

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PERFILADOR DE NUCLEÓS BASADO EN  
LA APROXIMACIÓN GRADUAL DE LA MUESTRA A LA HERRAMIENTA DE  
CORTE

HERNÁN DARÍO GALEANO CASTRO  
JESÚS ALFONSO ORDOÑEZ RINCÓN

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA  
2017

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PERFILADOR DE NUCLEÓS BASADO EN  
LA APROXIMACIÓN GRADUAL DE LA MUESTRA A LA HERRAMIENTA DE  
CORTE

HERNÁN DARÍO GALEANO CASTRO  
JESÚS ALFONSO ORDOÑEZ RINCÓN

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de  
Ingeniero Mecánico.

Director:  
PEDRO JOSE DIAZ GUERRERO  
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA  
2017

## DEDICATÓRIA

A mis padres **CLAUDIO GALEANO** y **MARIA BERNARDA CASTRO**, por su apoyo incondicional todos estos años, por los sacrificios que han hecho, y sus valiosos consejos recibidos, ya que sin ellos no sería la persona que soy hoy en día.

A mi hermana Ángela Liliana, por todas sus frases y mensajes de apoyo, por estar pendiente en los momentos más duros de la carrera.

A Ximena.... porque siempre me escuchaste, porque a pesar de la distancia me ayudaste a tu manera, por ser sincera y honesta, por enseñarme que la vida es cuestión de actitud.

A mis amigos ALFONSO ORDOÑEZ, WEYMAR VARGAS, EDWIN RUSSI, FERNANDO GONZALEZ, HECTOR SILVA, LILIANA PEDRAZA y todas las personas que de alguna u otra manera me enseñaron que vivir la realidad puede ser más satisfactorio que soñar despierto, por hacer de este proyecto una realidad.

A Alejandra. Por ser fuente de inspiración y confianza, por no dejar que me rindiera.

**Hernán Darío Galeano Castro**

## DEDICATORIA

*A Dios por brindarme salud, bienestar y paciencia durante este largo camino.*

*A mis padres JESÚS ORDOÑEZ y ELDA RINCÓN por su apoyo incondicional en todo momento, la confianza, el cariño y dedicación que siempre recibí.*

*A mi hermana Marian Ordoñez por su constante aprecio y cariño que siempre me brindo.*

*A mi abuelita Eduviges Vargas quien ha estado conmigo siempre y a quien debo mucho de lo que soy, por sus consejos y por tenerme siempre presente en sus oraciones y buenos deseos.*

*A mi tío José Ángel Rincón y toda la familia Rincón Navas, por su apoyo desde la distancia.*

*A la doctora Floralba Estupiñan por su amistad durante tanto tiempo con mi madre y por brindar su apoyo para hacer posible este logro.*

*A todos mis familiares que de alguna u otra forma estuvieron allí para desearme este gran triunfo.*

*A Xiomara Andrea Cordero por permitirme formar parte de su grupo de trabajo por tanto tiempo y ser parte importante en el logro de este objetivo.*

*A todos los amigos de la universidad por los grandes momentos compartidos y que tuve el honor de conocer, en especial a Hernán Galeano, Sergio Toloza, Liliana Pedraza, Denisse Vanessa, Héctor Silva, Jeanpierre Bernal, Andrés Torres y Cristian Ulloa.*

*Y a mis amigos de siempre Yordano, John y Fabián por estar siempre ahí y por tantos años de amistad.*

**Jesús Alfonso Ordoñez Rincón**

## **AGRADECIMIENTOS**

*Expresamos los más sinceros agradecimientos al profesor e ingeniero Pedro José Díaz Guerrero director del proyecto por su respaldo, asesoría y colaboración durante el desarrollo del trabajo de grado, igualmente a la empresa F.A.G. electromecánica e instrumentación por la oportunidad brindada.*

*A todos los docentes, personal administrativo y técnico de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander por la paciencia y las enseñanzas durante todos estos años.*

**Hernán Darío Galeano Castro**  
**Jesús Alfonso Ordoñez Rincón**

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	17
1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....	19
2. JUSTIFICACIÓN PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA .....	20
3. OBJETIVOS.....	21
3.1. OBJETIVO GENERAL .....	21
3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	21
4. MARCO DE REFERENCIA DE LA EMPRESA.....	22
4.1. DATOS DE LA EMPRESA.....	22
4.2. ANTECEDENTES .....	22
4.2.1. Localización. ....	23
4.2.2. Misión.....	24
4.2.3. Visión .....	25
4.3. PROCESO INICIAL EN LA PREPARACIÓN DEL NÚCLEO .....	25
5. PROCESO DE DISEÑO CONCEPTUAL .....	28
5.1. REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE .....	28
5.2. PARAMETROS DE DISEÑO PARA SELECCIÓN DE ALTERNATIVA.....	30
5.3 MATRIZ DE CALIDAD .....	31
5.4. ALTERNATIVA SELECCIONADA .....	32
5.4.1. Perfilador de núcleos .....	33
6. MODULOS DE INTERES Y PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA .....	36
6.1. MODULO ESTRUCTURAL.....	37
6.1.1. Fijación de la muestra.....	37
6.1.2. Aproximación de la muestra al disco de corte.....	38
6.1.3. Proceso de corte.....	39
6.1.4. Protocolo de pruebas para validar la calidad del corte .....	40
6.2. MODULO ELECTRICO Y DE CONTROL .....	42

6.3. MODULO DE REFRIGERACION .....	43
7. DISEÑO Y SELECCIÓN DE LA HERRAMIENTA DE CORTE .....	45
7.1. SELECCIÓN DEL DISCO DE CORTE.....	46
7.2. DISEÑO DEL DISCO DE CORTE.....	47
7.2.1. Selección del material para el disco de corte.....	48
7.2.2 Grano para disco de corte.....	49
7.2.3. Modelo para análisis del disco abrasivo de corte.....	51
7.2.4. Simulación del disco de corte .....	59
7.2.5. Análisis del estudio .....	65
8. DISEÑO DE LA PRENSA DE AJUSTE Y CARRO DE DESPLAZAMIENTO .....	66
8.1. TORNILLO DE DESPLAZAMIENTO.....	67
8.1.1. Análisis de fuerzas verticales.....	67
8.1.2. Análisis de fuerzas horizontales.....	68
8.1.3. Geometría del tornillo.....	70
8.1.4. Prueba del factor de seguridad.....	72
8.1.5. Condición de esbeltez mecánica .....	76
8.2. TORNILLO DE AJUSTE .....	77
9. DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN .....	83
9.1. SELECCIÓN DE LA TUBERIA .....	83
9.2. SELECCIÓN DE LA BOMBA .....	85
9.3 DISEÑO DEL TANQUE .....	87
9. DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES .....	90
10. ADQUISICIONES .....	92
10.1. PLAN DE ADQUISICIONES Y FABRICACIÓN .....	92
10.2. PLAN DE GESTIÓN DE LAS ADQUISICIONES .....	94
11. CONSTRUCCION.....	96
11.1 MANUFACTURA DEL BASTIDOR .....	96
11.2. MANUFACTURA DE LAS PRENSAS.....	101
11.3. MANUFACTURA BASE DEL MOTOR.....	104
12. INSTALACIÓN Y PRUEBA DE SUBSISTEMAS.....	105

12.1. INSTALACIÓN DE SISTEMA DE AJUSTE Y DESPLAZAMIENTO .....	105
12.2. INSTALACIÓN DE SISTEMA ELÉCTRICO .....	107
12.3. INSTALACIÓN DE SISTEMA DE REFRIGERACION .....	108
12.4. PRUEBA DE SUBSISTEMAS .....	109
12.4.1. Prueba de sujeción y avance .....	109
12.4.2. Prueba del motor .....	109
12.4.3. Iluminación de cabina .....	109
12.4.4. Prueba de sistemas de seguridad.....	110
12.4.5. Prueba de fugas.....	110
13. PRESUPUESTO .....	112
14. CONCLUSIONES .....	113
BIBLIOGRAFIA.....	115
ANEXOS .....	117

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Logo de la empresa .....	22
Figura 2. Ubicación F.A.G.....	23
Figura 3. Zona de interés (F.A.G.) .....	24
Figura 4. Muestras físicas de las formaciones y extracción de núcleos.....	25
Figura 5. Recepción y preparación de muestras físicas y extracción de núcleos en el laboratorio. ....	27
Figura 6. Perfiladora de núcleos con transmisión de potencia directa .....	34
Figura 7. Bastidor del equipo. ....	37
Figura 8. Prensa de ajuste y carro de desplazamiento .....	38
Figura 9. Aproximación de la muestra .....	39
Figura 10. Contacto entre la muestra y el disco de corte .....	40
Figura 11. Componentes eléctricos y electrónicos.....	42
Figura 12. Boquilla de suministro de fluido refrigerante .....	43
Figura 13. Bomba centrífuga para recirculación del fluido refrigerante .....	43
Figura 14. Tanque de sedimentación.....	44
Figura 15. Catalogo en línea del fabricante y selección del disco de corte.....	46
Figura 16. Condiciones de corte, forma longitudinal y transversal.....	52
Figura 17. Vista superior y lateral del proceso de corte .....	52
Figura 18. Diagrama de fuerzas del proceso de corte de una partícula abrasiva ..	57
Figura 19. Relación de Energía unitaria VS Rata de remoción de material .....	57
Figura 20. Factor de seguridad VS Fuerza de corte .....	58
Figura 21. Carro de desplazamiento, prensa de ajuste y núcleo .....	66
Figura 22. Fuerzas verticales para efectos de calculo .....	68
Figura 23. Fuerzas horizontales para efectos de calculo .....	68
Figura 24. Rosca ACME para tornillo de potencia .....	71
Figura 25. Análisis de fuerzas en el punto de contacto tornillo - tuerca .....	73
Figura 26. Curva característica del sistema $h_{ft}=4,207*Q^2$ .....	85

Figura 27. Curvas características de la gama COMFORT .....	86
Figura 28. Curva de la bomba.....	87
Figura 29. Esquema para dimensionamiento de tanque.....	88
Figura 30. Estructura base del equipo .....	90
Figura 31. Dimensionamiento parte superior de la bancada.....	90
Figura 32. Vista frontal del bastidor .....	91
Figura 33. Parte de plano entregado al taller (Vista superior y lateral del bastidor) .....	96
Figura 34. Parte de plano entregado al taller (Vista frontal del bastidor) .....	97
Figura 35. Perfiles estructurales y lamina para construcción .....	97
Figura 36. Planos entregados para cubierta de seguridad.....	98
Figura 37. Avance en la construcción del bastidor.....	99
Figura 38. Inspección visual y envió a pintura del bastidor .....	99
Figura 39. Instalación de puertas y ruedas al bastidor.....	100
Figura 40. Instalación de cubierta de seguridad .....	100
Figura 41. Planos entregados a operarios para base deslizante .....	101
Figura 42. Planos entregados a operarios para carro de desplazamiento .....	101
Figura 43. Planos entregados a operarios para mordaza móvil.....	102
Figura 44. Planos para maquinado de tornillos de potencia .....	103
Figura 45. Ensamble de prensa y carro de desplazamiento .....	103
Figura 46. Fabricación de la base para el motor.....	104
Figura 47. Ubicación del sistema de ajuste y desplazamiento.....	105
Figura 48. Acople de volantes a la prensa.....	106
Figura 49. Instalación de la base para el motor .....	106
Figura 50. Plano eléctrico de circuito de potencia y de control .....	107
Figura 51. Disposición final de la boquilla.....	108
Figura 52. Señalización del equipo .....	110
Figura 53. Embalaje de los equipos.....	111

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Grados de relación.....	31
Tabla 2. Matriz de calidad y ponderación de requerimientos .....	32
Tabla 3. Valores porcentuales de relevancia .....	32
Tabla 4. Valores establecidos según grado de aceptación.....	33
Tabla 5. Valores de resistencia a compresión simple para distintas rocas .....	45
Tabla 6. Propiedades de rocas sedimentarias areniscas.....	48
Tabla 7. Propiedades mecánicas del Acero al Manganeso 12M .....	49
Tabla 8. Grupo de granos según su tamaño.....	50
Tabla 9. Abrasivos de mayor importancia en el esmerilado.....	51
Tabla 10. Potencia unitaria y energía específica para diferentes materiales .....	55
Tabla 11. Valores de potencia de corte para diferentes materiales .....	56
Tabla 12. Variación de la fuerza de corte respecto a la fuerza normal .....	58
Tabla 13. Información del modelo.....	59
Tabla 14. Sistema de unidades.....	59
Tabla 15. Propiedades del material .....	60
Tabla 16. Sujeciones .....	60
Tabla 17. Cargas .....	61
Tabla 18. Información de malla.....	61
Tabla 19. Información de malla (Detalles).....	62
Tabla 20. Fuerzas de reacción.....	62
Tabla 21. Momentos de reacción.....	62
Tabla 22. Resultados del estudio (Tensiones) .....	63
Tabla 23. Resultados del estudio (Desplazamientos) .....	63
Tabla 24. Resultados del estudio (Deformación unitaria).....	64
Tabla 25. Resultados del estudio (Factor de seguridad).....	64
Tabla 26. Peso sobre la placa de desplazamiento.....	67
Tabla 27. Análisis de fuerzas verticales y horizontales sobre la placa.....	69

Tabla 28. Diámetro mínimo requerido por el tornillo de desplazamiento .....	70
Tabla 29. Geometría del tornillo de desplazamiento .....	71
Tabla 30. Calculo de esfuerzos en el tornillo de desplazamiento .....	74
Tabla 31. Relación de esbeltez para el tornillo de desplazamiento .....	76
Tabla 32. Relación de esbeltez para diferentes roscas ACME .....	77
Tabla 33. Análisis de fuerzas verticales y horizontales sobre la prensa de ajuste.	78
Tabla 34. Diámetro mínimo requerido por el tornillo de ajuste .....	78
Tabla 35. Geometría del tornillo de ajuste .....	79
Tabla 36. Calculo de esfuerzos en el tornillo de ajuste .....	80
Tabla 37. Relación de esbeltez para el tornillo de ajuste .....	82
Tabla 38. Caudal requerido por el sistema .....	83
Tabla 39. Cálculo de pérdidas en tubería y accesorios .....	84
Tabla 40. Actividades a realizar y adquisiciones.....	92
Tabla 41. Adquisiciones del proyecto .....	94
Tabla 42. Relación de adquisiciones .....	95
Tabla 43. Presupuesto total .....	112

## RESUMEN

**TITULO:** DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PERFILADOR DE NUCLEÓS BASADO EN LA APROXIMACIÓN GRADUAL DE LA MUESTRA A LA HERRAMIENTA DE CORTE\*

**AUTORES:** HERNÁN DARÍO GALEANO CASTRO

JESÚS ALFONSO ORDOÑEZ RINCÓN\*\*

### **PALABRAS CLAVE:**

Perfilador de núcleos, disco de corte, núcleos de roca.

