mitiga el triunfo de lo realizado y el sabor de lo que se hizo con amor y dedicación, por tal motivo esta página lleva consigo una especial dedicación:

a mis padres José Luis y Nelcys por que siempre soñaron con tener sus hijos ingenieros y hoy ese sueño es realidad;

a mis abuelos José Miguel y Yolanda que siempre estuvieron al tanto de los estudios así como todos mis tíos;

a mi esposa Eslydis e hijos Idriana y Alejandro ya que ellos son la bujía inspiradora;

a los ayudantes de perforación y fieles compañeros de trabajo por los cuales me inspiró la realización de esta obra los cuales sueñan con su total puesta en operación.



PENSAMIENTO

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

*Albert
Einstein*

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

*Albert
Einstein*

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo: diseñar la varilla empleada en las perforaciones a espiral de la empresa Comandante “Pedro Sotto Alba”, a partir de la utilización de la **aleación de aluminio** para disminuir el peso de los elementos, garantizando la resistencia mecánica requerida. El mismo toma como base, una búsqueda bibliográfica basada en la obtención de información acerca del régimen de trabajo de la perforación, trazando nuevas pautas para el diseño de la varilla de perforación a espiral en la toma de muestras de la empresa Comandante “Pedro Sotto Alba”; se establece en él, la metodología de cálculo de resistencia mecánica por el Método de Elementos Finitos (MEF) el cual pone de manifiesto una vasta exactitud de la resistencia del material empleado; a través de estos métodos se corroboró que la nueva propuesta se diseñó con una aleación de aluminio 7075 T6 / T651, según norma ASTM 604 – 83 - 1996, la misma cumple con todos los parámetros de resistencia mecánica, el peso de la varilla disminuye hasta 7,62 kg, y puede dar ganancias hasta \$340 000 USD en un año.

ABSTRACT

The present study aimed to design the rod used in the drilling business Spiral Commander "Pedro Soto Alba" from the use of aluminum alloy to reduce the weight of the elements ensuring the required mechanical strength. The same builds on a literature search from obtaining information about the conditions of labor and new guidelines for the design of the spiral drill rod in the sample company "Commander Pedro Soto Alba", is set to he calculation methodology for mechanical strength and Finite Element Method (FEM) which shows extensive resistance accuracy of the material used; through these methods was confirmed that the proposed new design alloy 7075 T6 / T651, ASTM 604-83-1996 needs it meets all strength parameters, the weight of the rod decreases to 7,62 kg, and can be profitable to 340 000 USD of profit in a year.



ÍNDICE	Pág.
Introducción	1
Capítulo 1: Descripción técnica y marco teórico	5
1.1 Introducción	5
1.2. Breve reseña histórica de la planta y flujo tecnológico	5
1.3 La toma de muestras y los tipos de sondeo	9
1.3.1 Procedimiento para la realización de un correcto muestreo durante la perforación	11
1.3.2 Desventajas de la perforación espiral	12
1.3.3 Utilización y acople de las barrenas espirales	12
1.4 La perforación espiral en los yacimientos lateríticos de Moa	13
1.5 Características de la máquina de perforación	14
1.6 Diferentes esfuerzos y fallos que afectan al varillaje durante la perforación	16
1.7. Materiales empleados en la fabricación de barreras y el tratamiento de las barreras de acero	17
1.8. Algunas consideraciones sobre el diseño asistido	19
1.8.1 Fase de diseño inicial	20
1.8.2. Fase de diseño	20
1.8.3. Fase de postdiseño	21
1.9. Estado tensional y deformacional	21
1.9.1 Solicitaciones mecánicas	22
1.10. Conclusiones parciales del capítulo 1	24
Capítulo 2: Materiales y métodos	25
2.1 Introducción	25
2.2. Propiedades mecánicas del duraluminio	25



2.3 Cálculo de resistencia a la torsión de la barra de sección anular	26
2.3.1. Comprobación de resistencia y rigidez	27
2.4. Cálculo de la resistencia a la estabilidad por	28
2.4.1. Cálculo de la carga crítica	29
2.4.2. Determinación de la tensión crítica	30
2.4.3. Obtención de la condición de estabilidad	30
2.5. Cálculo de masa	32
2.5.1. Masa de los orificios de los pasadores	32
2.5.2 Masa de los orificios de seguridad	33
2.6.1. Algoritmo para la simulación (COSMOS DISAING STAR)	34
2.7. Conclusiones Parciales del capítulo 2	34
Capítulo 3: Análisis de los resultados	35
3.1- Introducción	35
3.2- Resultados del cálculo de torsión	35
3.3. Cálculo de pandeo de la varilla	36
3.4. Resultados de la simulación	38
3.5. Valoración económica	40
3.6. Impacto ambiental	42
3.7. Conclusiones parciales del capítulo 3	44
Conclusiones generales	45
Recomendaciones	46
Bibliografías	47
Anexos	

INTRODUCCIÓN

La industria cubana del níquel, fundada hace algo más de 60 años con la finalidad de producir concentrados de níquel y cobalto, se encuentra enfrascada en un proceso de ampliación, mejora y diversificación de la producción. Actualmente, los concentrados de níquel y cobalto constituyen uno de los renglones exportables más importantes para el desarrollo de la economía cubana.

En la actualidad existen dos fábricas en nuestro país dedicadas a la obtención de níquel más cobalto. Una de estas con tecnología de carbonato amoniacal, la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, y la otra con tecnología sulfuro de níquel, la empresa Comandante Pedro Sotto Alba. Esta última ha tenido un revolucionario avance a partir de la década pasada, esto se ve reflejado en los índices de producción existentes en ella, que sin lugar a dudas ha ayudado exitosamente a la reanimación de nuestra economía, dando valiosos aportes económicos en aras del desarrollo social.

El área de construcción de la empresa se encuentra al norte del yacimiento de mineral de Las Veguitas. Situada en la carretera del puerto s/n a 3 km de la ciudad de Moa, provincia Holguín. El puerto marítimo por donde se realiza la exportación del mineral laterítico ya procesado se encuentra a unos 3 km al norte de la compañía. En esta zona, adjuntada también a la de Nicaro se ubica una de las mayores reservas minerales de níquel del mundo, aspecto que ha funcionado como inductor de un gran desarrollo socioeconómico local y regional.

Este complejo minero metalúrgico tiene como objetivo fundamental, la elaboración de sulfuros de níquel más cobalto, productos semielaborados que se obtienen al someter el mineral laterítico a diversos procesos físicos y químicos; consta con seis plantas de procesos tecnológicos, las cuales son imprescindibles para la producción de sulfuros de Ni+Co.

El flujo tecnológico comienza con la extracción del mineral en minas a cielo abierto. La primera planta es la de Beneficio, que es la encargada de separar las serpentinas como mineral de rechazo de la limonita como producto de la planta, este mineral se traslada hacia la planta de Preparación de Pulpa por medio de la combinación de transportadores de esteras y bandas.



Esta tiene la función de clasificar el mineral a través de cribas vibratorias y lavadoras en dos trenes tecnológicos independientes, a una granulometría de aproximadamente 0,083 mm con un sólido de 23 – 25 %, esta pulpa se transporta por gravedad a través de una línea de 1,23 m hacia la Planta de Espesadores, donde se logra un sólido de 45 – 48 %; dicha pulpa es extraída de los tanques sedimentadores por medio de bombas centrífugas y enviadas a la Planta de Lixiviación donde se recibe el mineral en los precalentadores, el cual es precalentado con vapor pasando por los tanques de almacenaje, reactores de cada tren, enfriadores, separadores, hasta llegar a la caja distribuidora y a la vez a la línea de níquel, para ser enviada a la planta de lavaderos, aquí se recibe la pulpa lixiviada en el embudo del tanque 1, que es donde ocurre el lavado con el licor a contracorriente proveniente del tanque 2, para obtener la mayor cantidad de Ni en el licor y ser bombeada hacia la planta de Neutralización, en la cual se reduce el hierro y el cromo, precipitando el cobalto con H_2S y ser enviada nuevamente a Lixiviación, donde es precalentado con vapor y bombeado hacia la Planta de Sulfuros. En esta se recibe el licor en precalentadores, pasando por gravedad a los calentadores de cada tren tecnológico, donde es extraído por medio de bombas y alimentado al compartimiento C de las autoclaves, en el cual se inyecta vapor y se alimenta H_2S a contracorriente, ocurriendo la precipitación de Sulfuros de Ni+Co. Como producto final con un sólido 28 %, donde es enviado a los espesadores para alcanzar hasta el 60 %.

Este producto final no se complementa como acabado hasta ser enviado por medio de trompos sulfateras hacia una de las plantas auxiliares, Secado y Azufre, donde se le extrae por medio de bombas de vacío, el agua contenida en el sulfuro quedando almacenada en contenedores para su exportación.

Uno de los procesos fundamentales en la determinación de las reservas de Ni más Co y el establecimiento de los frentes óptimos a explotar, lo constituye la prospección minera. En los procesos de prospección minera, la perforación constituye una de las etapas más importantes, y en ella se involucran importantes equipos y tecnologías que definen la calidad y operatividad en los trabajos.

Sobre la base de lo planteado anteriormente se han venido realizando análisis sobre la factibilidad de modificar el diseño de las varillas perforadoras, de manera que se utilice en el núcleo o varilla central, un material con menor peso específico,



y por ende, más ligero, pero que garantice la resistencia mecánica requerida por el elemento y el sistema en general. De aquí que en la presente investigación se establece como **situación problemática**

En el caso de la empresa Comandante Pedro Soto Alba, en la perforación minera se emplean cuatro máquinas marca MOROKA, las cuales emplean sistemas de barrenas de perforación espiral. Estas varillas tienen una longitud de 1.5 m, un peso de alrededor de 33 kg, y hay que trasladarla manualmente hasta 14 m. Las profundidades de perforación se logran con el acoplamiento de una varilla consecutivamente después de la otra, con un ensamblaje del sistema Hallen.

El acoplamiento y desacoplamiento de las varillas se efectúa de forma manual, asistida por un cabrestante que pende del brazo de una mini grúa, situada encima de una perforadora. Estos trabajos manuales requieren de grandes esfuerzos por parte de los operarios; por lo que se requiere de la humanización de las labores de perforación, de manera que los operarios sufran un mínimo de afecciones o accidentes laborales sin comprometer la calidad de los trabajos, aumentar la productividad en el proceso de muestreo, y minimizar la posibilidad de ocurrencia de accidentes laborales.

Problema científico

Elevado peso de la varilla empleada en las perforaciones a espiral, que requiere de grandes esfuerzos y ocasiona malestares, cansancio, agotamiento y afecciones lumbares en los operarios.

Objeto de la Investigación

Varilla empleada en las perforaciones a espiral.

Campo de acción

Diseño de varilla de perforación.

Hipótesis

La utilización de una aleación de aluminio en el diseño del núcleo o varilla central de las brocas empleadas en las perforaciones a espiral de la empresa Comandante Pedro Soto Alba, permitirá obtener elementos más ligeros sin comprometer la resistencia mecánica requerida.