### **DESCRIPCIÓN:**

En este trabajo de grado se muestra el proceso de diseño y construcción de un perfilador de núcleos de fácil operación para la preparación de muestras de geometría específica, garantizando la seguridad del personal y fortaleciendo los procesos como corte, limpieza, montaje e inspección que son la base de los demás análisis petrofísicos, siendo una propuesta viable económicamente para la industria del petróleo y gas.

En el proceso de diseño mecánico se transforman las ideas y conceptos en maquinaria útil teniendo en cuenta los requerimientos del cliente y los parámetros de diseño establecidos. Las alternativas de solución son expuestas a la empresa para su respectiva evaluación con el propósito de determinar cuál de todas cumple con las expectativas del cliente.

El principio de funcionamiento del equipo se basa en la aproximación gradual de la muestra a la herramienta de corte brindando un ajuste perfecto con un sistema de fácil montaje y desplazamiento que garantice el proceso. Se comienza con el cálculo ingenieril para después hacer uso de las herramientas informáticas CAD y CAE que permiten validar los parámetros de diseño, construcción y selección de elementos de máquina.

Se desarrolla un equipo con características que mejoran el proceso de corte de muestras de roca extraídas de la zona de interés disminuyendo el tiempo dedicado a este proceso siendo un producto que realizará su función propuesta en forma satisfactoria, o sin falla, durante su vida útil.

Durante el desarrollo del proyecto se implementa una metodología EDT (Estructura de desglose de trabajo) en donde la descomposición jerárquica orientada al producto entregable de trabajo será ejecutada llegando al grado de detalle necesario para un planteamiento y control adecuado del proceso.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Pedro José Díaz Guerrero

## ABSTRACT

**TITLE:** DESIGN AND CONSTRUCTION OF A CORE CUTTER BASED ON THE GRADUAL APPROXIMATION OF THE SAMPLE TO THE CUTTING TOOL\*

**AUTHORS:** HERNÁN DARÍO GALEANO CASTRO  
JESÚS ALFONSO ORDOÑEZ RINCÓN\*\*

### KEYWORDS:

Core cutting, disk cutting, core rock.

### DESCRIPTION:

In this paper grade is shown the process design and construction of a core cutter of easy operation for the process of preparation of samples of specific geometry, ensuring the safety of staff and strengthening the processes as court, cleanliness, assembly and inspection that are the base of them other petrophysical analysis, being a viable offer economically for the industry of the oil and gas.

In the process of mechanical design the ideas and concepts are transformed in useful machinery, take account the requirements of the customer and the established design parameters. The solution alternatives are exposed to the company for their respective evaluation in order to determine which of all meets expectations of the customer.

The operating principle of the equipment is based on the gradual approximation of the sample to the cutting tool, providing a perfect adjustment with a system of easy assembly and displacement that guarantees the process. It starts with the calculation engineering to then make use of tools computer CAD and CAE that allow validate them parameters of design, construction and selection of machine elements.

The characteristics of the equipment improve the cutting process of rock samples from the area of interest to decrease the time spent on this process being a product that perform their function proposed in a satisfactory manner, or without failure, during its useful life.

During the development of the project, an EDT (Work Breakdown Structure) methodology is implemented, where the hierarchic decomposition orientated to the deliverable product of work will be executed reaching the degree of detail necessary for an approach and control right of the process.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Pedro José Díaz Guerrero

## INTRODUCCIÓN

La necesidad de preparar, estudiar y analizar las muestras de núcleos extraídos de la posible zona de explotación petrolera, nos lleva a preguntarnos si la tecnología con la que contamos es suficiente para cumplir con la demanda actual y además estar al nivel de los estándares internacionales para estos estudios.

Las diferentes pruebas que se llevan a cabo en el Parque Tecnológico Guatiguara tienen como propósito ofrecer servicios de laboratorio para todas las empresas petroleras del país, como lo son: Conductividad, Porosidad, Permeabilidad, PVT.

Actualmente se cuenta con equipos para realizar pruebas de limpieza y permeabilidad, pero los equipos para la preparación del núcleo como lo son: cortador, pulidor, perfilador y compactador, no están definidos, ya que estas operaciones se realizan con herramientas manuales, que dificultan esta labor.

El flujo de trabajo básico para el análisis de núcleos convencionales comienza con la recepción y la generación de imágenes preliminares, tras lo cual pasa a la preparación y el análisis. En el laboratorio los núcleos son recibidos e inventariados para iniciar la preparación del mismo.

La muestra de núcleo se corta con un largo estándar y luego aplica un acabado de precisión cuyo resultado es la obtención de un cilindro de dimensiones específicas (máximo un pie **1[ft]** de largo y diámetros que no superan las **1,5 [in]**), con una cara plana en cada extremo. Las muestras de núcleos estándar reducen la posibilidad de que se produzcan errores en las mediciones como resultado de la forma irregular de las muestras.

Por esta razón es necesario fortalecer el vínculo entre la universidad y las empresas regionales como lo es F.A.G. Electromecánica e Instrumentación para diseñar y construir una perfiladora de núcleos, este equipo será diseñado para cortar muestras de núcleo o roca con el propósito de facilitar los estudios y análisis que se harán sobre éstas posteriormente.

## 1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El estudio de las propiedades petrofísicas de las rocas y núcleos es de vital importancia en el proceso de exploración en el campo petrolero, por lo cual se convierte en la base fundamental en el hallazgo de nuevas reservas.

Un análisis adecuado de las muestras (núcleos de roca) extraídas de la zona de interés depende de los equipos y la tecnología existente para llevar a cabo los procesos de preparación, entre los cuales se encuentran los siguientes equipos:

- Sistema de montaje para núcleos no consolidados
- Limpiador de núcleos por flujo
- Extractor de humedad
- Taladro de extracción de muestras
- Pulidora de superficies de muestras cilíndricas
- Perfiladora de núcleos

Debido a esto es necesario implementar equipos de fácil operación para el proceso de preparación de muestras de geometría específica, garantizando la seguridad del personal y fortaleciendo la fiabilidad de estos procesos que son la base de los demás análisis petrofísicos, siendo así la perfiladora de núcleos el foco de atención en la realización de este proyecto.

El sistema de ubicación, montaje y desplazamiento de muestras de la perfiladora de núcleos facilitara la operación del equipo con lo cual el tiempo que se dedica a la preparación del núcleo disminuye, aumentando así la cantidad de muestras preparadas, beneficios que se verán reflejados en mayores ingresos.

## 2. JUSTIFICACIÓN PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

El análisis de núcleos es vital para determinar las propiedades de las rocas, por lo que constituye un recurso importante para la caracterización de las formaciones, el proceso conocido como: análisis rutinario de núcleos, ayuda a las compañías a evaluar la porosidad, la permeabilidad, la saturación de fluido, la densidad de grano y la textura de la zona de interés.

Los equipos necesarios para la preparación del núcleo se basan en procesos de corte, limpieza, secado, montaje e inspección; en donde compañías internacionales como Vinci Technologies<sup>5</sup> y Core Lab<sup>6</sup> lideran este mercado, sin embargo las empresas nacionales entre las cuales se destacan Core Energy Ltda.<sup>7</sup> y Gincor E & P Solutions.<sup>8</sup> en su intento por suplir las necesidades de la industria petrolera no se han quedado atrás en el diseño y construcción de equipos para la industria del petróleo, por ejemplo: Horno de secado convencional, sistema de extracción Soxhlet, taladro automático, cortadora automática de núcleos, entre otros.

El proceso de preparación de núcleos se considera el primer eslabón de los análisis petrofísicos, por lo cual la empresa F.A.G. Electromecánica e Instrumentación, ubicada en la ciudad de Bucaramanga ha decidido desarrollar los equipos necesarios para la preparación y análisis de núcleos facilitando la información recolectada sobre las propiedades de la formación y los fluidos que esta contiene.

---

<sup>5</sup> VINCI TECHNOLOGIES, Laboratory and field instruments for Petroleum Industry. Disponible en: <http://www.vinci-technologies.com> (Se accedió el 15 de Mayo de 2015).

<sup>6</sup> CORE LAB, The Reservoir Optimization Company. Disponible en: <http://www.corelab.com> (Se accedió el 15 de Mayo de 2015)

<sup>7</sup> CORE ENERGY LTDA, Equipos e implementos de laboratorio para la industria del petróleo. Disponible en: <http://www.coreenergy.com.co> (Se accedió el 15 de Mayo de 2015)

<sup>8</sup> GINCOR E & P SOLUTIONS, Diseño y manufactura de equipos de laboratorio. Disponible en: (Se accedió el 15 de Mayo de 2015)

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

- Contribuir con la misión de la escuela de Ingeniería Mecánica de la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER relacionándola con la industria Santandereana, mediante el diseño y construcción de un equipo para la empresa F.A.G. Electromecánica e Instrumentación, que permita cortar muestras de núcleos provenientes de la posible zona de explotación de hidrocarburos, brindando un ajuste perfecto a la muestra contando con un sistema de fácil montaje y desplazamiento que garantice el proceso.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Diseñar y construir una perfiladora de núcleos que cumpla con los siguientes requerimientos:
  - Longitud máxima de la muestra 300 [mm] (12")
  - Profundidad máxima del corte 100 [mm] (4")
  - Bancada de desplazamiento y sujeción de muestras
  - Garantizar seguridad del operario
- Desarrollar una metodología que permita caracterizar las condiciones de operación y corte de un núcleo de roca.
- Realizar un protocolo de pruebas para validar la calidad del corte.

## 4. MARCO DE REFERENCIA DE LA EMPRESA

### 4.1. DATOS DE LA EMPRESA

- Nombre: F.A.G. Electromecánica e Instrumentación
- NIT: 91.256.441-5
- Dirección: Cra 16#108-21 Int 3-21
- Gerente: Fredy Alberto Gómez Delgado
- Clasificación de la empresa: Mediana empresa (Más de 15 empleados)

**Figura 1.** Logo de la empresa



**Fuente:** <http://www.fredyalbertogomez.com>

### 4.2. ANTECEDENTES

F.A.G. Electromecánica & Instrumentación es una compañía Colombiana ubicada en Bucaramanga, con más de 12 años de experiencia en el sector metal mecánico que apoya a la industria del sector petrolero.

La cual dedica todos sus esfuerzos al suministro de equipos, materiales para el sector metalmeccánico y del petróleo, válvulas, motores, filtros, variadores, equipo

eléctrico, partes y accesorios para todo tipo de maquinaria y equipos de laboratorio.

También presta servicios como: Aplicación técnica de soldaduras en metales ferrosos y no ferrosos con equipos de última tecnología, especializados en soldaduras de aluminio; Mantenimiento correctivo y/o programado, servicio de torno, fresa, alisadora, rectificadora, Construcción de empaques, soportes, bujes, copas y toda clase de artículos en caucho natural, sintéticos, nitrilos, vitón, silicona, neopreno, etc. Montaje de líneas de tuberías norma API y ASME.

Para la ejecución de los proyectos realizan ingeniería básica, ingeniería de detalle, diseño de equipos, presupuesto e interventoría.

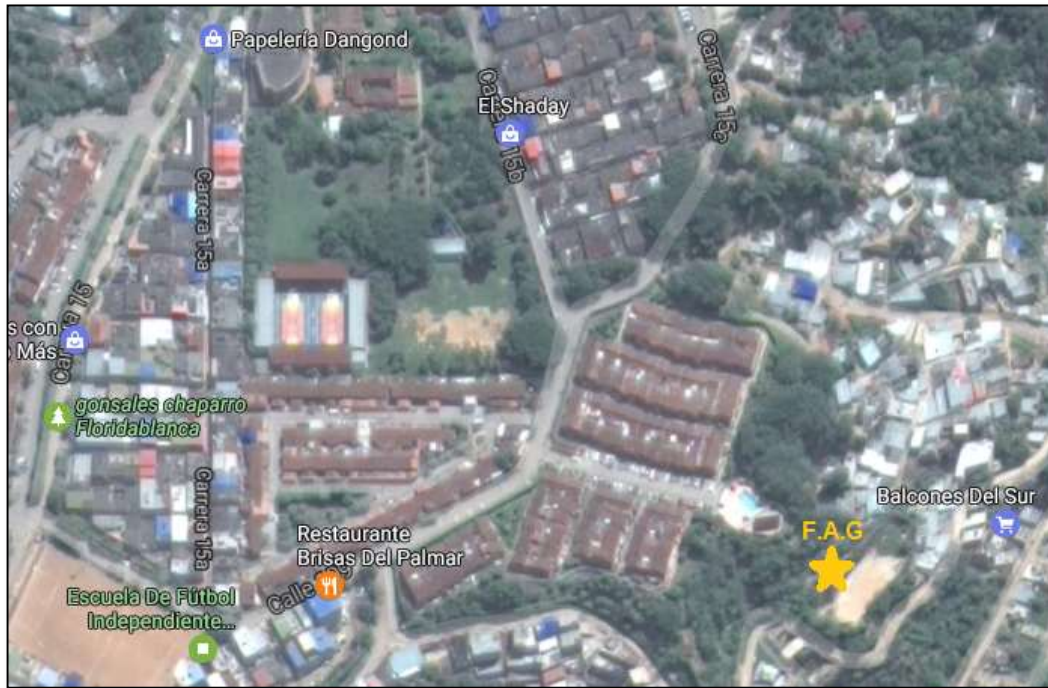
**4.2.1. Localización.** F.A.G. Electromecánica & Instrumentación se encuentra ubicada en la Carera 16 # 108-21 Int 3-21 Bucaramanga/Santander/Colombia

**Figura 2.** Ubicación F.A.G.



**Fuente:** <https://www.google.com.co/maps/place/Bucaramanga,+Santander>

**Figura 3.** Zona de interés (F.A.G.)



**Fuente:** <https://www.google.com.co/maps/place/Bucaramanga,+Santander>

**4.2.2. Misión.** Es una empresa dedicada a ofrecer soluciones especializadas en la provisión de equipos de laboratorio, suministros, productos y servicios para la industria metalmecánica y petrolera usando altos estándares de calidad, satisfaciendo las nuevas exigencias en el mercado de forma ágil y eficaz.

Es una empresa dedicada a ofrecer soluciones especializadas en la provisión de equipos de laboratorio, suministros, productos y servicios para la industria metalmecánica y petrolera usando altos estándares de calidad, satisfaciendo las nuevas exigencias en el mercado de forma ágil y eficaz.

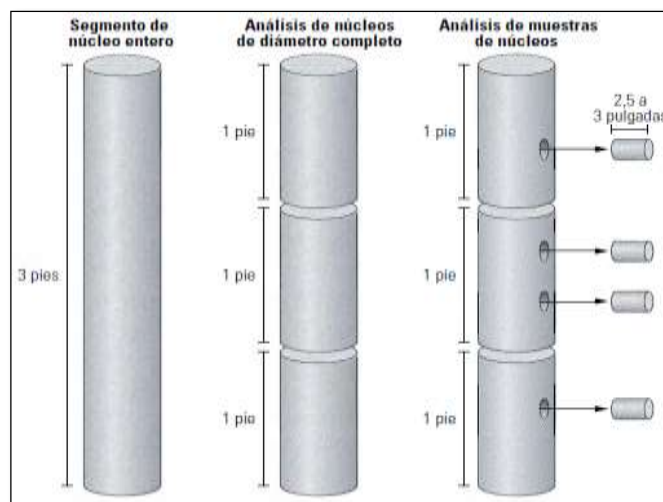
**4.2.3. Visión.** Para el año 2020 F.A.G. Electromecánica & Instrumentación pretende ser una de las mejores empresas a nivel nacional e internacional en el campo de los negocios de desarrollo de proyectos, prestación de servicios y suministro en la industria metalmeccánica, constituyéndose en un aliado estratégico de sus clientes.

Para el año 2020 F.A.G. Electromecánica & Instrumentación pretende ser una de las mejores empresas a nivel nacional e internacional en el campo de los negocios de desarrollo de proyectos, prestación de servicios y suministro en la industria metalmeccánica, constituyéndose en un aliado estratégico de sus clientes.

#### 4.3. PROCESO INICIAL EN LA PREPARACIÓN DEL NÚCLEO

El análisis rutinario de núcleos ayuda a las compañías de petróleo y gas a verificar la presencia de hidrocarburos. Mediante muestras físicas de las formaciones del subsuelo, con la extracción de núcleos.

**Figura 4.** Muestras físicas de las formaciones y extracción de núcleos.



**Fuente:** ANDERSON M. DUNCAN B. MCLIN R. Los núcleos en la evaluación de formaciones. Oilfiel Review. EUA

El flujo de trabajo básico para el análisis de núcleos convencionales comienza con la recepción, generación de imágenes preliminares. En el laboratorio los núcleos son recibidos e inventariados, proceso tras el cual se inicia la preparación del núcleo y posterior análisis.

Aunque los mecanismos de manipulación de núcleos admiten un amplio rango de muestras, para el análisis rutinario de núcleos se suelen utilizar muestras de núcleos, las cuales proporcionan una caracterización confiable de la formación en el subsuelo cuando el sistema poroso es relativamente homogéneo.

Como se muestra en la figura, el analista de núcleos, que a veces trabaja en conjunto con el geólogo, perfora las muestras de núcleos a partir de un núcleo de diámetro completo. La mayoría de los laboratorios utiliza una fresa o una taladradora con una barrena de diamante.

El analista corta la muestra de núcleo con un largo estándar y luego aplica un acabado de precisión utilizando una rectificadora frontal. El resultado es la obtención de un cilindro vertical, de las dimensiones específicas normalmente con 1[ft] de largo y diámetros que no superan las 1,5 [in], con una cara plana en cada extremo.

Mediante la generación de muestras de núcleos de forma y tamaño estándar, el analista obtiene muestras con la misma longitud y sección transversal; por consiguiente, cada muestra de núcleo posee en esencia el mismo volumen aparente. Además, las muestras de núcleos estándar reducen la posibilidad de que se produzcan errores en las mediciones como resultado de la forma irregular de las muestras.

**Figura 5.** Recepción y preparación de muestras físicas y extracción de núcleos en el laboratorio.



**Fuente:** ANDERSON M. DUNCAN B. MCLIN R. Los núcleos en la evaluación de formaciones. Oilfiel Review. EUA

## **5. PROCESO DE DISEÑO CONCEPTUAL**

El diseño mecánico es una tarea que requiere de muchas habilidades, pues consiste en la transformación de ideas y conceptos en maquinaria útil, muchos diseños de máquinas, no tienen éxito por causas que no se puedan probar matemáticamente, como por ejemplo la creatividad. Se puede considerar entonces que los problemas de diseño son por lo general, una combinación de la rigidez de la ciencia con la creatividad.

En esta etapa se busca implementar un proceso de diseño para determinar las características del equipo basándonos en los siguientes criterios:

- Requerimientos del cliente
- Parámetros de selección de alternativas
- Grado de aceptación

Se debe tener en cuenta, además de estos parámetros el estudio del diseño y selección de los elementos de máquinas, estableciendo las limitaciones de los tipos de componentes que podrán ser incorporados de manera sencilla.

### **5.1. REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE**

A continuación, se establece una lista de especificaciones técnicas indicadas por los interesados en el desarrollo del producto:

- Una sierra con diámetro máximo de: 300 mm (12").
- La profundidad máxima de corte: 100 mm (4").
- Longitud máxima de corte: 300 mm.
- Refrigeración del corte por agua.
- Fuente de alimentación: 110V, 50 Hz.

- Dimensiones máximas: 1120x620x710 mm.
- Capacidad del motor: máximo 3 caballos

Tras lo cual se redefinen las necesidades del cliente en los siguientes aspectos para implementarlos en el despliegue de la función calidad (QFD)

- **Corte de muestras definido:** Este aspecto incluye la profundidad y longitud máxima del corte.
- **Máxima seguridad:** El producto diseñado no debe ser peligroso para el usuario y la propiedad circundante, por lo tanto, el sistema debe ser firme y estable es decir se debe garantizar la seguridad funcional de cada uno de sus componentes entre sí. Los peligros que no se pueden eliminar con el diseño se resuelven con protección; si eso no es posible, se deben proporcionar instrucciones adecuadas o advertencias.
- **Consumo energético:** Se evalúa la posible potencia eléctrica que requiere la máquina para realizar el trabajo que se necesita. En general el consumo de potencia se va a catalogar según los siguientes rangos: Baja [de 1 HP a 5 HP], media [de 5 HP a 12 HP] y alta [más de 12 HP]. Este aspecto incluye la capacidad del motor y fuente de alimentación.
- **Tamaño y peso:** El producto debe ser lo más compacto posible, pues al momento de la instalación, se debe verificar el espacio que dicho sistema ocupará y la facilidad de mover el equipo con relativa sencillez.
- **Ergonómico:** Con el creciente número de normas sobre prevención de riesgos laborales, la ergonomía estudia la relación del hombre con las máquinas (interacción y trabajo) considerando cuatro aspectos principales: visual, auditivo, táctil y postural. Es preciso determinar el tamaño de las máquinas y

zonas de trabajo, de modo que las posturas que pueda adoptar el operario no ocasionen molestias y consecuencias negativas para la salud humana.

## 5.2. PARAMETROS DE DISEÑO PARA SELECCIÓN DE ALTERNATIVA

La importancia de esta etapa se ve reflejada en los criterios de selección que se consideran de mayor relevancia y los cuales nos van a permitir definir cuál de todas las ideas propuestas se ajustan mejor a los requerimientos del cliente. Estos parámetros son:

- **Costos (C ):** Este parámetro evalúa la totalidad de los costos invertidos en el proceso de diseño, construcción y optimización de la alternativa seleccionada, sin embargo, no solo se debe proyectar hacia una solución físicamente posible, sino hacia el sector de máxima conveniencia técnico - económica, pues los productos que no desempeñen bien sus funciones no tendrán éxito y los que son demasiado costosos, no tendrán aceptación en el mercado.
- **Facilidad de construcción (FC ):** Es importante considerar la disposición para realizar la construcción de algunos componentes que integran la máquina, así mismo el tiempo de construcción y el número de piezas estarán estrechamente relacionados. En resumen, el producto del diseño se reduce a un número mínimo de partes que resulta adecuado para la producción en masa.
- **Facilidad de operación (FO ):** Con este parámetro se evalúa que tan fácil resulta la operación y puesta en marcha del sistema, el producto diseñado realizará su función propuesta en forma satisfactoria cumpliendo con las expectativas del cliente.

- **Mantenibilidad (M ):** El producto realizará su función de forma satisfactoria, o sin falla, durante un lapso de vida dado. Aquí se toma en consideración la resistencia al desgaste natural del equipo, repercutiendo en la vida útil de los componentes y la posibilidad para realizar un fácil mantenimiento.
- **Confiable y competitivo (CC ):** Es la probabilidad condicional de que, a un nivel de confianza dado, el producto realizará su función propuesta en forma satisfactoria, o sin falla, durante su vida útil. Siendo el producto del diseño un contendiente en el mercado, que se puede comprar y dispone de servicio posventa de repuestos y mantenimiento.

### 5.3 MATRIZ DE CALIDAD

Las necesidades principales para el proceso de diseño y construcción se evaluaron con la ayuda de una matriz de calidad en donde se redefinen los requerimientos del cliente (Verticalmente), relacionados con los parámetros principales de diseño (Horizontalmente). Y se establecieron los siguientes grados de relación entre parámetros de diseño y requerimientos del cliente.

**Tabla 1.** Grados de relación

RELACIÓN	
Fuerte	9
Media	6
Baja	3
Nula	0

**Tabla 2.** Matriz de calidad y ponderación de requerimientos

REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE	Relevancia	PARAMETROS DE DISEÑO					TOTAL
		C	FC	FO	M	CC	
Corte de muestras definido	5	45	45	45	30	30	195
Máxima seguridad	4	36	36	24	12	12	120
Ergonómico	3	0	18	18	9	18	63
Consumo energético	2	18	6	6	6	12	48
Tamaño y peso	1	9	9	6	6	3	33
<b>TOTAL</b>		108	114	99	63	75	

Como podemos observar con los valores totales obtenemos los valores porcentuales y la relevancia de cada requerimiento.

**Tabla 3.** Valores porcentuales de relevancia

REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE	TOTAL	PORCENTAJE (%)
Corte de muestras definido	195	42.48
Máxima seguridad	120	26.14
Ergonómico	63	13.73
Consumo energético	48	10.46
Tamaño y peso	33	7.19
<b>TOTAL</b>	459	100

Con base en la ponderación establecida en la tabla anterior se estudiaron las diferentes alternativas y así se seleccionó la que mejor se ajusta a la solución del problema planteado.

#### 5.4. ALTERNATIVA SELECCIONADA

Se evaluaron las alternativas, según los parámetros anteriormente descritos y la información obtenida del QFD, con una calificación de 1 a 5 como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 4.** Valores establecidos según grado de aceptación

GRADO DE ACEPTACIÓN	VALOR ASIGNADO
Deficiente	1
Aceptable	2
Bueno	3
Muy bueno	4
Excelente	5

Tras la evaluación realizada la alternativa seleccionada obtuvo una calificación de 4.0232 que según la ponderación establecida que se encuentra entre muy bueno y excelente, por consiguiente, esta propuesta es el punto de partida para la realización de este proyecto.

Se puede comenzar ahora el proceso detallado de diseño de los elementos de la perfiladora de núcleos, contemplando posibles mejoras durante el proceso de diseño y construcción.

**5.4.1. Perfilador de núcleos.** Este equipo cuenta con una cabina de seguridad, un protector de hoja, un dispositivo para ajustar perfectamente la muestra cilíndrica respecto a sus dimensiones, una bandeja de recuperación de refrigerante y un tanque dispuesto en secciones para la sedimentación evitando posibles obstrucciones en la bomba de suministro al momento de recircular el fluido de trabajo.

**Figura 6.** Perfiladora de núcleos con transmisión de potencia directa



La disposición del motor en este caso será sobre la mesa de trabajo de tal forma que la herramienta cumpla con los requerimientos mínimos en la profundidad del corte. Cuenta con un dispositivo de seguridad que evita la puesta en marcha del equipo mientras la cabina de seguridad permanezca abierta, está a su vez dispone de un sistema de iluminación ya que la operación por si sola dificulta la visibilidad.

• **Ventajas:**

- Fácil construcción
- Sistema aislante de partículas residuales
- Sistema de iluminación de la cabina de trabajo
- Fácil acceso para labores de mantenimiento
- Mayor seguridad para el operario
- Facilidad para dirigir el fluido de corte a donde la operación lo requiera
- Espacio suficiente para las herramientas y muestras al momento de realizar la operación.