Objetivo General



Diseñar la varilla empleada en las perforaciones a espiral de la empresa Comandante Pedro Soto Alba, a partir de la utilización de un material más ligero, para disminuir el peso de los elementos garantizando la resistencia mecánica requerida.

Objetivos específicos

1. Caracterizar el material a emplear para el nuevo diseño.
2. Analizar el comportamiento mecánico de la nueva propuesta a partir del empleo de técnicas computacionales.

Tareas a desarrollar

1. Establecimiento del estado del arte y sistematización de las teorías, métodos y procedimientos relacionados con las aleaciones para equipamientos mineros.
2. Cálculo de los parámetros geométricos de la nueva propuesta.
3. Realización de la simulación con COSMOS DISAING STAR.
4. Propuestas de solución tecnológica al problema planteado.
5. Planteamiento de los efectos económico, social y ambiental.

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción.

Toda investigación debe estar sustentada por un análisis científico, teórico y empírico, donde se utilicen métodos que cumplan con los objetivos del problema, hipótesis y tareas.

En el presente capítulo se mostrarán una serie de aspectos relacionados con la temática que se tratará en este Trabajo de Diploma, los mismos son resultado de una búsqueda bibliográfica basada en la obtención de información acerca del régimen de trabajo, trazando nuevas pautas para el diseño de la varilla de perforación a espiral, en la toma de muestra en la empresa Comandante Pedro Sotto Alba.

1.2. Breve reseña histórica de la planta y flujo tecnológico

Teniendo como inversionista a la Moa Bay Mining Company, la empresa constructora Frederick Snare Co. acomete entre los años 1957-1959 los trabajos de construcción de la planta de níquel de Moa, las áreas portuarias y mineras, y el resto del reparto residencial. Desde octubre de 1959 hasta marzo de 1960 la Moa Bay Mining Company realiza el proceso de arranque, ajuste y puesta en marcha de dicha planta. En abril de 1960, después de dictar el cierre de la planta y preservar las instalaciones, la Moa Bay Mining Company retira todo su personal en Cuba.

El 5 de agosto de 1960, el gobierno revolucionario de Cuba interviene todas las propiedades de la Moa Bay Mining Company en dicho país, y en julio de 1961 la empresa de níquel Comandante “Pedro Sotto Alba”, administrada por el gobierno, reinicia las operaciones en la planta de Moa y se mantiene en activo hasta noviembre 1994.

Como parte de la empresa de metales, negocio conjunto entre Sherritt Internacional de Canadá y General Níquel Company de Cuba, el primero de diciembre de 1994 comienza a operar la Planta de Moa la empresa mixta Moa Nickel S.A.- Comandante Pedro Sotto Alba. La empresa de metales está compuesta por Moa Nickel S.A. en Cuba, la Refinería Corefco en Fort Saskatchewan, provincia de Alberta en Canadá, y ICCI en Bahamas, cuyo objetivo es comercializar los productos generados.

La fábrica Comandante Pedro Sotto Alba en Moa, tiene como objetivo fundamental la elaboración de sulfuros de Níquel más Cobalto, productos semielaborados que se obtienen sometiendo el mineral laterítico a diversos procesos físicos y químicos a través de siete plantas de proceso continuo, ellas son: Preparación de Pulpa, Lixiviación, Lavaderos, Neutralización, Precipitación de Sulfuros, Secado y Envase.

La extracción del mineral, comienza cuando las condiciones generales del yacimiento indican el laboreo a cielo abierto; después de haber realizado la prospección, la exploración o el cateo; luego se efectúa el reconocimiento o la apreciación del yacimiento, que incluye el muestreo, ensayos químicos, reservas de mineral, y cálculos económicos; procediéndose seguidamente al desarrollo minero, que es la selección de la red topográfica.

La red topográfica, además de señalar los accidentes topográficos del terreno, es quien indica la perforación; esta a su vez, consiste en tomar muestras de mineral cada 1 m en forma vertical, dichas muestras sirven para determinar el % de Ni, Co, Fe, Mn, Mg, Al, Cu, Si, etc.; durante el análisis en el laboratorio. Esta última operación forma parte del reconocimiento.

Los trabajos posteriores son realizados por el frente de minería, que es quien se encarga de la explotación del yacimiento. Después de efectuados todos los cálculos geológicos, se realiza el desbroce, que consiste en quitar todo tipo de vegetación del terreno, y el escombro o mineral no útil (Hernández, 1981)

Luego comienza la extracción mediante retroexcavadoras, las cuales extraen el mineral de los bancos de minería y lo descargan sobre camiones con capacidad de carga para 40 toneladas, los cuales tienen a su cargo el transporte del mineral hasta la planta de Preparación de Pulpa o hacia los depósitos de mineral.

- ✓ **Planta de Preparación de Pulpa:** es la encargada de beneficiar el mineral minado, garantizando la granulometría necesaria para el espesamiento, obteniéndose una pulpa con un 25 – 30 % de sólidos.
- ✓ **Planta de Espesadores de Pulpa:** Es la encargada de lograr un espesamiento de la pulpa enviada desde la planta de preparación de pulpa hasta un 47 % de sólidos en 4 tanques con agitadores.

- ✓ **Planta de Lixiviación:** en esta planta, se logra con ácido sulfúrico y condiciones especiales de presión y temperatura pasar selectivamente a líquido el níquel y el cobalto presentes en el mineral.
- ✓ **Planta de Lavaderos:** es la encargada de lavar la pulpa lixiviada y obtener un licor rico en Ni y Co separando las colas de hierro.
- ✓ **Planta de Neutralización:** es la encargada de neutralizar el ácido en exceso del licor proveniente de la planta de lavaderos. Esta neutralización se lleva a cabo con carbonato de calcio (CaCO_3). En esta área también se reducen el Fe y el Cr y se precipitan el Cu SO_4 en forma de CuS .
- ✓ **Planta de Preparación de Sulfuros:** tiene el objetivo de precipitar los sulfatos de Ni y Co en forma de sulfuros, utilizando como reactivo químico el H_2S .
- ✓ **Planta de Termoeléctrica:** es la encargada de producir el vapor utilizado en las plantas del proceso que requieran del consumo de esta materia prima; garantiza la energía eléctrica, el suministro y tratamiento del agua utilizada en la empresa (domestica, desmineralizada, de enfriamiento, de proceso, etc.).
- ✓ **Planta de Secado y Derretimiento de azufre:** es la encargada de envasar y secar el sulfuro de Ni + Co para su exportación. La segunda sección tiene el objetivo de derretir el azufre y bombearlo hacia la Planta de Ácido y H_2S para la producción de ácido sulfúrico y sulfhídrico respectivamente.
- ✓ **Planta de Ácido:** es la encargada de producir el ácido sulfúrico necesario para el proceso de lixiviación. El ácido obtenido tiene un 98 % de concentración, y se fabrica utilizando como materias primas el azufre, el vapor y el aire atmosférico. (Manual de operaciones de la planta, P.S.A.,2012).

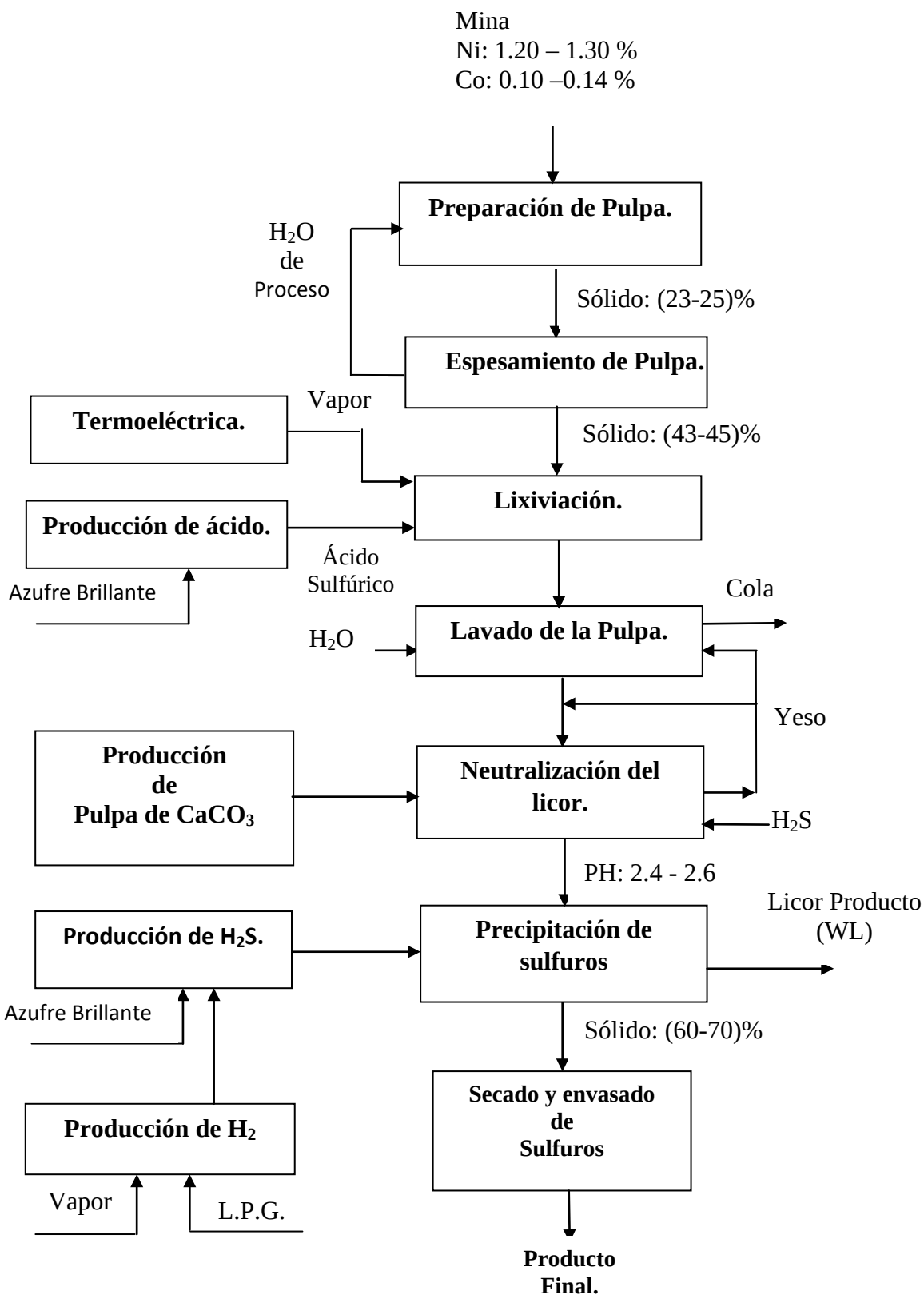


Figura 3.1. Esquema tecnológico principal de la empresa Comandante Pedro Sotto Alba.

1.3 La toma de muestras y los tipos de sondeo.

Según Vladimirivich, (1986) la toma de muestras es una de las actividades más importantes de las campañas de reconocimiento geotécnico, por ese motivo ha de estar planificada antes de comenzar la campaña de reconocimiento.

Las muestras pueden obtenerse de sondeos, de calicatas, o de lugares específicamente donde no se halla hecho perforación o excavación previa.