- **Desventajas:**

- Mayores dimensiones y peso
- Proceso de manufactura e instalación más complejo
- Aumento de los tiempos debido a los sistemas de seguridad incorporados

## **6. MODULOS DE INTERES Y PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA**

Con el propósito de conocer en forma más detallada la alternativa seleccionada, se presentan ciertos módulos de interés, basados en una metodología EDT "*Estructura de Desglose de Trabajo*", la cual se estableció por completo en el desarrollo del plan de proyecto, donde se identificarán las tareas durante el proceso de diseño y construcción del equipo, junto con la gestión del trabajo de grado.

En donde la descomposición jerárquica orientada al producto entregable de trabajo será ejecutada en función de los siguientes parámetros principales:

- Dirección del proyecto
- Diseños y planos
- Manufactura del bastidor
- Instalación de subsistemas
- Protocolo de pruebas
- Control integrado de cambios
- Documentación de soporte

Los cuales subdividen las actividades en varios niveles llegando al grado de detalle necesario para un planteamiento y control adecuado, como se muestra en los anexos.

## 6.1. MODULO ESTRUCTURAL

La estructura de este equipo se compone de una base rectangular en perfilera de acero A36 el cual será conformado mediante el proceso de soldadura, en donde los paneles laterales serán fabricados en lámina calibre 16.

Se pretende revestir esta estructura mediante el proceso de pintura electrostática para evitar la corrosión y dar un acabado texturizado agradable a la vista. Además, el equipo contará con un sistema de ruedas que facilitan su desplazamiento.

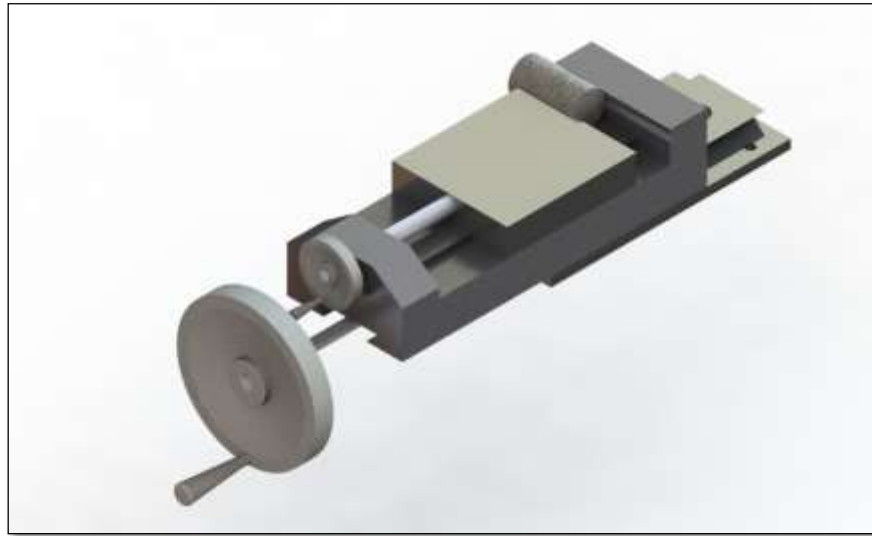
**Figura 7. Bastidor del equipo.**



**6.1.1. Fijación de la muestra.** Sabiendo que el proceso de corte se realiza a altas velocidades, es imprescindible posicionar y sujetar con firmeza las muestras.

Para ello se diseñará el sistema de apriete tipo mordaza o prensa de tornillo manual, con lo cual el operario podrá realizar el proceso de corte sin interrupciones ni preocupaciones por posibles desviaciones de la muestra.

**Figura 8.** Prensa de ajuste y carro de desplazamiento



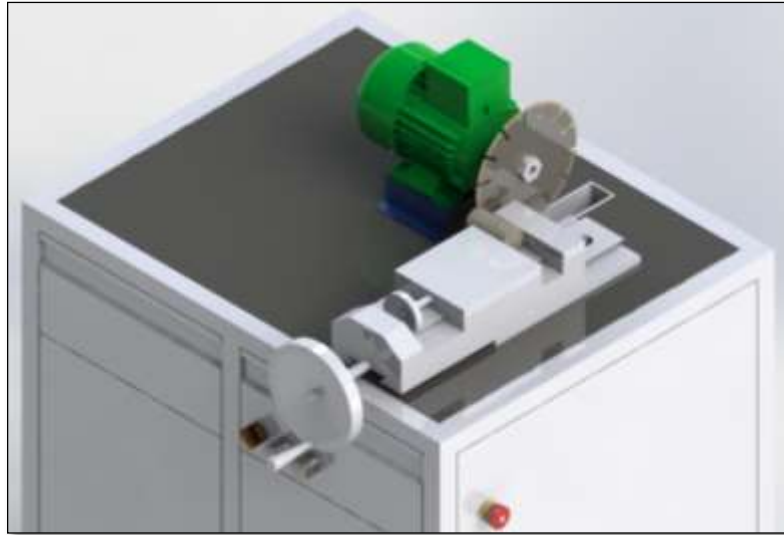
Básicamente son dos mordazas trabajando en grupo, una fija como punto de apoyo principal y la otra móvil, que se desplaza sobre la base con un tornillo de ajuste para la apertura y cierre de la misma.

La elevada fuerza de amarre conseguida por el simple uso de las mordazas, hará esta parte del sistema seguro.

**6.1.2. Aproximación de la muestra al disco de corte.** La geometría final de la muestra se origina al generar fuerzas de cizallamiento a una velocidad de corte elevada y el patrón de movimientos relativos entre la pieza y la herramienta de corte. En donde el torque ejercido por el operario es convertido de movimiento angular, en un movimiento de traslación lineal.

Para el corte que se va a realizar los movimientos relativos de aproximación serán de la pieza hacia la herramienta de corte, dicho movimiento será generado por el tornillo de potencia previamente ubicado bajo las mordazas, como ya se mencionó anteriormente.

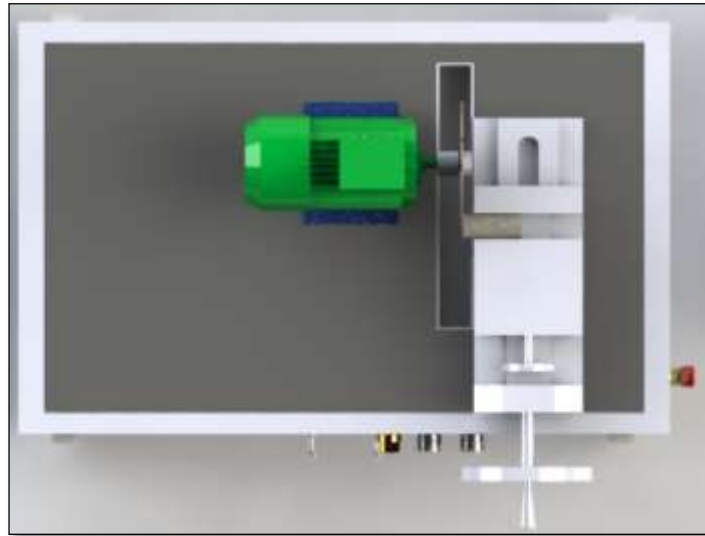
**Figura 9.** Aproximación de la muestra



Factores como la cantidad de material de residuo propio de la operación realizada, hace pensar en un diseño de fácil limpieza y bajo costo de mantenimiento. Así mismo el bajo costo de fabricación y la sencillez de su diseño hacen del tornillo de potencia el sistema ideal para la aproximación de la muestra a la herramienta de corte.

**6.1.3. Proceso de corte.** Para generar la superficie de la muestra y asegurar un proceso de calidad se necesita una velocidad de corte adecuada, así como la fuerza y aproximación gradual de la pieza, debido a las múltiples propiedades de las rocas. La potencia consumida en el proceso de corte es necesaria para determinar las limitaciones del sistema.

**Figura 10.** Contacto entre la muestra y el disco de corte



De los dos movimientos relativos mínimos para generar la superficie, suele haber uno que es el que consume la mayor parte de la potencia del equipo, este movimiento se le suele denominar movimiento primario o de corte. El otro movimiento es la combinación del corte y desplazamiento lineal para ayudar a eliminar el material sobrante, este movimiento es llamado movimiento de avance.

Por otra parte, el proceso de corte interviene directamente en factores como el calentamiento de la muestra y la herramienta, la calidad superficial y dimensional de la pieza, el diseño del amarre y el desgaste de la herramienta.

**6.1.4. Protocolo de pruebas para validar la calidad del corte.** Este protocolo de pruebas describe una metodología para asegurar una excelente calidad en las superficies planas de la muestra del núcleo, debido a que no existe una normativa que permita tener una técnica adecuada, se proponen una serie de pasos que se describen a continuación:

- Tras el proceso inicial de corte del núcleo se procede a hacer una inspección visual, para obtener un primer criterio de la operación realizada.
- Revise la nueva superficie generada por el corte para asegurarse que no existan fracturas ni daños ocasionados por partículas o incrustaciones de materiales duros; “tenga en cuenta la friabilidad de la roca al momento de realizar el corte”.
- Es necesario montar el núcleo en una matriz o preforma donde se comprueba la perpendicularidad del corte respecto al eje longitudinal del núcleo; si el corte presenta una desviación mayor respecto a la matriz, rectifique la cara del núcleo, en el equipo especializado para esta tarea como lo es una pulidora de superficies de muestras cilíndricas<sup>9</sup>.
- Realice este procedimiento para las dos superficies planas de la muestra del núcleo después de realizar el corte.
- Para tener un criterio de medida de la planitud de las caras se recomienda utilizar un comparador de caras tipo reloj.

Con el cumplimiento de estos parámetros se asegura un núcleo apto para sus posteriores procedimientos y análisis; lo ideal es obtener un núcleo con cortes admisibles sin tener que manipularlo nuevamente ya que esto puede alterar las propiedades de la muestra.

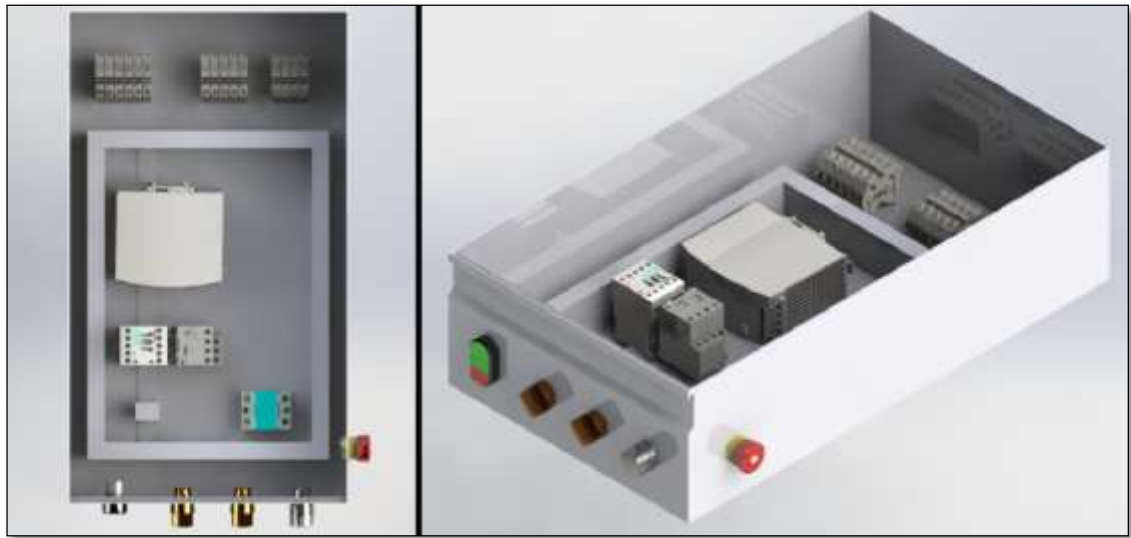
---

<sup>9</sup> Pulidora de superficies de muestras cilíndricas, MODELO: FAG - 538

## 6.2. MODULO ELECTRICO Y DE CONTROL

Consiste en un circuito en donde se encuentran los dispositivos eléctricos y electrónicos, como contactores, relés, sensor inductivo, interruptor ON-OFF, sistema de parada de emergencia, variador de velocidad del motor, conexiones para funcionamiento de la bomba y arranque del motor.

**Figura 11.** Componentes eléctricos y electrónicos.



Para efectos prácticos y de mantenimiento se decide la ubicación de todo el modulo eléctrico junto con sus conexiones en uno de los cajones con los que cuenta el bastidor, en este caso el cajón del lado derecho justo bajo el volante de avance de la muestra

En lo posible el equipo debe contar con un circuito de control basado en la seguridad del operador evitando accidentes y posibles factores de riesgo a su alrededor.

### 6.3. MODULO DE REFRIGERACION

El sistema será diseñado principalmente para el suministro de refrigerante (Si las propiedades del núcleo así lo permiten, en cuyo caso se usará agua).

**Figura 12.** Boquilla de suministro de fluido refrigerante



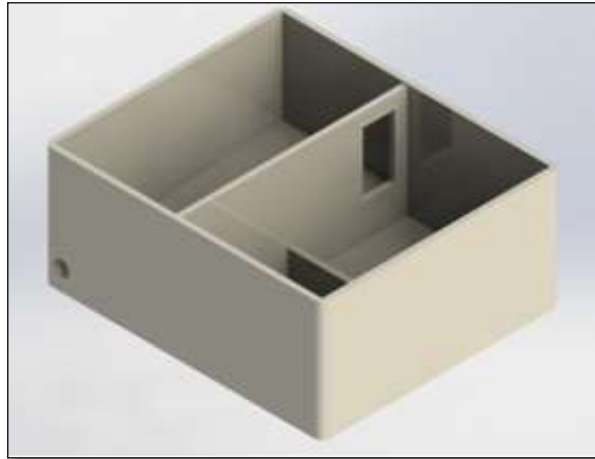
De igual forma podría ayudar a reducir el coeficiente de fricción entre la herramienta y la muestra a cortar, por otro lado, ayuda a remover el material residual durante la operación.

**Figura 13.** Bomba centrífuga para recirculación del fluido refrigerante



Ya que el sistema de bombeo es realimentado, cuenta con un tanque de sedimentación para evitar que los residuos provenientes del proceso de corte anterior recirculen causando daños y obstrucciones en el sistema.

**Figura 14.** Tanque de sedimentación



Para facilitar la remoción del lodo el fondo del tanque está ligeramente inclinado, además cuenta con una distribución de baffles y una disposición de canales para dirigir el fluido hacia la bomba.



## 7.1. SELECCIÓN DEL DISCO DE CORTE

Teniendo como parámetro de diseño la dureza máxima a la que se podría enfrentar el equipo en el proceso de corte, se realizan las diferentes cotizaciones a los proveedores existentes en el área metropolitana de Bucaramanga.

Tras lo cual se decide recurrir a la empresa LUKIA<sup>10</sup> ya que representa la mejor opción en cuanto a costo, calidad y disponibilidad de catálogo, siendo especialistas en discos de diamante para el corte de todo tipo de material abrasivo y duro. Se selecciona la referencia 52818010 por sus características geométricas y de velocidad

Figura 15. Catalogo en línea del fabricante y selección del disco de corte



Recomendaciones de uso | Contactar | FAQ's | Enlaces | ¿Quiénes somos? | English

Inicio Construcción Cerámica Mármol Granito Industrial

buscador productos

Construcción / Corte seco / Materiales abrasivos  
Asfalto, Hormigón Fresco, Ladrillo Refractario abrasivo, Terracota abrasiva, Piedra abrasiva (Pont du Gard), Losa gravilla decoración

**Construcción**

- Corte seco
  - Materiales duros
  - Materiales abrasivos**
  - General de obra
- Corte húmedo

**Cerámica**

- Revestimiento
- Gres Porcelánico
- Gres Prensado

**Mármol**

- Corte seco
- Corte húmedo

**Serie Plus Abrasif**

Segmentado

Calidad 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Ø	Ø int	Medidas Alto/Ancho	Nº Pastillas	RPM Máx	Referencia
Ø 115	Ø 22.2	7.0x1.9	8	13300	52811510
Ø 125	Ø 22.2	7.0x2.0	9	12200	52812510
Ø 180	Ø 22.2	7.0x2.4	14	8400	52818010
Ø 230	Ø 22.2	7.2x2.5	18	6600	52823010

Fuente: <http://www.lukia.com/esp/productos>

<sup>10</sup> LUKIA, Especialista en discos de diamante para la construcción y discos para el corte y/o desbaste de metal .

## 7.2. DISEÑO DEL DISCO DE CORTE

Realizando un proceso de ingeniería inversa y contando con los datos obtenidos del catalogo del fabricante tenemos las variables iniciales para el proceso de diseño, las demás variables necesarias para el análisis se obtienen del motor y las propiedades del núcleo.

Para el análisis de fuerzas y velocidades según el modelo descrito en la GROOVER<sup>11</sup> para disco abrasivo de corte se requieren las propiedades características para el tipo de roca.

---

<sup>11</sup> GROOVER Mikell. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna*. México: McGraw-Hill

**Tabla 6.** Propiedades de rocas sedimentarias areniscas

Physical Properties	Metric	English
Density	2.10 - 2.80 g/cc	0.0759 - 0.101 lb/in <sup>3</sup>
Moisture Expansion	0.013 %	0.013 %
Porosity	>= 5 %	>= 5 %
Permeability	0.0010 - 1.0	0.0010 - 1.0

Mechanical Properties	Metric	English
Hardness, Shore H	<= 70	<= 70
Hardness, Mohs	<= 7.0	<= 7.0
Abrasive Hardness	<= 26	<= 26
Tensile Strength, Ultimate	<= 25.0 MPa	<= 3630 psi
Modulus of Elasticity	40.0 - 80.0 GPa	5800 - 11600 ksi
Modulus of Rupture	<= 0.0159 GPa	<= 2.31 ksi
Transverse Strength	<= 16.0 MPa	<= 2320 psi
Compressive Strength	41.4 - 248 MPa	6000 - 36000 psi
Impact Toughness	<= 13.8 cm/cm <sup>2</sup>	<= 35.0 in/in <sup>2</sup>

Electrical Properties	Metric	English
Electrical Resistivity	10000 ohm-cm - 1e+05	10000 ohm-cm - 1e+05

Thermal Properties	Metric	English
CTE, linear	5.00 - 19.0 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}$ @Temperature 20.0 $^{\circ}\text{C}$	2.78 - 10.6 $\mu\text{in}/\text{in}\cdot^{\circ}\text{F}$ @Temperature 68.0 $^{\circ}\text{F}$
Specific Heat Capacity	0.928 - 0.963 J/g $\cdot^{\circ}\text{C}$	0.222 - 0.230 BTU/lb $\cdot^{\circ}\text{F}$
Thermal Conductivity	4.20 - 5.00 W/m-K	29.1 - 34.7 BTU-in/hr-ft <sup>2</sup> $\cdot^{\circ}\text{F}$

**Fuente:** <http://www.matweb.com>

**7.2.1. Selección del material para el disco de corte.** Un disco de corte es una herramienta generalmente de auto-afilado conformada por granos abrasivos (material de corte) unidos por un agente aglutinante y reforzados por una estructura de material compuesto (malla) que permite cierto espacio libre (poros) entre los bordes de corte.

Para la fabricación del disco se necesita un material de acero resistente al desgaste, a la abrasión y al impacto. En este caso se recomienda usar Acero al Manganeso 12M o Acero al Manganeso Hardening. El cual cuenta con las siguientes ventajas:

- Altamente resistente al impacto, desgaste y abrasión extrema.
- Mejor desempeño en condiciones de alto impacto
- Endurecimiento rápido por trabajo a 500 - 550 BHN (54 - 58 RC)
- Durabilidad hasta 12 veces mayor a aceros de recubrimiento convencionales
- Mantiene su tenacidad interior
- Muy bajo coeficiente de fricción aun en aplicaciones metal - metal
- Saldable con electrodos Manganeso XL o electrodos similares
- Fácil de cortar con soplete de oxiacetiléno
- Aleación no magnética

**Tabla 7.** Propiedades mecánicas del Acero al Manganeso 12M

PROPIEDADES MECÁNICAS	
Esfuerzo de Cedencia (Yield )	60 -85 Ksi
Esfuerzo Ultimo de Tensión (UTS)	120 - 130 Ksi
Elongación	35 - 50%
Dureza de Trabajo	550 -600 BHN Max.
Dureza al Entregar	230 - 255 BHN

**Fuente:** <http://www.tecniaceros.com>

**7.2.2 Grano para disco de corte.** Las características de un disco abrasivo dependen del tipo, tamaño del grano, aglutinante, estructura y grado.

- **Discos abrasivos convencionales:** esta categoría comprende básicamente los discos cuyo grano abrasivo consiste de óxido de aluminio, carburo de silicio o una combinación de óxidos de aluminio y zirconio. Se emplean para materiales blandos y duros o semiduros
- **Discos súper - abrasivos:** esta categoría comprende un tipo más tenaz de discos, cuyo material de corte es el diamante policristalino o el nitruro de boro. Son para uso exclusivo en corte y desbaste a alta velocidad y precisión de materiales de gran dureza
- **Tamaño de grano:** Este parámetro se indica en términos de malla: los granos más gruesos están representados por números de malla bajos y los granos más finos por números altos, como observamos en la siguiente tabla.

**Tabla 8.** Grupo de granos según su tamaño

<b>Grupo</b>	<b>Tamaños de grano</b>
Grano grueso	8 - 10 - 12 - 14 - 16 - 20 - 24
Grano normal	30 - 36 - 46 - 54 - 60 - 70
Grano fino	80 - 90 - 100 - 120 - 150 - 180 - 220
Grano muy fino	240 - 280 - 320 - 400 - 500 - 600 - 700 - 800 - 1000 - 1200 - 2500

**Fuente:** GROOVER Mikell. Fundamentos de manufactura moderna.

Los granos gruesos se usan en materiales dúctiles, blandos y fibrosos, para la remoción rápida de material de lijado.

Los granos más finos se usan para obtener acabados lisos en materiales duros y quebradizos, en áreas de contacto pequeñas y para mantener la forma en esquinas pequeñas y estrechas

- **Grado:** La capacidad relativa del aglutinante para mantener los granos abrasivos adheridos al disco da una idea de la dureza del disco y se mide en términos de fortaleza del aglutinante.

Si el disco es de grado “blando”, el aglutinante tiene poca fortaleza para mantener unidos los granos y estos tenderán a desprenderse fácilmente con el uso. En cambio, si el grado es “duro”, los granos están fuertemente unidos al aglutinante y el disco tiene mayor vida útil.

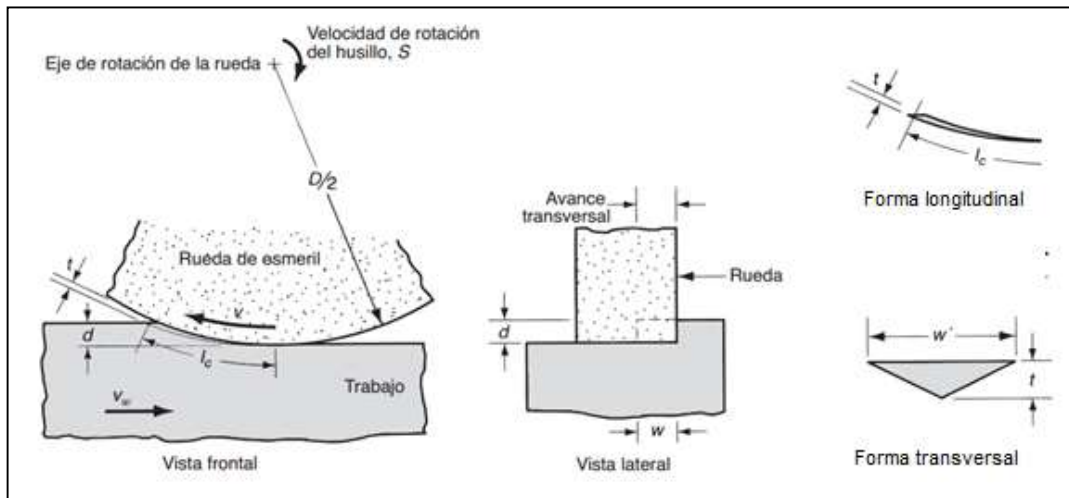
**Tabla 9.** Abrasivos de mayor importancia en el esmerilado

Abrasivo	Descripción	Dureza Knoop
Óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ )	Es el material abrasivo más común (sección 7.3.1). Se usa para esmerilado acero y otras aleaciones ferrosas de alta resistencia.	2 100
Carburo de silicio (SiC)	Es más duro que el $Al_2O_3$ , pero no tan tenaz (sección 7.2.2). Sus aplicaciones incluyen metales dúctiles, como el aluminio, el latón y el acero inoxidable, así como materiales frágiles, como algunas fundiciones de hierro y ciertos cerámicos. No puede usarse efectivamente para el esmerilado de acero debido a la fuerte afinidad química entre el carbono en SiC y el hierro en el acero.	2 500
Nitruro de boro cúbico (CBN)	Cuando se usa como abrasivo, el CBN (sección 7.3.3) se produce bajo el nombre comercial de Borazon, por General Electric Company. Las ruedas de esmeril de CBN se usan para materiales duros, como aceros de herramienta endurecidos y aleaciones aeroespaciales.	5 000
Diamante	Los abrasivos de diamante se dan en forma natural y también pueden hacerse sintéticamente (sección 7.5.1). Las ruedas de diamante se usan generalmente en aplicaciones de esmerilado de materiales abrasivos duros, como cerámicos, carburos cementados y vidrio.	7 000

**Fuente:** GROOVER Mikell. Fundamentos de manufactura moderna.

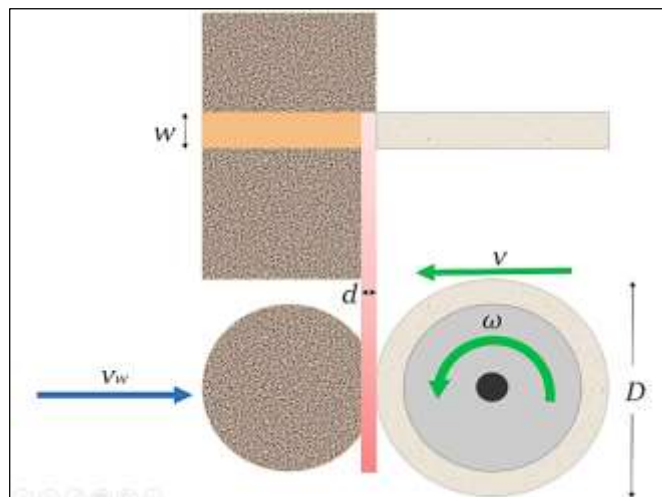
**7.2.3. Modelo para análisis del disco abrasivo de corte.** Los cálculos realizados a continuación se basan en el análisis para una muela abrasiva ya que el método de la sierra circular planteado en la GROOVER no coincide con el fenómeno físico que se desarrolla en el momento del corte.