Las muestras pueden ser alteradas, esto es, que después de tomadas tomen otra densidad o humedad distintas de las originales; o inalteradas en las que la humedad y la densidad sean lo más próximas posibles a las originales. En cualquier caso, las muestras pueden ser representativas del suelo que se quiere ensayar, en ese sentido deben evitarse siempre los lavados o segregaciones de las muestras, salvo que este aspecto, por alguna razón singular, no tenga importancia en el problema de estudio.

Las muestras alteradas pueden tomarse manualmente con pico y pala, con excavadoras mecánicas, o proceder de testigos de sondeos (anexo 8). Se coleccionan durante la explotación del yacimiento en el frente de minería, y una vez codificadas, son llevadas al laboratorio. Pueden transportarse en bolsas de nylon.

La toma más usual de los reconocimientos geotécnicos se realiza en sondeos, mediante toma de muestras específicas adaptadas al tipo de terreno; para ello, es de vital importancia tener presentes los diferentes tipos de perforación a utilizar en cada caso (Vladimirivich, 1986).

Según Fritzsche, (1985), en su Tratado de Laboreo de Minas los métodos más habituales para la ejecución de sondeos mecánicos son el de rotación con extracción de testigo continuo, percusión y mediante barrena helicoidal, hueca o maciza.

Los sondeos a rotación: mediante baterías simples, dobles o especiales, podrán utilizarse en cualquier tipo de terreno, siendo necesario utilizarlos cuando el terreno a reconocer sea un macizo rocoso, o exista alternancia de capas cementadas duras con otras menos sementadas.

En su utilización se tendrá en cuenta que pueden existir problemas en el reconocimiento de suelos granulares finos bajo el nivel freático y de bolos o grabas gruesas, también deben interpretarse con cuidado los testigos extraídos de suelos

colapsables bajo la acción del agua de inyección, y los de roca blanda de tipo arenisco o que pueden fragmentarse excesivamente por el efecto de la rotación.

Los sondeos a percusión: pueden realizarse cuando el terreno puede atravesarse con la energía disponible y el ruido asociado al golpeo no rebase los límites establecidos para cada caso. En su utilización se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:

1. Este método está especialmente indicado para reconocer suelos granulares gruesos, adaptando el diámetro del sondeo al tamaño de las grabas o bolos a atravesar.
2. Normalmente se emplearán tuberías de hinca o toma muestras a percusión.
3. En el caso de los suelos granulares finos se utilizarán cucharas con cierre inferior de clapeta.

Los sondeos con barrena espiral hueca o maciza pueden utilizarse cuando:

1. No sea necesario obtener testigo continuo del material no remoldeado.
2. El terreno sea relativamente blando y cohesivo.
3. No existan capas sementadas o de grabas, ni capas arenosas fluyentes, bajo el nivel freático.
4. No sea necesario penetrar en rocas.
5. No se requiera una precisión superior a 0,5 m para la localización en profundidad de las diferentes capas.
6. Se pueda justificar la calidad de las muestras inalteradas extraídas por el eje hueco o en el sondeo, sin entubar en el caso de las barrenas macizas.
7. Se subsanen los aspectos negativos anteriores con otros tipos de prospecciones.

1.3.1 Procedimiento para la realización de un correcto muestreo durante la perforación

Es de vital importancia tener presente para ello una serie de pasos lógicos, los mismos son calificativos de un trabajo con buena calidad y que a su vez dan al traste con el desarrollo eficiente del proceso, ellos son:

a) Limpieza superficial de la muestra en la barrena (anexo 8).

Este procedimiento se realiza con el objetivo de eliminar todas las contaminaciones que trae la misma, dado que durante la extracción del tren de barrenas, este en la medida que asciende a la superficie, viene arrastrando partículas de la pared del pozo, las cuales contaminan la muestra.

b) Tomar de cada tramo de espira la misma cantidad de material.

Una vez limpia y lista para muestrear, se procede a tomar la muestra que contiene la barrena, la misma se realiza de forma uniforme en cada espira con la finalidad de no alterar su resultado. Se tomarán 3 kg de muestra.

c) Envasar en bolsas de plástico las muestras.

Las muestras una vez coleccionadas, se envasan en bolsas de plástico donde se asegura su no contaminación, ya sea por la humedad, polvo, u otros; en las mismas se procede a su respectivo marcaje mediante talones codificados, los cuales dan una lectura del metro perforado, así como su litología y descripción, estas últimas se destacan detalladamente en los modelos de documentación y muestreo.

Una vez realizados estos procedimientos se procede a la limpieza total de la barrena y de la boca del pozo, con el objetivo de evitar que caiga material muestreado (anexo 7), al fondo del pozo, estas indicaciones se realizan para cada sondeo de perforación, los cuales no deben exceder 1 m . Las muestras son enviadas a un laboratorio de minerales para su procesamiento y posterior reconocimiento.

Con estas barrenas espirales (anexo 11), se perforan además, pozos para realizar estudios ingenieros – geológicos, hidrogeológicos, búsqueda y exploración de yacimientos minerales, pozos para explosivos empleados en exploración sísmica, y búsqueda de carbón y materiales de construcción a cielo abierto.

1.3.2 Desventajas de la perforación espiral

- 1) La profundidad de perforación está limitada, ya que esta solo es capaz de avanzar hasta la roca dura (anexo 10).
- 2) Hay un gran consumo de energía en el tren de barrenas (anexo 3).
- 3) Es imposible perforar más abajo del nivel de las aguas subterráneas, así como en rocas plásticas.
- 4) Es un trabajo 50 % manual requiriendo de un gran esfuerzo físico.

1.3.3 Utilización y acople de las barrenas espirales

Para el elemento del peso y la solidez del tren de barrenas se colocan dos barrenas pesadas que tienen una cinta espiral de 8 – 10 mm de espesor., los diámetros oscilan entre 65 y 475 mm. El peso de la cinta es de 0,6 o 0,9 partes del diámetro de las barrenas y la longitud es de 1,5 m (anexo 11) aunque en ocasiones suelen utilizarse de 3 m.

Para acoplar las barrenas entre sí y con las brocas, existen dos métodos:

1. Mediante uniones sin roscas.
2. Mediante uniones con roscas.

Sin roscas: representan dos piezas hexaédricas, una macho y una hembra que se fijan entre sí con pasadores. El macho se coloca dentro de la hembra y luego en el orificio se introduce un pasador de acero; este con el objetivo de extraer todo el tren de varillas.

Cuando es necesario obtener muestras de rocas, se puede emplear una barrena saca muestras, esta se ubica en la parte inferior del tren, y consta de un tubo exterior, provisto de su cinta helicoidal, una camisa desmontable y una corona. Cuando la camisa se llena de rocas, se extrae del pozo.

La perforación espiral en pozos de 3 y 10 m de profundidad, sirve para efectuar diversos tipos de estudios geológicos.

La perforación con barrenas espirales en rocas blandas y friables se realiza con la máxima velocidad de rotación, o sea 250 – 300 1/min. El avance forzado del instrumento se realiza solo al comienzo de la perforación y hasta 1 m de

profundidad, luego se continúa empleando una presión garantizada por el peso del tren de barrenas y el rotor.

Para evitar la formación de tapones, que provocan la interrupción de la profundización del pozo durante la perforación de arcillas compactas, es necesario agregar agua al pozo periódicamente.

La perforación en roca duras o de dureza media se realiza con una carga forzada sobre las rocas de un rango de 80 a 130 1/min.

Las arenas acuíferas con poca potencia de dos a tres m, se perforan con gran velocidad de rotación del instrumento y su máximo avance, luego de atravesar la capa acuífera el pozo se protege con camisas.

1.4 La perforación espiral en los yacimientos lateríticos de Moa

Este método de perforación es muy utilizado para rocas blandas o friables, y para rocas de dureza media. Su aplicación en rocas duras tiene muchos inconvenientes como son: el avance lento, el calentamiento y destrucción anticipada del instrumento.

Por este método la destrucción de los sedimentos en el fondo del pozo se realiza mediante una barrena helicoidal, en ocasiones la mayoría de las veces, se acoplan varias barrenas en dependencia de la profundidad del pozo a perforar, entonces se les llama tren de barrenas, aunque en ocasiones suelen utilizarse trenes de varillas, seguido de las dos o tres barrenas espirales que inician la perforación.

La productividad de este método en suelos arcillosos, es mucho mayor que la de otros métodos, tales como el de perforación a percusión, y su costo es de tres a siete veces menor, por lo que prácticamente este último no se utiliza. Además la profundidad de los pozos puede alcanzar hasta 50 m y más, con diámetros entre 67 y 490 mm.

Mediante la perforación con barrenas espirales o helicoidales (anexo 5) fueron exploradas y calculadas las reservas de lateritas del noreste de la provincia de Holguín, utilizándose los equipos UGB – 50 A y UGB – 50 M ambos de fabricación soviética.

En nuestro país, este método se utiliza fundamentalmente en los yacimientos de lateritas y bauxitas, donde es muy rápido así como muy práctico y económico, debido a las características de la perforabilidad de estos tipos de rocas.

Los principales yacimientos que utilizan este método de perforación en Cuba, son los yacimientos lateríticos de Moa, utilizando máquinas Morooka de última generación (anexo 4).

Estas máquinas, llevan consigo las herramientas esenciales para realizar un muestreo de primer orden; y es precisamente el tren de barrenas la herramienta fundamental, dado que en esta se colecciona o acumula la muestra durante la perforación.

Este tren de barrenas, (anexo 3) representa un eje hueco o macizo, en cuya superficie exterior está soldada en forma de espiral, una cinta de acero y en su extremo inferior se asegura el instrumento de corte.

Bajo la influencia de la presión axial y el giro, el instrumento de corte separa del fondo del pozo las partículas de roca o mineral, las que caen en la cinta helicoidal, y debido a la fuerza centrífuga desarrollada al girar, se acercan a las paredes del pozo, el roce con este no permite que las rocas o partículas arrancadas giren junto al instrumento de perforación, y por ello la misma es retenida por la cinta helicoidal quedando atrapada en ella. Una vez que el tren de perforación haya profundizado 1 m, se extraen las barrenas las cuales traen consigo la muestra (Almaguer ,1980).

1.5 Características de la máquina de perforación

La máquina de perforación Morooka M5XD se utiliza para trabajos de arranque en suelos arcillosos, blandos, duros o compactos; son accionadas por motores Diesel de última generación los cuales accionan todo el sistema hidráulico del equipo para su funcionamiento.

El vehículo encargado del transporte del sistema de perforación en general, es una oruga, accionada por un motor Diesel de la marca MITSUBISHI MOTORS modelo: 4D34 – TE2 y con una cilindrada de 3910 cm³, su potencia es de 81 kW con 2 800 1/min, puede moverse desplazándose con sistema de esteras a razón de 8,3 km/h en la marcha de fuerza, y 12 km./h en la marcha rápida, con capacidad de combustible para 120 L, está dotada además, de un cable de tensión situado en la parte frontal con el objetivo de vencer pendientes abruptas muy resbaladizas, ya

que sus esteras son engomadas y las mismas en ocasiones no ejercen la presión requerida para los suelos lateríticos de nuestro municipio.