**Figura 16.** Condiciones de corte, forma longitudinal y transversal



**Fuente:** GROOVER Mikell. Fundamentos de manufactura moderna.

**Figura 17.** Vista superior y lateral del proceso de corte



- **Calculo de la velocidad de corte**

$$V_C = N * \pi * D = 4600 \left[ \frac{rev}{min} \right] * \pi [rev] * 0.18 [m]$$

$$V_C = 2601.2 [m/min]$$

En donde:

- $V_c$ : Velocidad de corte
- $N$ : Velocidad del eje conectado al disco
- $D$ : Diámetro del disco

- **Calculo de la rata de remoción de material**

$$MRR = \frac{Vol_{rem}}{t_{rem}}$$

$$Vol_{rem} = \frac{\pi}{4} * D_{pieza}^2 * w_{disco} = \frac{\pi}{4} * (25.4 [mm])^2 * 2[mm]$$

$$Vol_{rem} = 1013 [mm^3]$$

$$MRR = \frac{1013 [mm^3]}{5 [seg] * \frac{1 [min]}{60 [seg]}}$$

$$MRR = 12161 [mm^3/min]$$

En donde:

- $MRR$ : Rata de remoción de viruta
- $Vol_{rem}$ : Volumen de viruta removido
- $T_{rem}$ : Tiempo que tarda en removerse el volumen de viruta (está definido por experimentación)

- **Calculo de la velocidad de avance transversal**

$$v_w = \frac{RMM}{w * d} = \frac{12161 [mm^3/min]}{2[mm] * 0.15[mm]}$$

$$v_w = 33.78 [mm/min]$$

En donde:

- $V_w$ : Velocidad de avance de la herramienta
- $W$ : Ancho de la herramienta
- $d$ : profundidad de corte por cada revolución.

- **Calculo del avance**

$$f_r = N * n_t * f$$

$$304.8 \left[ \frac{mm}{min} \right] = 2000 \left[ \frac{rev}{min} \right] * 14 \left[ \frac{diente}{rev} \right] * f$$

$$f = 0.01089 \left[ \frac{mm}{diente} \right]$$

En donde:

- $f$ : Avance por diente cortante
- $n_t$ : Numero de dientes del disco

- **Calculo de fuerzas**

Suponiendo un valor de dureza intermedia según la escala de Mohs y asimilando por este valor su comportamiento al de un acero aleado.

**Tabla 10.** Potencia unitaria y energía específica para diferentes materiales

Valores de la potencia unitaria en hp y energía específica para materiales seleccionados usando herramientas de corte afiladas, y espesor de la viruta antes del corte $t_0 = 0.010$ pulg (0.25 mm).				
Material	Dureza Brinell	Potencia unitaria en $hp_u$ $hp/(pulg^3/min)$	Energía específica $U$ $pulg-lb/pulg^3$	$(N-m/mm^3)$
Acero al carbono	150-200	0.6	240 000.	(1.6)
	201-250	0.8	320 000	(2.2)
	251-300	1.0	400 000	(2.8)
Aceros aleados	200-250	0.8	320 000	(2.2)
	251-300	1.0	400 000	(2.8)
	301-350	1.3	520 000	(3.6)
	351-400	1.6	640 000	(4.4)
Hierros fundidos	125-175	0.4	160 000	(1.1)
	175-250	0.6	240 000	(1.6)
Acero inoxidable	150-250	1.0	400 000	(2.8)
Aluminio	50-100	0.25	100 000	(0.7)
Aleaciones de aluminio	100-150	0.3	120 000	(0.8)
Cobre (puro)		0.7	280 000	(1.9)
Latón	100-150	0.8	320 000	(2.2)
Bronce	100-150	0.8	320 000	(2.2)
Aleaciones de magnesio	50-100	0.15	60 000	(0.4)

**Fuente:** GROOVER Mikell. Fundamentos de manufactura moderna.

- **Calculo de la potencia de corte**

$$HP_C = HP_U * MRR = 1.3 \left[ \frac{HP}{in^3/min} \right] * 12161 \left[ \frac{mm^3}{min} \right] * \left( \frac{1[in]}{25.4 [mm]} \right)^3$$

$$HP_C = 0.9647 [HP]$$

En donde:

- HPc: Potencia requerida para realizar el corte
- HPu: Potencia unitaria por unidad de volumen

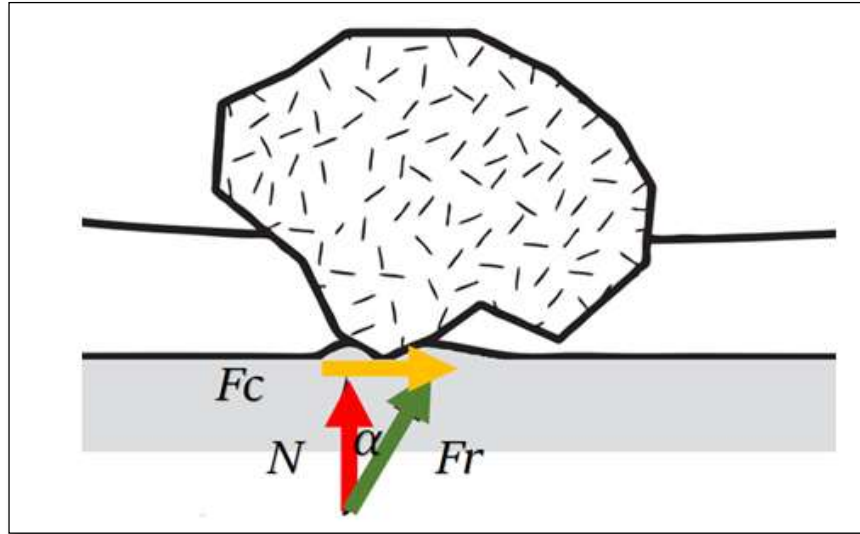
**Tabla 11.** Valores de potencia de corte para diferentes materiales

Material a cortar	Forma de la herramienta	Número de dureza Brinell	HP <sub>c</sub> /plg <sup>2</sup> ·min	
Acero al carbono ordinario	8, 14, 6, 6, 6, 6, 1/16 17	126	0.59-0.66	
		179	0.7-0.79	
		262	0.85-0.95	
Acero de corte fácil		118	0.36-0.39	
		179	0.44-0.48	
		229	0.50-0.54	
Hierro fundido		131	0.48-0.57	
		179	0.55-0.68	
		269	0.67-0.83	
		429	1.1-1.9	
Acero aleado		140	0.22-0.32	
		179	0.45-0.68	
	256	0.85-1.3		
Latón al plomo	8, 14, 6, 6, 6, 15, 0	33	0.18-0.27	
		76	0.22-0.31	
		131	0.25-0.35	
Latón sin plomo		50.9	0.54	
Aleaciones de magnesio		40.4	0.88	
Aleaciones de aluminio		32	0.088-0.1	
		49	0.094-0.11	
		68	0.1-0.12	
Metal monel		8, 14, 6, 6, 6, 15, 0	55	0.28
			159	0.26
		20, 40, 10, 10, 15, 1 0, 0	32	0.12
			94	0.15
	115		0.17-0.21	
Cobre puro	8, 14, 6, 6, 6, 15, 3/6 4	147	0.58-0.75	
		160	1.35	

**Fuente:** Memorias de clase. Universidad Industrial de Santander. Diseño de Herramientas. Isnardo Gonzales.

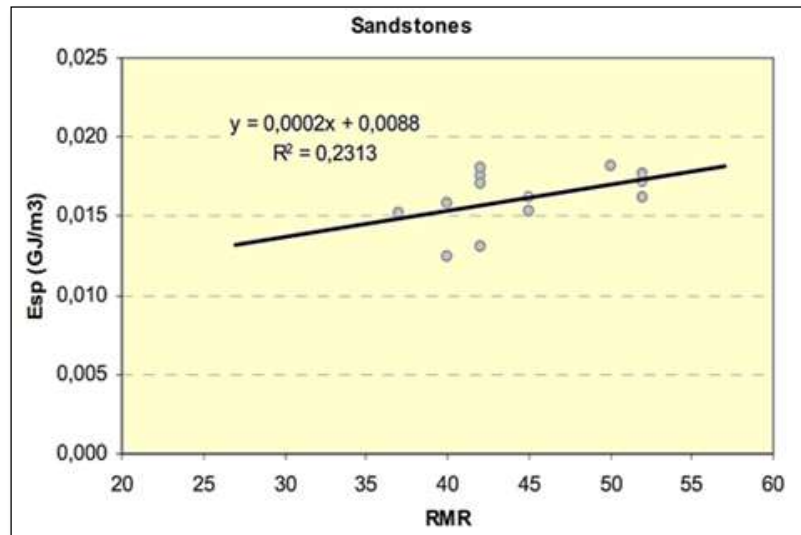
- **Calculo de la fuerza de corte**

**Figura 18.** Diagrama de fuerzas del proceso de corte de una partícula abrasiva



**Fuente:** GROOVER Mikell. Fundamentos de manufactura moderna.

**Figura 19.** Relación de Energía unitaria VS Rata de remoción de material



**Fuente:** CELADA B; GALERA J. M.; MUÑOZ C.; TARDAGULA I. Energía de perforación específica para la caracterización de la masa rocosa

$$HP_c = F_c * V_c$$

$$0.9647 [HP] = \left( F_c [Lbf] * 18.85 \left[ \frac{m}{s} \right] * \frac{1}{0.3048 \left[ \frac{ft}{m} \right]} \right) * 550$$

$$F_c = 0.00002836 [Lbf]$$

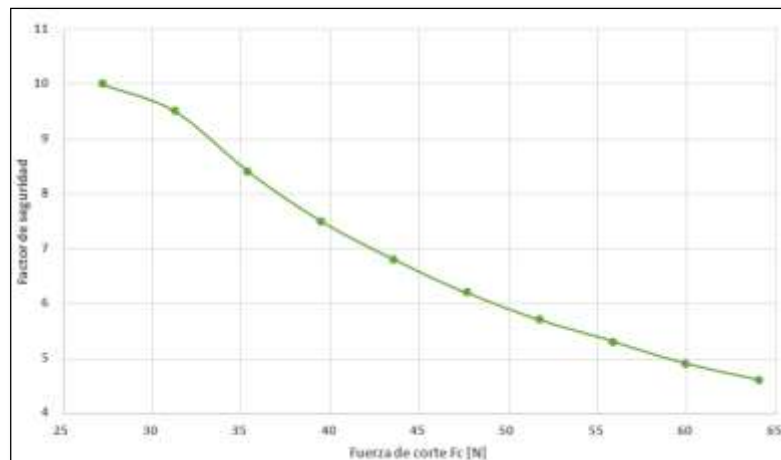
En donde:

- $V_c$ : Velocidad de corte
- $F_c$ : Fuerza de corte

**Tabla 12.** Variación de la fuerza de corte respecto a la fuerza normal

a	$\alpha$	D	U	v	Vw	Fc	N	Fr	Factor de seg.
0,0000663	35	180	1,20E+10	43,35	1.479	27,14	38,76	47,32	10
0,0000763	35	180	1,20E+10	43,35	1.479	31,24	44,61	54,46	9,5
0,0000863	35	180	1,20E+10	43,35	1.479	35,33	50,46	61,59	8,4
0,0000963	35	180	1,20E+10	43,35	1.479	39,42	56,3	68,73	7,5
0,0001063	35	180	1,20E+10	43,35	1.479	43,52	62,15	75,87	6,8
0,0001163	35	180	1,20E+10	43,35	1.479	47,61	67,99	83,01	6,2
0,0001263	35	180	1,20E+10	43,35	1.479	51,7	73,84	90,14	5,7
0,0001363	35	180	1,20E+10	43,35	1.479	55,8	79,69	97,28	5,3
0,0001463	35	180	1,20E+10	43,35	1.479	59,89	85,53	104,4	4,9
0,0001563	35	180	1,20E+10	43,35	1.479	63,99	91,38	111,6	4,6

**Figura 20.** Factor de seguridad VS Fuerza de corte



### 7.2.4. Simulación del disco de corte

Nombre de estudio: Simulación del disco de corte

Tipo de análisis: Análisis estático


**Tabla 13. Información del modelo**

			
Nombre del modelo: disco de corte			
Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Simetría1 	Sólido	Masa:0.346274 kg Volumen:4.32843e-005 m <sup>3</sup> Densidad:8000 kg/m <sup>3</sup> Peso:3.39349 N	F:\disco de corte.SLDPRT Nov 14 13:52:42 2016


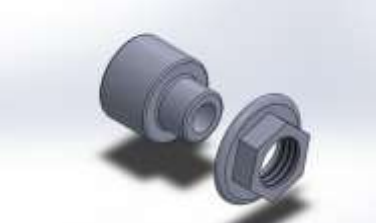
**Tabla 14. Sistema de unidades**

<b>Sistema de unidades:</b>	Métrico (MKS)
<b>Longitud/Desplazamiento</b>	mm
<b>Temperatura</b>	Kelvin
<b>Velocidad angular</b>	Rad/seg
<b>Presión/Tensión</b>	N/m <sup>2</sup>

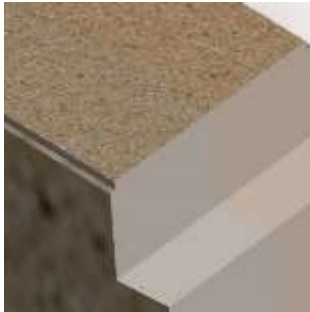
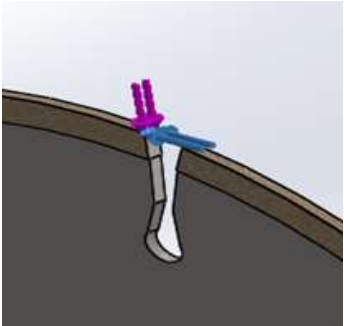