Este vehículo Morooka cuenta o posee a su cargo el sistema de perforación dotado con un motor Diesel de la marca IZUSU modelo: BB – 4GIT y con una cilindrada de 4329 cm³, su potencia es de 72,3 kW ofreciendo 2 500 1/min. a su bomba hidráulica acoplada al mismo, la cual mediante mandos hidráulicos aplica presión al sistema de perforación, situado sobre una torre de 6 m de altura que descansa sobre la máquina de forma horizontal y que coloca mediante un mecanismo de cilindro en forma totalmente vertical; esta torre posee dos cables de tensión marca: ROTZLER los cuales en su accionar tiran hacia arriba y hacia abajo todo el tren de perforación, los mismos están dotados con las siguientes especificaciones:

Fuerza lineal: 20 kN

Velocidad lineal: 40 m/min

Requerimientos de sistema hidráulico:

Presión máxima: 15,86 MPa

Vol: Max: 83 L/min

La torre de perforación en su accionar, posee un cabezal (anexo 6) capaz de brindar la rotación y presión requeridas en su efecto combinado a las barrenas de perforación, este cabezal posee un motor hidráulico de 2500 1/min y se mueve verticalmente en la mitad inferior de la torre desplazándose mediante rodillos de diámetro 100 mm ajustados a raíles.

Todo este sistema descansa sobre gatos hidráulicos, dos traseros y uno delantero, los mismos ejercen presión necesaria para situar la máquina lo más segura y equilibrada posible mediante los trabajos de perforación.

Durante la perforación (anexo 9), todo el mecanismo puede desplazarse en el plano vertical con empuje hidráulico, capaz de ejercer presión de hasta cinco toneladas sobre la barrena que va montada al frente de la barra de avance, la cual esta sujeta de un cardán. De esta manera el sistema de perforación puede desplazarse desde la superficie del terreno hasta una altura de 3 m.

La rotación puede realizarse hacia delante con dos velocidades 60 y 140 1/min respectivamente, esta última para la perforación de las rocas duras, en la misma, la rotación, es a favor de las manecillas del reloj, y lleva una contra marcha.

El desplazamiento total del mecanismo de avance es de 1,7 m, el cual permite emplear barrenas de 1,5 m que profundizan a razón de 0,10 m/s.

El peso de la máquina es de 14,5 t, siendo la profundidad de perforación de hasta 50 m con barrenas de 135 mm de diámetro para la arcilla, que es el suelo predominante hacia la cual fue diseñada la máquina.(Manual Técnico del equipo, 2005)

Young,(1980) nos expone: los rendimientos de perforación por sondeos de 1 m de profundidad con muestreo, permiten obtener resultados altos en comparación con otros tipos de perforación, así por ejemplo, perforando en la arcilla con barrenas helicoidales de acero se puede obtener un rendimiento promedio de hasta 50 m por jornada, dependiendo de la resistencia del estrato y su profundidad, la cual provoca que dicho rendimiento disminuya por causa de la difícil maniobra del varillaje.

1.6 Diferentes esfuerzos y fallas que afectan al varillaje durante la perforación

Según Gusev, (1973) cuando perforamos con en el método rotatorio, la columna perforación se somete a los esfuerzos de tensión, compresión, torsión y flexión.

Los esfuerzos de tensión, aumentan a medida que nos acercamos a la superficie, siendo el esfuerzo mayor en el último tubo.

El esfuerzo de compresión, se observa en la parte inferior de la columna de perforación, es decir en la boca de la varilla de perforación, lo cual se manifiesta con el desgaste y este a su vez, en volver más quebradizo y frágil el acero, por lo cual en varillajes pesados es más proclive este fenómeno, siendo mayor el esfuerzo de compresión sobre la barrena.

El esfuerzo de torsión se observa a lo largo de toda la columna de perforación, y aumenta en proporción directa al crecimiento del pozo sobre la barrena, y en relación a la velocidad de rotación de la mesa. Este esfuerzo es causante de abrazamiento en las uniones de las secciones de las barrenas, lo cual provoca a su vez desgaste en los puntos de acople.

El esfuerzo de flexión se ejerce en dos partes, y se origina por distintas causas. En la parte inferior se produce por la compresión y rotación, es en este momento que el instrumento de perforación se trata de desviar del eje vertical, lo que en ocasiones cuando el terreno es muy duro y el operador del equipo no presta la debida atención, la columna se dobla o se parte en lugares donde aumenta este esfuerzo; mientras que en la parte superior, la flexión se origina por la rotación solamente.

Esta flexión produce una onda en la columna llamada pandeo; este pandeo tiene una longitud y amplitud que van modificándose a medida que recorremos la columna hacia arriba.

En la zona de tensión, a medida que subimos se agranda la longitud y se disminuye la amplitud, hasta que en la parte superior el pandeo desaparece, pues la fuerza de tensión que es mayor anula el esfuerzo de flexión, cuando tenemos barrenas demasiadas elásticas este fenómeno provoca ruptura y doblajes de la columna, por lo cual es recomendable tener presente el material a utilizar y su tratamiento durante la construcción.

La zona de compresión es la parte inferior de la columna, está también sometida a la torsión y a la flexión, siendo por este motivo la zona más peligrosa en la que pueden ocurrir las averías y las complicaciones con mayor facilidad. (Gusev1973)

1.7. Materiales empleados en la fabricación de barrenas y el tratamiento de las barrenas de acero

González, (1987) nos expone que algunas barrenas se fabrican de ordinario de acero al crisol o al horno eléctrico, cuyo contenido en carbono oscila entre 0.7 y 0,95%, y cuyo contenido de manganeso varia de 0,25 a 0,35%, aunque suelen utilizarse para perforaciones de menor complejidad el acero 45.

Un acero en estas condiciones reúne, en forma ventajosa, dureza y tenacidad, y es suficientemente apto para templar. Debido a las continuas sacudidas durante el trabajo, el acero se vuelve agrio y quebradizo poco a poco, a causa de la alteración de la estructura, particularmente perjudicial es el trabajo con bocas desgastadas.

El desgaste de la boca no solamente origina una disminución del rendimiento, si no que acelera también los cambios de estructura del acero, favoreciendo así la prematura rotura de la barrena; gran parte de las roturas de las barrenas son causadas por el trabajo con bocas embotadas.

Es muy importante una cuidadosa elección del acero para barrenas y un adecuado tratamiento y empleo de las mismas (Maercks 1953). Lo primordial debe ser siempre la calidad, nunca el precio. Se recomienda usar en una mina un tipo de acero para barrenas uniforme, con el fin de evitar diferentes tratamientos en los procesos de temple.

En el aguce de las barrenas, es necesario distinguir las siguientes fases de trabajos.

1. El caldeo del acero para ser forjado.
2. El forje de la boca.
3. El nuevo recalentamiento para el temple.
4. El temple.
5. El recocido.

Cuando se efectúa el primer caldeo del acero con el fin de forjar, hay que tener cuidado para evitar que se queme el acero, es decir, no rebasar determinada temperatura diferente para cada clase de acero, y que se encuentra para los tipos corriente entre 800°C y 900°C. A continuación se forja la boca y se acaba su forma, puesto que el forjado de las bocas a mano, lleva mucho tiempo, y es caro, aparte, exigir cierta habilidad, se suelen usar máquinas para el aguce de barrena, gracias a ellas, se disminuyen considerablemente los costos de aguzado, las bocas forjadas mecánicamente son más perfectas y mantienen durante más tiempo buen corte. Tales máquinas son construidas por las casas Flottmann y Demag. Una máquina única permite el aguce de 70 bocas por hora.

Después de la operación del afilado, se temple la boca y luego se recuece, con el fin de eliminar las tensiones aparecidas durante la forja y templado, disminuir su fragilidad y aumentar su elasticidad. El templado, consiste en el caldeo a la temperatura adecuada para templar y en el enfriamiento brusco en agua fría y en movimiento, cuya temperatura sea de 15 °C a 20 °C. La temperatura de caldeo conveniente, generalmente es indicada por el suministrador del acero, muy a menudo oscila entre 750 °C y 800 °C. Para el recorrido se vuelve a calentar de nuevo la boca ante de que se enfríe del todo, a temperaturas entre 200 °C y 300 °C, que depende de la dureza del terreno y de la forma de la boca; es tanto más baja cuando más duro es el terreno, y aumenta cuanto más se complica la forma de la boca.

Suelen emplearse en su construcción, materiales tales como, el tungsteno, impregnación de diamante para el corte de las brocas, y varillas de una aleación de aluminio con alta resistencia (Gusev,1973).

1.8. Algunas consideraciones sobre el diseño asistido

Según (Gil Espert, 1996), en su tesis doctoral expone: el concepto de diseño asistido se ha restringido a una mejora en las prestaciones gráficas y en la interacción entre el usuario y la máquina, de hecho, la asistencia se reduce al período de preproceso y postproceso gráfico del diseño estructural. Asimismo, la existencia de la optimización matemática mejora las posibilidades de obtener soluciones más satisfactorias en ciertos aspectos, pero con el inconveniente que puede empeorar otros.

Para empezar, la verdadera asistencia en el diseño, a nuestro entender, no debe estar limitada a las fases de pre y post proceso. Una asistencia auténtica debería iniciarse en el momento de la creación de soluciones alternativas posibles, debería continuar durante la fase de análisis y optimización, y debería finalizar después de que el ingeniero haya incrementado sus conocimientos con respecto al problema que se enfrenta. Por lo tanto, la verdadera asistencia tendría que movilizar conceptos del tipo: sugerir, diagnosticar y aprender. Efectivamente, debería sugerir un grupo de soluciones alternativas y proponer aspectos críticos del diseño a tener en cuenta durante la fase de análisis.

Asimismo el sistema asistente tendría que ser capaz de evaluar la bondad del diseño y dar criterios de solución a las posibles patologías estructurales que pudieran aparecer. Finalmente, debería poder transmitir sus mecanismos de razonamiento para que el ingeniero pudiera extraer lecciones de los problemas que resuelve.

En vista de todo ello, se debe exigir a la asistencia que incluya el razonamiento de conceptos de ingeniería y que no se limite a dar soporte en los aspectos rutinarios del uso del ordenador.

Algunas de esas características entran en la línea de la inteligencia artificial, por ejemplo el razonar evidencias, pero para realizar críticas sobre posibles patologías de futuro hace falta algo más, se necesita la capacidad de intuir el comportamiento de la estructura y evaluar dicha extrapolación de acuerdo con las

reglas de diseño prescritas. Por ello, aparece el cálculo de sensibilidad como un factor de soporte fundamental para extraer el máximo provecho de la asistencia.

A continuación se describen con más detalles las exigencias de asistencia en las distintas fases de creación del proyecto. Dichos requerimientos son también adecuados en los casos de reparación o rehabilitación de estructuras dañadas, en las cuales puede ser necesario modificar alguna parte de la estructura existente para mantenerla en funcionamiento.

1.8.1. Fase de diseño inicial

El sistema debe ser capaz de sugerir al ingeniero un conjunto de posibles soluciones del problema. Las soluciones contendrán una tipología, una parametrización, una definición de las variables de diseño, un conjunto de variables a las que hay que calcular su sensibilidad y una propuesta del análisis tipo. En definitiva, en esta primera fase, el sistema debería generar un conjunto de soluciones dimensionadas y plantear los análisis necesarios que se deben llevar a término. Dichas exigencias, conllevan tener una base de datos estructurada conforme a unos criterios preestablecidos, y un sistema experto capaz de buscar en esa base y proponer las alternativas de solución.

1.8.2. Fase de diseño

Durante la fase de análisis y posterior optimización, el sistema debe realizar los cálculos del conjunto de soluciones propuestas habiendo aceptado las modificaciones que el ingeniero diseñador haya decidido. Una vez optimizada la estructura, en función de las variables de diseño y de los objetivos, el sistema debería realizar un análisis de sensibilidad de las variables relacionadas con las patologías, bien porque en la estructura óptima se comportan peor, o bien porque la experiencia heurística señala que van a existir problemas. El análisis de sensibilidad se acompañará de una crítica sobre la solución óptima, dicho juicio se emitirá combinando el comportamiento de la estructura extrapolada, los criterios de las normativas o de las reglas heurísticas añadidas al sistema y los mecanismos de inferencia que permitirán establecer mecanismos de razonamiento. En conclusión, además de los algoritmos clásicos de optimización, será necesario un análisis de sensibilidad y un sistema experto que realice diagnósticos sobre la estructura

diseñada (Gil Espert, 1996).

1.8.3. Fase de postdiseño

Al final el ingeniero se habrá decidido por un diseño en particular, durante el camino habrá descartado opciones, o habrá descubierto futuros comportamientos anómalos debidos a variables defectuosas, o tal vez habrá tenido otro tipo de vivencias.

Pero lo verdaderamente cierto, es que durante el proceso de diseño el ingeniero habrá aumentado sus conocimientos a través de una experiencia real simulada, una experiencia heurística que es la de más difícil adquisición. Por lo tanto, el sistema le permitirá aumentar sus conocimientos y aprender al mismo tiempo que resuelve problemas. De hecho el propio sistema deberá deducir reglas a partir de la experiencia nueva y guardarlas en la base de datos junto aquellas otras anotaciones que el diseñador crea de interés para posibles proyectos futuros que puedan realizarse (Gil Espert, 1996).

1.9. Estado tensional y deformacional.

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

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

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

coincide con esta dirección.

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

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

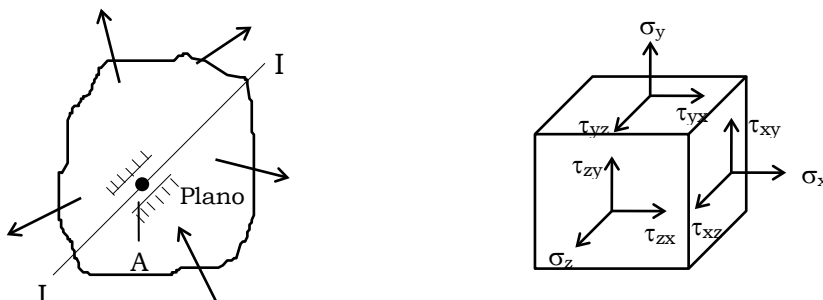


Figura 1.2. Esquema de tensiones en un plano y en un cuerpo.

1.9.1 Solicitaciones mecánicas

Torsión:

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

El estado tensional de la torsión es caracterizado por la presencia en la sección transversal de la barra, del momento torsional $M_z = M_{tor}$ como único esfuerzo interno; es decir, es el momento que actúa en el plano de la sección transversal de la barra (las demás componentes de las fuerzas interiores son nulas). Una barra está sometida a torsión, si en sus secciones transversales surgen momentos torsores, es decir, momentos que se encuentran en el plano de la sección. La barra que trabaja a torsión se llama árbol. Generalmente estos momentos torsores interiores son consecuencia de momentos exteriores que se transmiten al árbol en lugares donde se colocan poleas, ruedas dentadas, etc. (figura 1.3), (Caraballo 2006).

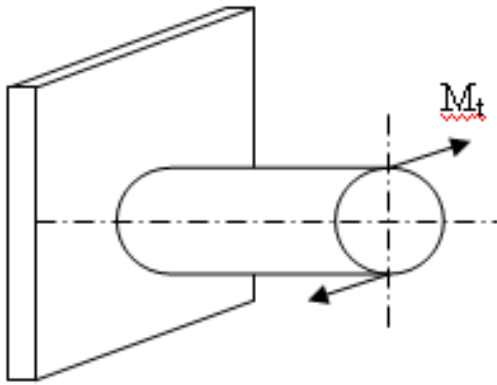


Figura 1.3. Esquema de cuerpo cilíndrico sometido a torsión.

Flexión:

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

Esta a su vez se clasifica en:

Flexión	}	plana	}	transversal
			}	pura
		oblicua		

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

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

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



1.10. Conclusiones parciales del capítulo 1

1. Durante la perforación no es necesario utilizar completamente la totalidad de las barrenas, pudiendo emplearse satisfactoriamente un sistema de varillas diseñadas para humanizar el trabajo puesto que las perforadoras Morooka no cuentan con un sistema que sea capaz de facilitar aún más las complejas maniobras.
2. El tren de perforación durante los trabajos está sometido a tensión, compresión y flexión, lo que requiere un estudio detallado de los parámetros de resistencia, para lograr disminuir el peso del varillaje de la perforación (ver anexo 5)..
3. Los trabajos de perforación deben realizarse de forma segura, ya que en ellos persisten riesgos claros para la ocurrencia de accidentes laborales; por lo que es imprescindible realizar intentos para su humanización. (anexo 12)

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Introducción

El método de comprobación de resistencia de la varilla empleada en la perforación a espiral es complejo, teniendo en cuenta la resistencia de las varillas que forman la misma y por lo que esta no se analizará como una sola pieza, por lo que en este capítulo se realizarán los cálculos referidos a la estabilidad y la resistencia mecánica, además se realizará el cálculo por el Método de Elementos Finitos (MEF) el cuál arrojará los resultados más exactos.

Objetivo del capítulo:

Establecer la metodología de cálculo más significativa de resistencia mecánica así como por el Método de Elementos Finitos.

2.2. Propiedades mecánicas del duraluminio

Los duraluminios presentan una elevada resistencia mecánica a temperatura ambiente, sin embargo, su resistencia a la corrosión, soldabilidad y aptitud para el anodizado son bajas. Se emplean en la industria aeronáutica y de automoción.

Tabla 2.1. Características físicas y mecánicas de la aleación A7075.

Características	Valor	Unidad
Punto de fusión.	503 – 540	°C
Peso específico.	8,75	kg/dm ³
Carga de rotura (en estado bonificado).	31-50	kg/mm ²
Carga de debilitación.	17- 44	kg/mm ²
Alargamiento de rotura.	8 - 37	%
Resiliencia.	8,8	kgm/cm ²
Dureza Brinell.	85-142	kg/mm ²

El duraluminio resulta idóneo principalmente para ser trabajado por deformación plástica, puesto que es dúctil y maleable. Además, puede ser trabajado con

máquinas herramientas y se presta con buena calidad a la hora de ser soldado. En las construcciones automovilísticas, se usa para piezas estampadas, como brazos, palancas y detalles formados por embutición.

Tabla 2.2 Dimensiones de la varilla de perforación.

Dimensiones	Valor (mm)
Diámetro exterior	64
Diámetro interior	42
Altura	1500
Diámetro de orificios de los pasadores	20
Diámetro de orificios de seguridad	25

Tabla 2.3 Parámetros de trabajo.

Parámetros	Símbolo	Valor	Unidad de medida
Potencia del Motor	N	71,2	kW.
Par del torque	M_t	11 515	N.m
Frecuencia de rotación	n	51	1/min

2.3. Cálculo de resistencia a la torsión de la barra de sección anular

La torsión se caracteriza geométricamente porque cualquier curva paralela al eje de la pieza deja de estar contenida en el plano formado inicialmente por las dos curvas. En lugar de eso una curva paralela al eje se retuerce alrededor de él (ver torsión geométrica).

El estudio general de la torsión es complicado, porque bajo ese tipo de sollicitación la sección transversal de una pieza en general se caracteriza por dos fenómenos:

1. Aparecen tensiones tangenciales paralelas a la sección transversal. Si estas se representan por un campo vectorial sus líneas de flujo circulan alrededor de la sección.

2. Cuando las tensiones anteriores no están distribuidas adecuadamente, cosa que sucede siempre a menos que la sección tenga simetría circular, aparecen alabeos seccionales que hacen que las secciones transversales deformadas no sean planas.

El alabeo de la sección complica el cálculo de tensiones y deformaciones, y hace que el momento torsor pueda descomponerse en una parte asociada a torsión alabeada, y otra parte asociada a la llamada torsión de Saint - Venant. En función de la forma de la sección y la forma del alabeo, pueden usarse diversas aproximaciones más simples que el caso general.

2.3.1. Comprobación de resistencia y rigidez

Condición de resistencia:

$$\tau_{MAX} = \frac{Mt}{\omega_p} \leq [\tau] \quad (2.1)$$

Donde:

$\tau_{Máx}$: Tensión tangencial máxima, [MPa]

Mt : Momento torsor

ω_p : Módulo de la sección a torsión, [mm³]

$[\tau]$: Tensión tangencial admisible, [MPa]

$$[\tau] = 0,6 \cdot [\sigma]_T \quad (2.2)$$

Donde:

$[\sigma]_T$: Tensión normal admisible a la tracción, [MPa]

Condición de rigidez:

$$\theta_{MAX} = \frac{Mt}{G I_p} \leq [\theta] \quad (2.3)$$

Donde:

$\theta_{MÁX}$: Ángulo de torsión unitario, [°/m]

G : Módulo de elasticidad de segundo orden, [MPa]

I_p : Momento de inercia de la sección, [mm⁴]

$[\theta]$: Ángulo de torsión unitario admisible, [°/m]

Cálculo de momentos

Para determinar el M_t conociendo la potencia (N) que se transmite y la velocidad angular del árbol (n) en rev/min:

$$M_t = 9550 \cdot 10^3 \frac{N(kW)}{n(1/\text{min})} \quad (2.4)$$

Donde:

M_t : Momento torsor, [(N.mm)]

N : Potencia, [kW]

n : Velocidad angular, [rev/min]

Momento de inercia de la sección

$$I_p = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32} \approx 0,1 D^4(1 - C^4) \quad (2.5)$$

Donde:

D : Diámetro exterior de la barra, [mm]

d : Diámetro interior de la barra, [mm]

c : relación entre los diámetros, [adimensional]

Módulo de la sección

$$\varpi_p \approx 0.2 D^3(1 - c^4) \quad (2.6)$$

$$c = \frac{d}{D} \quad (2.7)$$

2.4. Cálculo de la resistencia a la estabilidad por compresión

El pandeo o fenómeno de la pérdida de estabilidad se analizará en las columnas, y su objetivo es determinar la estabilidad y resistencia de la misma, a partir de las condiciones de frontera, en las que entran a desempeñar un papel importante las cargas actuantes del sistema como resultado directo del peso específico de las estructuras. Para definir las cargas actuantes se tuvieron en cuenta la relación

entre el coeficiente de reducción de la longitud del elemento y el radio de giro mínimo, para su determinación se seguirá la metodología propuesta por (Fernández-Levy, 1988). Se designa como λ , se denomina esbeltez de la columna y se determina:

$$\lambda = \frac{\gamma \cdot l}{i_{\min}} \quad (2.8)$$

Donde:

l : longitud; [m].