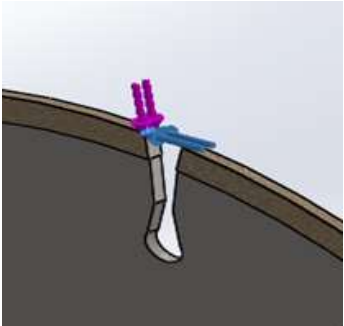
**Tabla 15.** Propiedades del material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: <b>AISI 347 Acero inoxidable recocido (SS)</b></p> <p>Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b></p> <p>Criterio de error predeterminado: <b>Tensión de von Mises máx.</b></p> <p>Límite elástico: <b>2.75e+008 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Límite de tracción: <b>6.55e+008 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Módulo elástico: <b>1.95e+011 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Coefficiente de Poisson: <b>0.27</b></p> <p>Densidad: <b>8000 kg/m<sup>3</sup></b></p> <p>Módulo cortante: <b>7.7e+010 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: <b>1.7e-005 /Kelvin</b></p>	<p><b>Sólido 1(Cortar-Extruir5)(disco de corte SIMULACIÓN)</b></p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		

**Tabla 16.** Sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		<p>Entidades: <b>2 cara(s)</b></p> <p>Tipo: <b>Geometría fija</b></p> 		
Fuerzas resultantes				
<b>Componentes</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Resultante</b>
<b>Fuerza de reacción(N)</b>	<b>21.0774</b>	<b>42.4035</b>	<b>0.016798</b>	<b>47.353</b>
<b>Momento de reacción(N.m)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

**Tabla 17. Cargas**

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga	Carga sobre el disco
Fuerza-1		<p>Entidades: 1 cara(s)                      Tipo: Aplicar fuerza normal                      Valor: 27.14 N</p>	
Fuerza-2		<p>Entidades: 1 cara(s)                      Tipo: Aplicar fuerza normal                      Valor: 38.76 N</p>	

**Tabla 18. Información de malla**

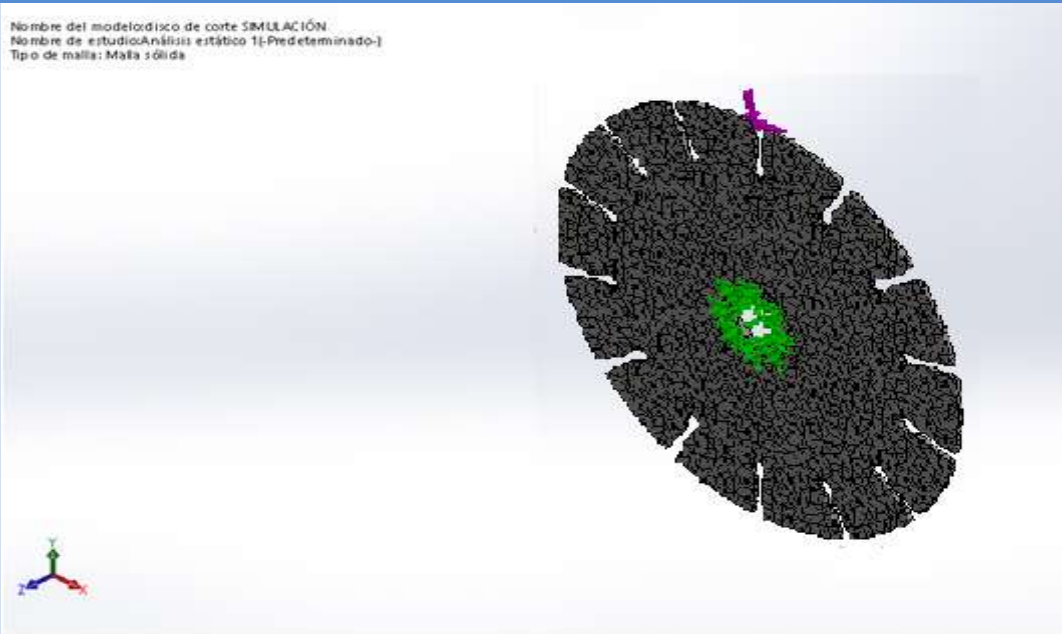
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	4.46234 mm
Tolerancia	0.223117 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

**Tabla 19.** Información de malla (Detalles)

Número total de nodos	17142
Número total de elementos	8193
Cociente máximo de aspecto	29.159
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	74.9
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.256
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:07
Nombre de computadora:	HD

Nombre del modelo: disco de corte SIMULACIÓN  
 Nombre de estudio: Análisis estático 1-[Predeterminado-]  
 Tipo de malla: Malla sólida



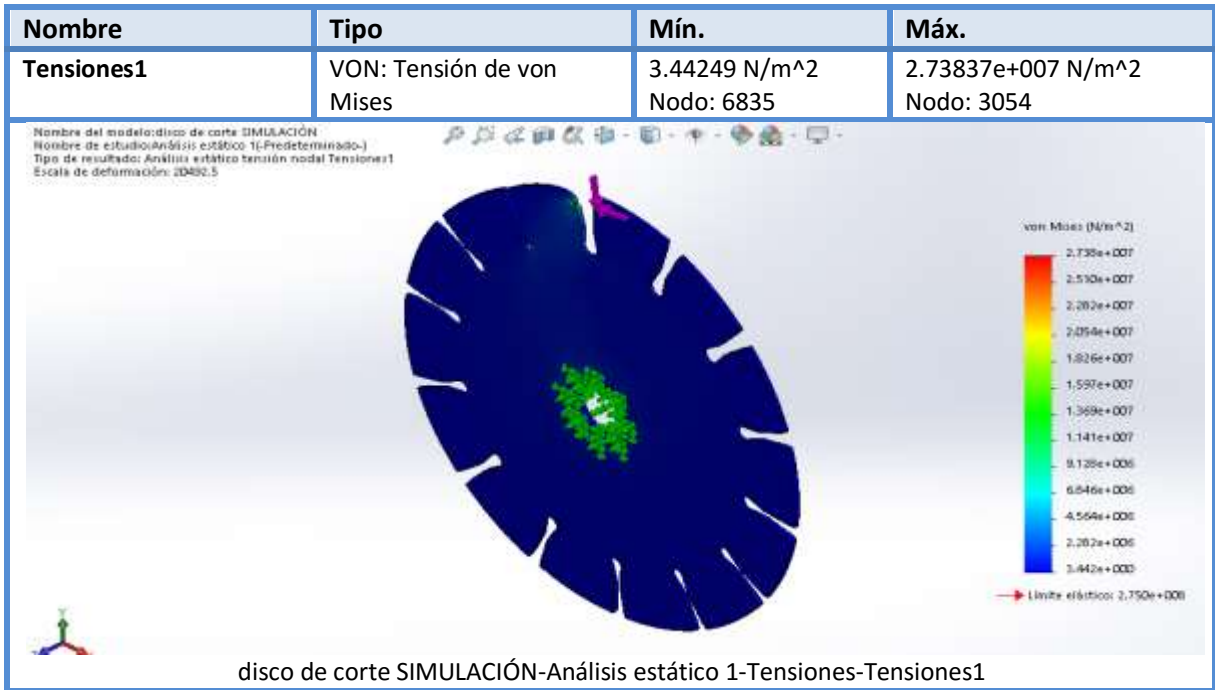
**Tabla 20.** Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	21.0774	42.4035	0.016798	47.353

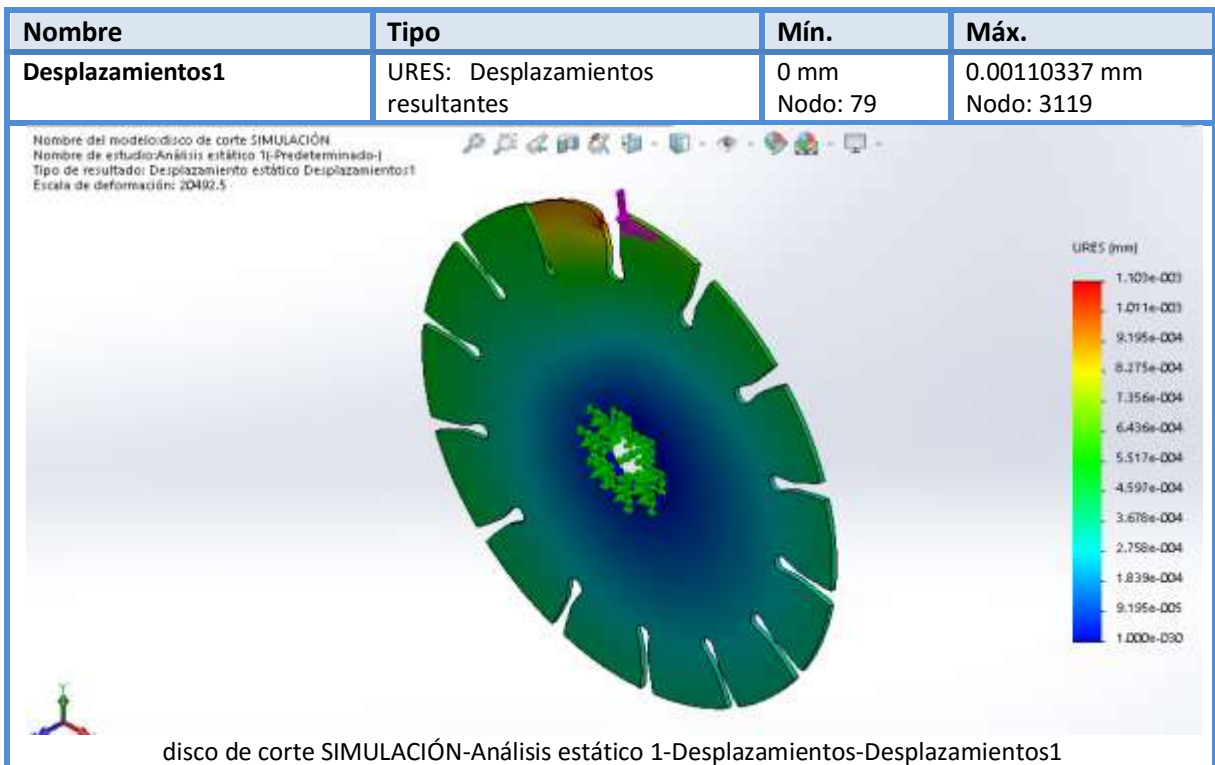
**Tabla 21.** Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

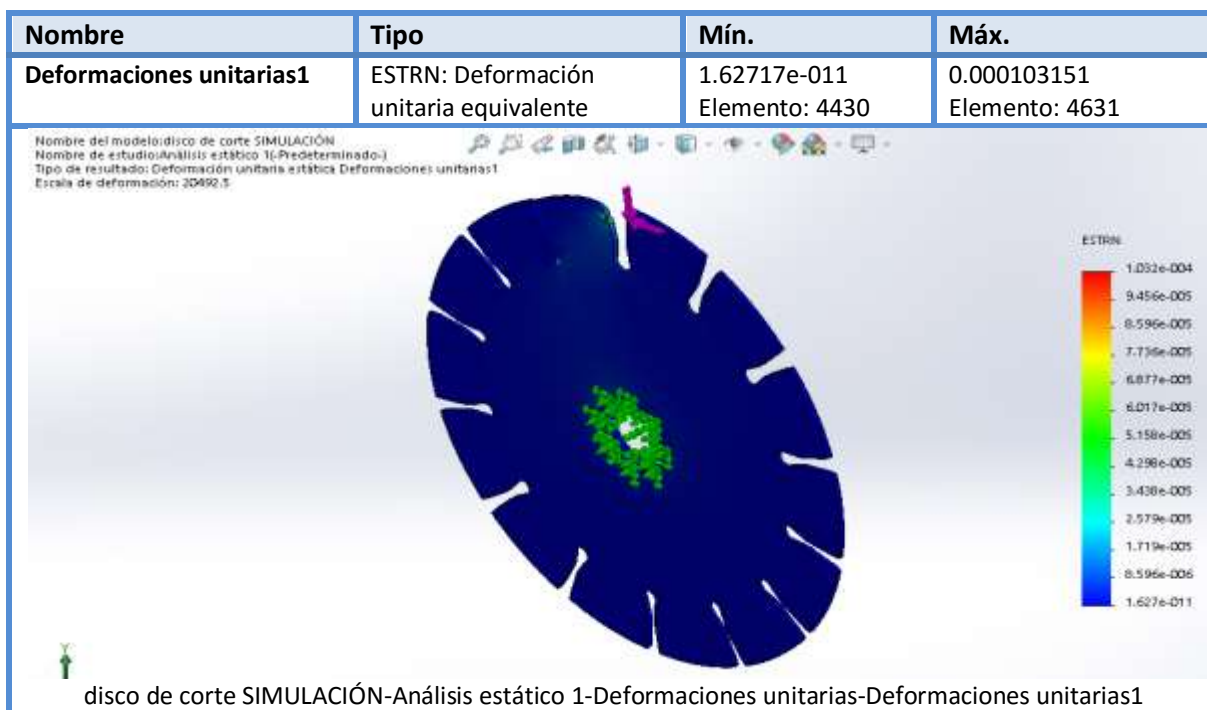
**Tabla 22. Resultados del estudio (Tensiones)**