$i_{\min}$ - radio de giro mínimo de la sección, [mm].

$$i_{\min}^2 = \frac{I_{\min}}{A} \quad (2.9)$$

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

$$\lambda_{\lim} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_p}} \quad (2.10)$$

E : Módulo de elasticidad de primer orden; [MPa].

Si se conoce que:

$\lambda, \lambda_{\lim}$, son adimensionales. λ , depende de las características geométricas de la columna, mientras que $\lambda_{\lim}$, depende de las propiedades mecánicas del material de que está compuesto.

σ_p - tensión límite de proporcionalidad, [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 la carga crítica se considera peligrosa.

2.4.1. Cálculo de la carga crítica

La determinación 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 (Feodosiev, 1985).

$$P_{crit} = \frac{\pi^2 E \cdot I_{\min}}{(\gamma \cdot l)^2} \quad (2.11)$$

Dónde:

E- Módulo de elasticidad del material, [MPa].

$I_{\min}$ - Momento de inercia mínimo, [mm⁴].

l - Longitud de la barra, [mm].

A - Área de la sección transversal, [mm²].

γ - Coeficiente de reducción de la longitud, [adimensional].

$(\gamma \cdot l)$ - Longitud efectiva de la barra [mm].

2.4.2. Determinación de la tensión crítica

Para el cálculo de la tensión crítica es necesario tener en cuenta las características geométricas de la columna y las condiciones de carga a las que está sometida, dicho cálculo se realizará a través de la fórmula de Euler (Feodosiev, 1985):

$$\sigma_{crit} = \frac{P_{crit}}{A} = \frac{\pi^2 E \cdot i_{\min}^2}{(\gamma \cdot l)^2} \quad (2.12)$$

Con:

P_{crit} .- carga crítica en pandeo que se determina:

$$[P_{crit}] = \frac{P_{crit}}{n_e}; \text{ [N]}. \quad (2.13)$$

Donde:

$[P_{crit}]$.- carga admisible; [N].

n_e , es el coeficiente de seguridad por pandeo, el cuál es mayor que la unidad y con valores algo mayores que el factor de seguridad por resistencia. Los valores de n_e varían de acuerdo con el material del cual esté constituida la columna (Fernández-Levy, 1983). Para los aceros $n_e = (1,8 - 3)$.

2.4.3. Obtención de la condición de 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:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{P_{crit}}{n_e A} \leq [\sigma_e] \quad (2.14)$$

Done.

n_e : Coeficiente de seguridad por pandeo, [adimensional].

Para lo que:

$$[\sigma_e] = \varphi [\sigma_c] \quad (2.15)$$

Donde:

$[\sigma_c]$: Tensión admisible a la compresión, [MPa]

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 crítica

$$\varphi = \frac{\sigma_{crit} n}{\sigma_{lim} n_e} \quad (2.16)$$

$$\sigma_{lim} = \frac{P_{lim}}{A}; [N/mm^2]. \quad (2.17)$$

$\sigma_{lim} = \sigma_f$, para los materiales dúctiles

Condición de resistencia

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{P_{lim}}{nA} \leq [\sigma_c] \quad (2.18)$$

Donde:

P_{lim} : Carga límite, [mm²].

A - Área de la sección transversal, [mm²].

$$n = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \quad (2.19)$$

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

n_2 : es el coeficiente que tiene en cuenta la heterogeneidad del material.

n_3 : es el 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)

$n_2= 0,82$ para la relación $\frac{\sigma_{fl}}{\sigma_r}$

$n_3=1,3$ (considerando un grado medio de responsabilidad del material)

$\sigma_{m\acute{a}x}$: Tensión normal máxima, [MPa]

$[\sigma_e]$: Tensión normal admisible a la estabilidad, [MPa]

$[\sigma_c]$: Tensión admisible a la compresión, [MPa]

σ_{lim} : Tensión límite, [MPa]

P_{lim} : Carga límite, [MPa]

σ_{fl} . Tensión límite de fluencia; [MPa]

σ_r , Tensión límite de rotura; [MPa]

2.5. Cálculo de masa

$$m = v \cdot \rho \quad (2.20)$$

Donde:

m : masa de la varilla, [kg]

ρ : Densidad de la aleación de aluminio 7075- T6/51; [2800 kg/m³].

V : Volumen total, [m³].

$$v = \pi \cdot h(R^2 - r^2) \quad (2.21)$$

Donde:

h : altura de la varilla, [mm].

R : radio exterior, [mm].

r : radio interior, [mm].

$r = 0,021$ m

2.5.1. Masa de los orificios de los pasadores

$$m_1 = v_1 \cdot \rho \quad (2.22)$$

Donde:

m_1 : masa del orificio de seguridad, [kg].

V_1 : Volumen del orificio de seguridad, [m³].

$$v_1 = \pi \cdot h_1 R_1^2 \quad (2.23)$$

Donde:

h_1 : altura del orificio de seguridad, [mm].

R_1 : radio exterior, [mm].

2.6. Simulación por el Método de Elementos Finitos de la varilla

El cálculo se realiza empleando el Método de los Elementos Finitos (MEF) con ayuda del paquete de software COSMOS DISAING STAR.

Los cálculos se realizan para la condición del máximo de carga, considerando el par máximo producido por la máquina: 11 115 Nm. Se tuvo en cuenta que los esfuerzos transmitidos por la varilla ocurren con velocidades de rotación relativamente pequeñas (51 1/min).

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

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

punto la discretización utilizada en el modelo representa adecuadamente el modelo de la estructura.

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

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

2.6.1. Algoritmo para la simulación (COSMOS DISAING STAR)

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

Primera etapa: Modelado de la varilla a escala real.

Segunda etapa: Definición de las propiedades del material y los tipos de elementos a emplear.

Tercera etapa: Generación del mallado y establecimiento de las condiciones de fronteras.

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

2.7. Conclusiones Parciales del capítulo 2

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

CAPITULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1- Introducción

Actualmente las investigaciones que se realizan en Cuba deben tener en cuenta tres variables primordiales o básicas, o sea dichas investigaciones deben ser técnicamente racionales, económicamente factibles y ambientalmente viables, es por ello que todos los trabajos investigativos confeccionados deben considerar el estudio de los resultados fundamentales cimentados en estos criterios, por lo que en este capítulo se darán algunas aclaraciones para mejor comprensión y análisis de los resultados obtenidos, a partir de la metodología de cálculo empleada.

En tal sentido, el **objetivo** del presente capítulo es: valorar los resultados obtenidos en la investigación, sí consideramos los criterios técnicos, económicos y ambientales más importantes relacionados con el trabajo realizado.

3.2- Resultados del cálculo de torsión

Los cálculos se realizaron por el método expuesto por Craig, (2002) como se muestra en la tabla 3.1, los valores de esfuerzos de cortante no se acercan en un 5 % a los de esfuerzos de cortante admisible, por lo que la nueva propuesta de la varilla de perforación soporta los esfuerzos generados por la máquina de perforación, como se observa en la tabla 3.1 el esfuerzo tangencial (269,6) es menor que el esfuerzo tangencial admisible (307,1 MPa), además la varilla presenta una excelente capacidad de absorción de cargas dinámicas sin deformarse por encima de lo admisible. Por consiguiente la aleación de aluminio A 7075 garantiza la resistencia mecánica requerida para la perforación espiral en la toma de muestras en las minas de la empresa Comandante Pedro Sotto Alba.

Tabla 3.1. Resultados de cálculo de torsión.

Variables	Símbolos	Valor	Unidad	Ecuación
Esfuerzo tangencial máximo	$\tau_{m\acute{a}x}$	269,6	MPa	$\tau_{MAX} = \frac{Mt}{\varpi_p} \leq [\tau]$
Esfuerzo tangencial admisible	$[\tau]$	307,1	MPa	$[\tau] = (0,6) \cdot [\sigma]_r$
Ángulo unitario de torsión	$\theta_{m\acute{a}x}$	1.169×10^{14}	°/m	$\theta_{MAX} = \frac{Mt}{G I_p} \leq [\theta]$
Momento torsor máximo	Mt	115 15	N.m	$Mt = 9550 \cdot 10^3 \frac{N(kW)}{n(1/min)}$
Módulo de la sección a torsión	ϖ_p	$3,283 \times 10^{-5}$	m^3	$\varpi_p \approx 0.2 D^3 (1 - C^4)$
Momento de Inercia	I_p	$9,848 \times 10^8$	m^4	$I_p = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32} \approx 0.1 D^4 (1 - C^4)$

3.3. Cálculo de pandeo de la varilla

El pandeo, es un fenómeno que se verifica en el sentido de la menor inercia de la sección transversal en estructuras afectadas por la corrosión o sea en el caso de la barra comprimida.

Como se observa en la tabla 3.2 la carga crítica es la que origina en la barra un estado de equilibrio indiferente, para su cálculo se empleó el método de Euler, la misma alcanza un valor de $4,298 \times 10^5$ N, por consiguiente es recomendable que durante la perforación la máquina no sobrepase este valor de carga, porque se generaría inestabilidad en la varilla, y se pueden generar deformaciones irreversibles o la rotura de la misma.

Para el análisis de la condición de estabilidad, el coeficiente de reducción para las tensiones admisibles fue escogido de acuerdo a la esbeltez y el material de la varilla.

Como se observa en la tabla 3.2, el valor del esfuerzo normal crítico (234,7 MPa) no supera el valor de esfuerzo normal admisible a compresión (383,9 MPa) del A7075, con un coeficiente de seguridad a estabilidad $n_e=1,28$, por consiguiente se puede afirmar que durante el proceso de perforación, no aparecerán pandeos locales, ni globales. El esfuerzo normal máximo (156,442 MPa), menor en 5 % que el esfuerzo normal admisible a estabilidad (178,79 MPa), por consiguiente podemos afirmar que no se producirá rotura por la acción de cargas estáticas durante el proceso de perforación en espiral, con el empleo de varillas de perforación de A7075.

Tabla 3.1. Resultados de cálculo de estabilidad.

Variables	Símbolos	Valor	Unidad	Ecuación
Esbeltez	λ	54,915	MPa	$\lambda = \frac{\gamma \cdot l}{i_{\min}}$
Radio de giro mínimo	$i_{\min}$	27,315	mm	$i_{\min}^2 = \frac{I_{\min}}{A}$;
Esbeltez mínima	$\lambda_{\min}$	47,026		$\lambda_{\lim} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_p}}$
Carga crítica	$P_{\text{crít}}$	4,298x10 ⁵	N	$P_{\text{crít}} = \frac{\pi^2 E \cdot I_{\min}}{(\gamma \cdot l)^2}$
Esfuerzo crítico	$\sigma_{\text{crít}}$	234,7	MPa	$\sigma_{\text{crít}} = \frac{P_{\text{crít}}}{A} = \frac{\pi^2 E \cdot i_{\min}^2}{(\gamma \cdot l)^2}$
Carga crítica admisible	$[P_{\text{crít}}]$	2,065x10 ⁵	N	$[P_{\text{crít}}] = \frac{P_{\text{crít}}}{n_e}$
Esfuerzo normal máximo	$\sigma_{\text{máx}}$	156,442	MPa	$\sigma_{\text{máx}} = \frac{P_{\lim}}{nA} \leq [\sigma_c]$
Esfuerzo normal admisible a estabilidad	$[\sigma_e]$	178,79	MPa	$[\sigma_e] = \phi[\sigma_c]$
Coeficiente de seguridad	n	1,28	-	$n=n_1 \cdot n_2 \cdot n_3$
Esfuerzo normal admisible a compresión	$[\sigma_c]$	383,9	MPa	$[\sigma_c] = \frac{[\sigma_e]}{\phi}$

3.4. Resultados de la simulación

Como se muestra en la figura 3.1 se construyó un modelo geométrico a escala real de la varilla de perforación, (anexo 1 y 2). Se empleó una malla triangular de tamaño 3 y se cargó según el estado real de carga.



Figura 3.1. Modelo geométrico mallado.

Como se aprecia en la figura 3.2, dados los valores de carga y las propiedades del material, el factor de servicio mínimo es de 1,4, por consiguiente se puede afirmar que el nuevo diseño de la varilla de perforación puede trabajar sin riesgo de ocurrencia de rotura.

Cilindro barrenag-barrena :: Design Check Criterion :: Max: von Mises Stress
Factor of safety distribution: Min FOS = 1.4 Deformation Scale: 1 : 0



Figura 3.2 Factor de servicio.

En la figura 3.3 se muestran los resultados del cálculo de desplazamiento, los valores máximos estarán en el extremo inferior y sólo alcanzarán los 0,68 mm.

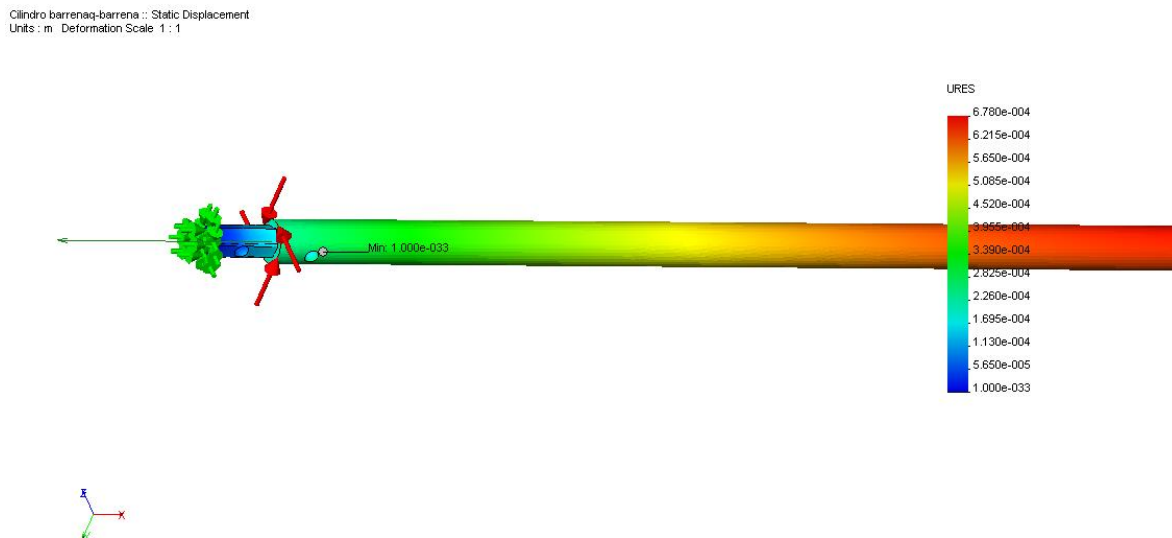


Figura 3.3. Desplazamientos.

En la figura 3.4 se muestran los resultados del cálculo de tensiones de Von Mises, los valores máximos se encuentran en la parte hexagonal de la varilla, en los orificios de acople estos valores pueden alcanzar los 437 MPa , si tenemos en cuenta que la tensión de rotura de la aleación propuesta es de 470 MPa , podemos afirmar que producto a las cargas actuantes no se produce la rotura en la nueva varilla para la perforación a espiral.

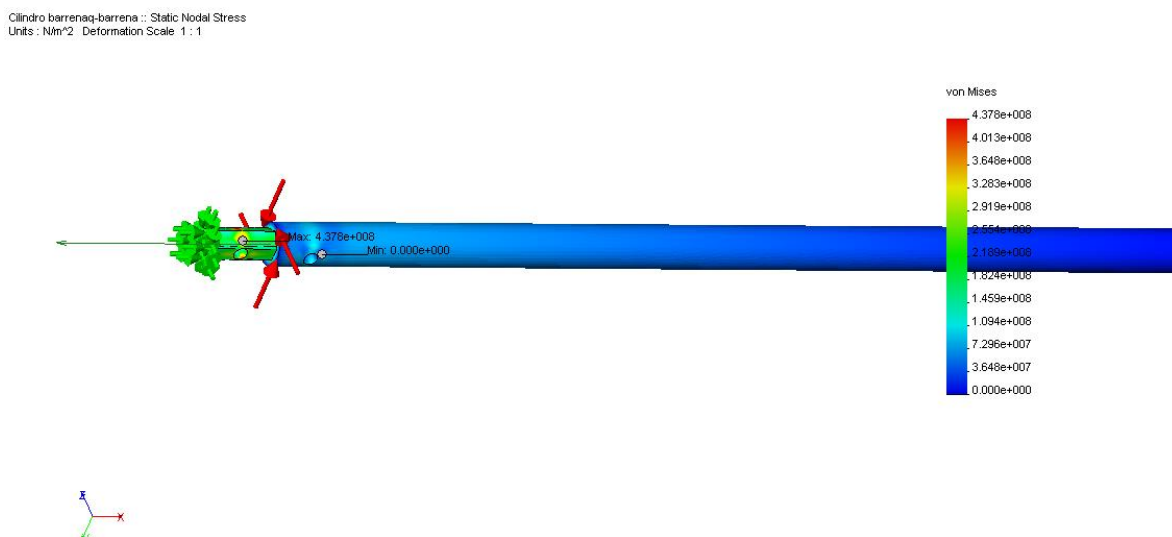


Figura 3.4. Tensiones de Von Mises.

A través de la expresión 2.20 se determinó la masa del nuevo diseño de la varilla la cual es de 7,62 kg.

3.5. Valoración económica

Resulta de vital importancia tener presente a la hora de la fabricación de una pieza la parte económica, puesto que sería en ocasiones dificultoso escoger entre su recuperación o construcción, tal es el caso del presente trabajo, el cual se encamina hacia el diseño de la varilla de perforación empleada en las perforaciones a espiral de la empresa Comandante Pedro Soto Alba, (anexo 1 y 2), a partir de la utilización del duraluminio siendo un material más ligero, por tal motivo exponemos algunas consideraciones matemáticas al respecto:

Datos para las varillas de acero:

Precio actual de la barrena espiral: 250,00 USD

Cm: Costo actual del metro de perforación: 42,50 USD

Pd: Promedio de metros perforados por día laborables: 50 m × 3 perforadoras
=150 m

Pm: Promedio de metros perforados en un mes: 3000 (teniendo en cuenta 20 días laborados)

Pa: Metros perforados en un año: 20 000 m

Datos para las varillas de aluminio:

Cm: Costo actual del metro de perforación: 42,50 Dólares

pd: -Promedio de metros perforados por día laborales: 70 m × 3 perforadoras
=210 m

pm: Promedio de metros perforados en un mes: 4420 (teniendo en cuenta 20 días laborados)

PA: Metros que pueden perforarse en un año: 28 000 m

Por tanto con barrenas de acero:

$$IA = Pa \cdot Cm \quad (3.1)$$



Donde:

IA: Ingreso con barrenas espirales de acero.

Por tanto:

$$20000m \cdot 42,5USD = 850000USD$$

Para el caso de las varillas de aluminio:

$$IB = PA \cdot Cm \quad (3.2)$$

Donde:

IB: Ingreso de dinero con varillas de aluminio.

Por tanto:

$$28000m \cdot 42,5USD = 1190000USD$$

$$G = IB - IA \quad (3.3)$$

Donde:

G: ganancia

$$1190000USD - 850000USD = 340000USD$$

Como se puede apreciar existe un ahorro considerable de 340 000 USD el cual es representativo para en un año comprar y fabricar varias varillas de duraluminio 7075.

Es importante tener en cuenta que no en todos los meses suelen producirse el 100 % de los metros ya sea por motivos tales como las inclemencias del tiempo, la ruptura de equipos u otros.

Teniendo en cuenta las características físicas del material empleado para el diseño es claro que el peso es inferior, el cual es de (7,62 kg), lo cual disminuye considerablemente el existente (33 kg). Aquí es de gran importancia recordar lo abordado en las conclusiones del capítulo uno, donde se aclara que el trabajo que se realiza en este tipo de perforaciones es 50 % manual, lo que al disponer de un varillaje menos pesado favorece en gran medida el aumento de la producción

diaria, y a su vez, la disminución de los costos de producción y riesgos de accidentes laborales.

El costo de una tonelada de tubos de una aleación de aluminio ASTM A – 7075-T6/51, según Shanghai Yinggui Metal Product Co, Ltd, es de 5 000 USD, por consiguiente, el costo de una varilla de perforación es de 96 dólares, si se tiene en cuenta el 20 % de gastos de fabricación.

3.6. Impacto ambiental

La fábrica productora de sulfuros de Ni + Co, Comandante Pedro Sotto Alba tiene dentro de sus primicias la protección y cuidado del Medio Ambiente; el mismo es de carácter vital para la vida del hombre, no obstante, todavía queda mucho por hacer en cuanto a estas cuestiones, tomando como acciones medidas que contrarresten el daño causado a nuestro entorno.

Muchas son las labores que se realizan para tales causas, destacando como aspecto esencial el trabajo que realiza la empresa de Rehabilitación Minera en las áreas afectadas por la minería en nuestro municipio mediante la reforestación de los suelos afectados o erosionados por el proceso, sin embargo, en el área de minería se requiere de mucho sentido de pertenencia a la hora de las labores, puesto que de no ser de esta manera los daños serían casi irreversibles.

Precisamente el área de trabajo en cuestión es puntera en la realización de los trabajos de minería, puesto que ellos marcan el punto de partida a la hora de la exploración, identificación, y del reconocimiento de las áreas a explotar, lo que unido a esto se llevan a cabo una serie de labores que en cierta medida provocan daños considerables al medio.

Destacando la importancia en la toma de medidas de la cual se requiere para la producción del producto con las mínimas afectaciones al entorno, siempre existe en esta área ocurrencias de daños, destacando en el inicio los trabajos de topografía los cuales se realizan con el objetivo del marcaje de puntos para el desarrollo de redes topográficas, estos trabajos tienen su incidencia de manera muy significativa, puesto que se realizan en zonas boscosas muchas veces vírgenes, teniendo como base la apertura de trochas en línea recta utilizando

machetes, las mismas se realizan con un ancho de no más de 1 m sin la utilización de equipos, con el objetivo de minimizar los daños.

Una vez realizado el marcaje de los puntos topográficos, se procede a la realización de plataformas para la posterior perforación destacándose la ocurrencia de afectaciones de carácter muy significativas para el entorno mediante la utilización de buldózer, dando como resultado el derribo de árboles y plantas endémicas de la zona pertenecientes al Parque Nacional Alejandro de Humboldt encontrándose en ocasiones algunas especies de animales dañadas accidentalmente.

Resulta de vital importancia tener presente en este aspecto la medida tomada para minimizar los daños causados por los buldózer tales como no ampliar más de 4,0 m el ancho de caminos y plataformas utilizando además tubos y alcantarillas en los pasos de ríos o arroyos, y manteniendo estrictamente la perforación de pozos distanciados de los mismos.

Durante la perforación debemos destacar otros daños que suelen ser considerables, tal es el caso de algunos derrames de combustibles o lubricantes que suelen suceder durante las averías de los equipos mineros, así como la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera de los mismos, y el daño causado a las aguas subterráneas por la perforación del suelo.

Una vez realizados los trabajos de exploración e identificación del yacimiento y dando paso a la explotación del área como tal, los daños suelen multiplicarse; entrando en acción otros equipos que en su mayoría transforman la zona dejando áreas totalmente desoladas de plantas, animales y tierra fértil. Es aquí precisamente donde comienzan los trabajos de reforestación realizados por la empresa de Rehabilitación Minera.

Con la utilización de esta propuesta, se estará dando una solución parcial a los problemas sociales de los operadores de la máquina de perforación a espiral de la empresa Comandante Pedro Sotto Alba, ya que al disminuir el peso de las varillas se minimizan las afectaciones lumbares y del sistema óseo muscular, además se



evitan los accidentes provocados por el resbalamiento durante la toma de muestra en las minas de la entidad antes mencionada.

3.7. Conclusiones parciales del capítulo 3

1. Económicamente la nueva propuesta supera la anterior, puesto que genera un ingreso considerable al año, y se logra de esta forma disminución de los costos de producción mediante la rebaja del peso del varillaje.
2. La nueva propuesta genera una solución parcial a los problemas de los operarios, ya que al lograr humanizar las labores, se obtienen altos rendimientos de producción, traducido en buena calidad del trabajo que se realiza, mayor agilidad, y evitando los riesgos de accidentes de trabajo por resbalamiento.

CONCLUSIONES GENERALES

1. Se estableció el nuevo diseño de la varilla de perforación a espiral de la empresa Comandante. “Pedro Soto Alba”, a partir de la utilización de la aleación de aluminio 7075; logrando disminuir considerablemente el peso de la misma y garantizando la resistencia mecánica requerida.
2. Se estableció la metodología de cálculo para la fabricación de la varilla de perforación, donde se demostró que los valores de esfuerzos de cortante se no se acercan en un 5% a los de esfuerzo de cortante admisible, además la aleación 7075 resultó ser idónea puesto que su carga de rotura es 470 N/mm^2 , su Límite elástico 400 N/mm^2 , su alargamiento es de 5,65 %, con una dureza Brinell de 165 HB, ofreciendo una excelente capacidad de absorción de cargas dinámicas sin deformarse por encima de lo admisible.
3. La valoración económica evidenció una ganancia de 340 000 USD, la misma es favorable para comprar o fabricar varias varillas en corto plazo de tiempo, además, el peso de la barrena disminuye en un 60 % lo que favorece a la humanización del trabajo.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a los operadores no sobrepasar los límites establecidos de trabajo para este tipo de perforación, puesto que se pueden superar los parámetros admisibles y con ello la ruptura de la varilla.
2. No es recomendable utilizar las varillas de A 7075 para perforar otros tipos de suelos que no sean arcillosos, puesto que puede traer consigo averías o ruptura de la varilla.
3. Es necesario continuar trabajando en el diseño, puesto que se requiere de pescadores especiales para este tipo de varillas, para en caso de averías recuperarlas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1].Almaguer, J. Estudio de los métodos convencionales de perforación, de exploración y valoración del sistema P.T II. ISMMM, 1980.
- [2].ASTM 604 – 83 – 1996.
- [3].Betancourt. Los inicios de la ingeniería moderna en Europa. Ministerio de Obras Públicas. Transportes y Medio Ambiente. 1ra Edición. Madrid 1996.
- [4].Brunet, P. “Diseño gráfico y modelado geométrico”, pp. 55-66.
- [5].Caraballo, M. Temas De Estudio De Resistencia De Materiales, guía de estudio, Moa 2006.
- [6].Collazo, N. M. Manual del sistema internacional de unidades. La Habana: Editorial pueblo y educación 1991.
- [7].Craig, J. Mecánica de Materiales. Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de Utah. Ed. Prentice Hall. C-267-480137 Segunda Edición, 2002.
- [8].Fritzsche, C.H.: Tratado de Laboreo de Minas, Tomo primero, Editorial Labor S.A. Barcelona – Madrid, 1985.
- [9].Gil Espert, Ll: Análisis de sensibilidad con comportamiento no lineal del material y su aplicación en el diseño de estructuras, Tesis Doctoral, Barcelona, 1996.
- [10]. González García, A.:Tecnología de la perforación para minerales sólidos, Tomo II,Ediciones EMPES, La Habana 1987.
- [11]. Gusev, V.:Manual Técnico de Perforación, Instituto cubano del libro, La Habana , 1973.
- [12]. Harmon, P. y King, D. Sistemas expertos. Aplicaciones de la inteligencia artificial en la actividad empresarial. Ediciones Díaz de Santos. 1985.
- [13]. Hernández Romero, G.: Proceso Industrial Metalúrgico del Níquel, Editorial de Libros para la Educación, La Habana, 1981.
- [14]. kraus, R.S.: Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo.

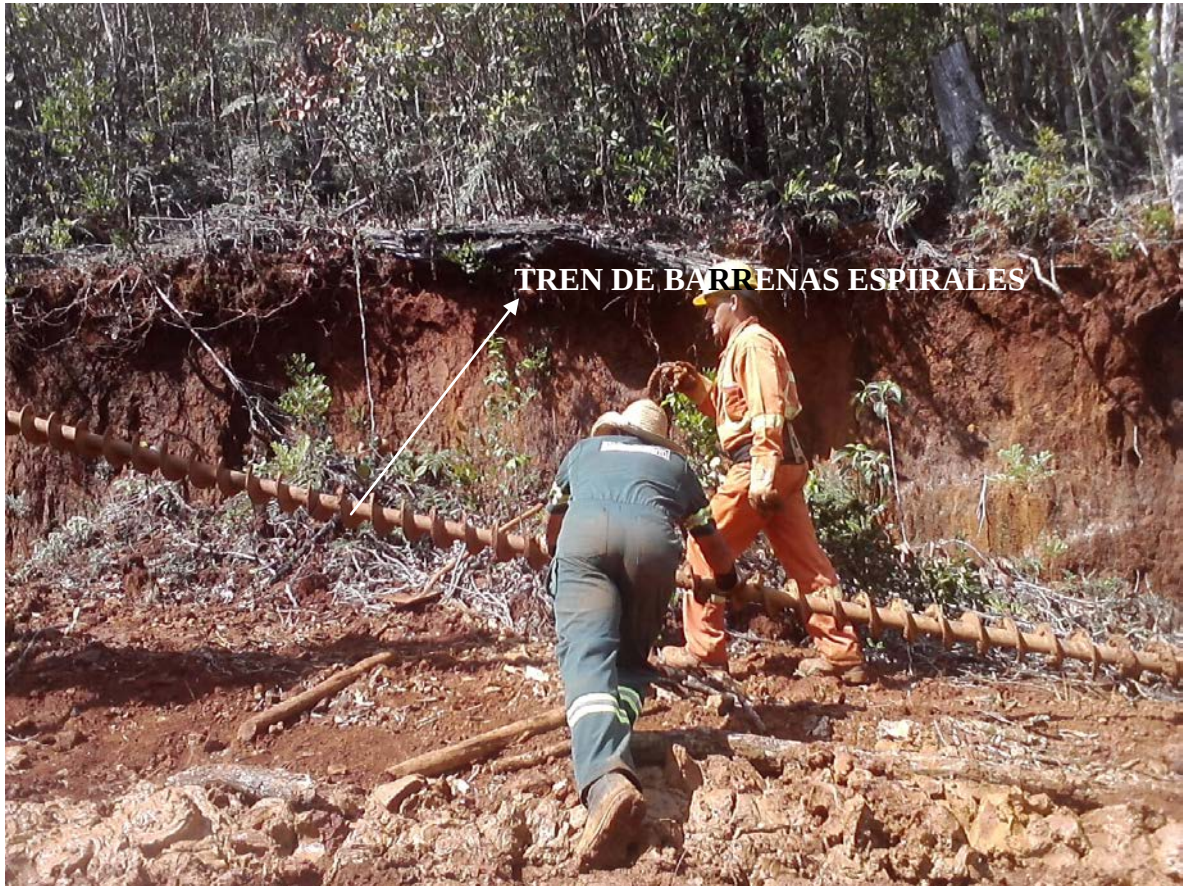
- [15]. Llorens, J.: El Terreno y el Estudio Geotécnico – CSCAE/ ETS AB/ UPC-2007.
- [16]. Manual de operaciones de la planta, MINBÁS, Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba” Moa Nickel S.A., 20
- [17]. Muelas Rodríguez, A.: Manual de Mecánica de Suelos y Cimentaciones.
- [18]. Navarrina, F. “Una metodología general para optimización estructural en diseño asistido por ordenador”. Tesis doctoral. Escola Tècnica Superior d’Enginyers de Camins, Canals i Ports. Barcelona, 1987.
- [19]. Oñate, E. Cálculo de estructuras por el Método de los Elementos Finitos. CIMNE Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) Barcelona, 1992.
- [20]. Pero-Sanz, J. A.: Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Madrid: DOSSAT 2000, 1996.
- [21]. Stiopin P.A; Resistencia de materiales, Editorial MIR, Moscú, 1979.
- [22]. Vladimírovich, O. Búsqueda, Exploración y Evaluación Geólogo - Económica de yacimientos minerales sólidos. Primera parte. Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de la Habana, 1986.
- [23]. Young, G.: Elementos de Minería, Editorial Gustavo Gili, SA, Barcelona, 1961. 2. Paúl, R.: Máquinas Perforadoras, Editorial Oriente, Santiago de Cuba, 1980.

Otros sitios:

«<http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Duraluminio&oldid=66186914>»

ANEXOS

Anexo 3



Anexo4



ANEXO 5



ANEXO 6



ANEXO 7



ANEXO 8



ANEXO 9



ANEXO 10

Nota: los relojes de presión indican en su accionar la dureza del terreno.



ANEXO11



ANEXO 12



Nota: Esta barrena de acero fue despojada de sus espiras con el objetivo de minimizar un tanto el peso del varillaje así como la difícil maniobra de la perforación.