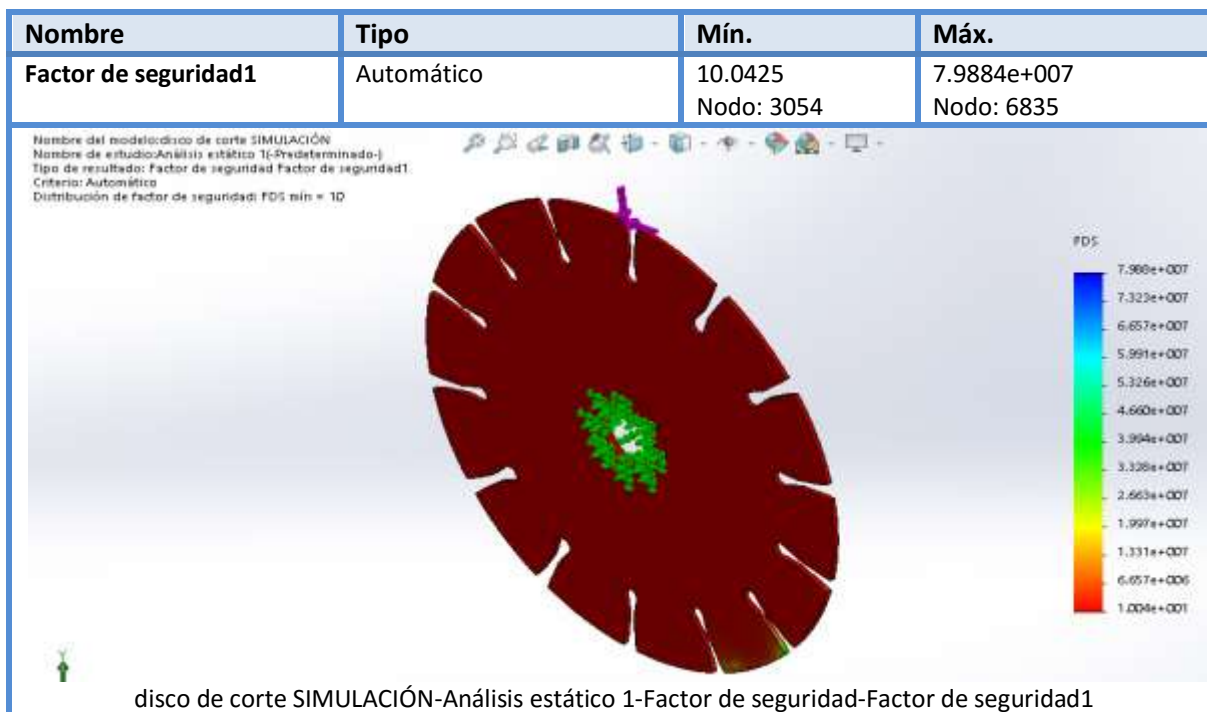
**Tabla 23. Resultados del estudio (Desplazamientos)**



**Tabla 24.** Resultados del estudio (Deformación unitaria)



**Tabla 25.** Resultados del estudio (Factor de seguridad)



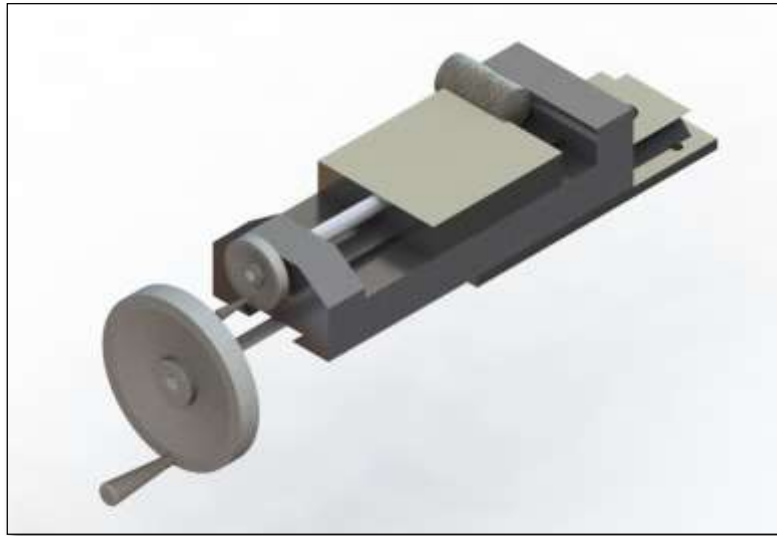
**7.2.5. Análisis del estudio.** El factor de seguridad obtenido oscila entre valores de 10 a 4,6 como se muestra en la tabla 13, siendo este un parámetro importante para la aceptación del disco de corte según el criterio de los diseñadores.

- El factor de seguridad obtenido oscila entre valores de 10 a 4,6 como se muestra en la tabla 13, siendo este un parámetro importante para la aceptación del disco de corte según el criterio de los diseñadores.
- El material seleccionado para el disco es un Acero al Manganeso Hardening, por sus buenas propiedades para la abrasión y al impacto.
- El tipo de análisis se basó en el comportamiento de una muela abrasiva ya que la herramienta tiene comportamientos similares y el recubrimiento de esa parte del disco es un material abrasivo como el diamante.
- Los cálculos de la tasa de remoción de viruta fueron sacados a partir de datos experimentales, y comprobados con las respectivas ecuaciones modeladas para muelas abrasivas.
- Se debe tener cuidado al elegir la energía específica de la roca (Figura 20) ya que de este valor depende que los resultados tengan valores físicos reales.

## 8. DISEÑO DE LA PRENSA DE AJUSTE Y CARRO DE DESPLAZAMIENTO

A través de estos elementos de máquinas, denominados también tornillos de fuerza, es posible transformar un movimiento de rotación en un movimiento rectilíneo con el objeto de transmitir fuerza o potencia.

**Figura 21.** Carro de desplazamiento, prensa de ajuste y núcleo



Teniendo en cuenta las condiciones a las que se expone el sistema durante su trabajo los tornillos se fabricaran en acero AISI 1045, donde se tiene en cuenta los siguientes datos para el proceso de cálculo.

- Densidad del acero: 7850 [Kg/m<sup>3</sup>]
- Densidad del núcleo: 2.1 a 2.8 [g/cm<sup>3</sup>]
- Módulo de elasticidad del acero: 2e11 [Pa]

Esto datos de densidad del acero se obtiene de SUMITEC<sup>12</sup>, mientras la densidad del núcleo se obtuvo de MATWEB<sup>13</sup>, donde encontramos las propiedades físicas y mecánicas para diversos materiales.

## 8.1. TORNILLO DE DESPLAZAMIENTO

Ahora tenemos lo que es el tornillo de desplazamiento el cual se encarga de dar el acercamiento de la prensa junto con el núcleo al disco de corte, el cual se fabricará en acero AISI 1045 al igual que para el tornillo de ajuste.

En este caso necesitaremos los siguientes datos para determinar los esfuerzos a los que se somete en su condición más crítica durante el proceso:

**Tabla 26.** Peso sobre la placa de desplazamiento

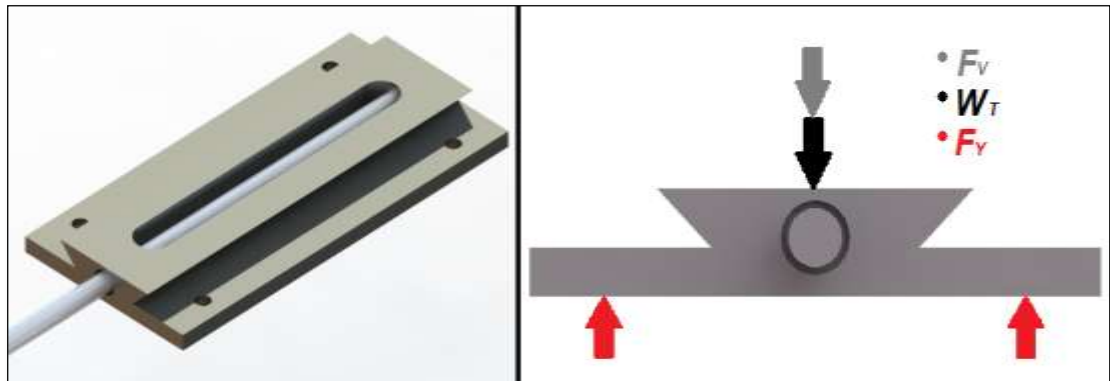
PIEZA	CANT.	VOLUMEN [cm <sup>3</sup> ]	DENSIDAD [g/cm <sup>3</sup> ]	PESO TOTAL [N]
Núcleo	1	347,5	2,80	9,73
Prensa de ajuste	1	2236,98	2,70	60,4
Carro de desplazamiento	1	428,85	2,70	11,58

**8.1.1. Análisis de fuerzas verticales.** Como se puede observar en la Figura 22 los elementos que aportan carga a la componente vertical del sistema son el carro de desplazamiento, la prensa de ajuste y la muestra a cortar, lo cual será soportado la base de desplazamiento (Para efectos de cálculo, dos puntos de contacto).

<sup>12</sup> Acero grado maquinaria, <http://www.sumiteccr.com/navegadores/sumitec.html>. 2016

<sup>13</sup> Propiedades de roca sedimentaria arenisca, <http://www.matweb.com/>. 2016

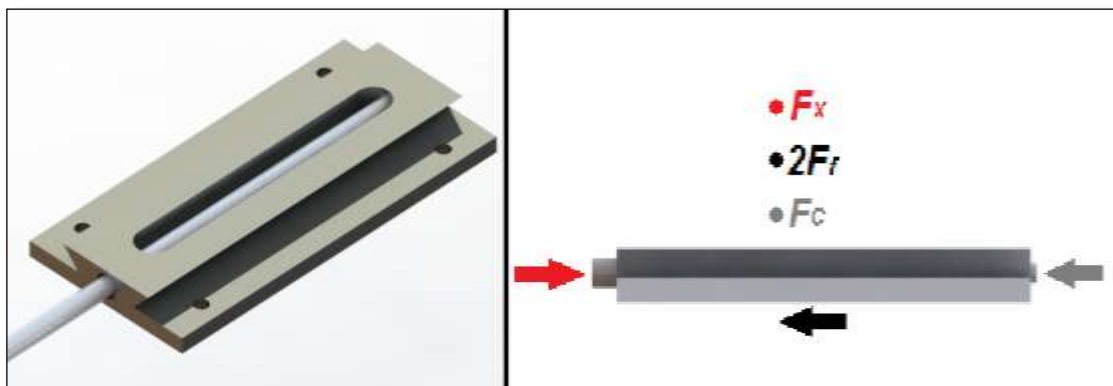
**Figura 22.** Fuerzas verticales para efectos de calculo



Para este cálculo se tendrán en cuenta posibles imprevistos a los que se pueda enfrentar el sistema creando una situación de trabajo extremo, por lo cual se tendrá en cuenta la fuerza que ejerce el proceso de corte para la roca más dura. Estos cálculos se realizaron en la etapa de diseño del disco de corte, donde tomaremos como valor de referencia la fuerza normal máxima según la Tabla 12.

**8.1.2. Análisis de fuerzas horizontales.** En este caso tendremos como pauta principal la fricción en los dos puntos de apoyo, para nuestro caso y para efectos de cálculo se considerará como dos superficies en contacto.

**Figura 23.** Fuerzas horizontales para efectos de calculo



Tenemos entonces según las tablas de coeficiente de fricción entre dos superficies de la física de SERWAY<sup>14</sup> y los apuntes de clase un valor estimado para contacto entre aceros sin lubricación de 0.25.

Igual que para el caso de las fuerzas verticales también tendremos en cuenta para este cálculo la fuerza de corte obtenida, según la Tabla 12.

**Tabla 27.** Análisis de fuerzas verticales y horizontales sobre la placa.

PARAMETRO	ECUACIONES	RESULTADOS
Peso total sobre la placa	$W_{TOTAL} = W_N + W_{CD} + W_{PA}$	$W_{TOTAL} = 81,7 \text{ [N]}$
Fuerzas Verticales	$(+ \uparrow) \Sigma Y = 0$ $2 * F_Y - W - F_V = 0$	$F_Y = 86,54 \text{ [N]}$
Coeficiente de fricción	$\mu_{ESTATICO} = 1,33 * \mu_{DINAMICO}$ $\mu_{DINAMICO} = 0,25$	$\mu_{ESTATICO} = 0,3325$
Fuerza de fricción	$F_f = F_Y * \mu_{ESTATICO}$	$F_f = 28,78 \text{ [N]}$
Fuerzas Horizontales	$(+ \rightarrow) \Sigma X = 0$ $F_X - 2 * F_f - F_C = 0$	$F_X = 121,5 \text{ [N]}$

En donde:

- $F_Y$ : Fuerza sobre la base de desplazamiento
- $W$ : Peso total soportado
- $F_V$ : Fuerza vertical en el proceso de corte
- $F_X$ : Fuerza en el tornillo
- $F_f$ : Fuerza de fricción
- $F_C$ : Fuerza de corte

<sup>14</sup> SERWAY Raymond & JEWETT John. (2008). *Física para ciencias e ingeniería*. México: Cengage Learning

**8.1.3. Geometría del tornillo.** De los cálculos anteriores se tiene la fuerza requerida por el tornillo para mover el total de la carga dispuesta sobre la placa de desplazamiento, tras lo cual se procede a dimensionar y estandarizar el tornillo con el que se trabajara el cual cuenta con una longitud de total de 50 [cm] de los cuales 26 [cm] están maquinados para la rosca.

**Tabla 28.** Diámetro mínimo requerido por el tornillo de desplazamiento

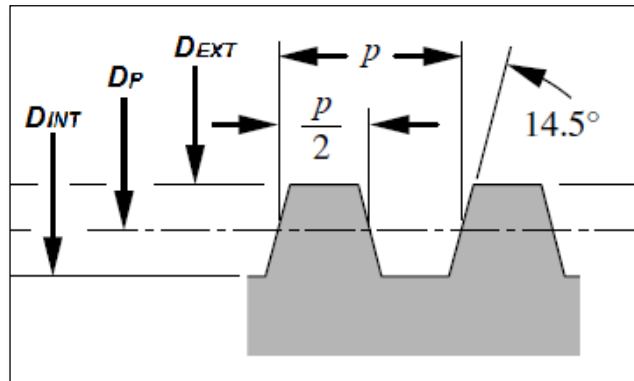
PARAMETRO	ECUACIONES	RESULTADOS
Fuerza critica	$F_{CRITICA} = N * F_x$ $N = 3 \text{ (Factor de Seguridad)}$	$F_{CRITICA} = 607,4 \text{ [N]}$
Inercia resultante	$F_{CRITICA} = \frac{\pi * E * I}{L^2}$	$I = 2,08 * 10^{-11} \text{ [m}^4\text{]}$
Diámetro minimo	$I = \frac{\pi * D^4}{64}$	$D = 0,0045 \text{ [m]}$

El diámetro mínimo requerido por el tornillo para realizar su trabajo es de aproximadamente 0,2 [in], sin embargo es necesario llevar estos resultados a tamaño estándar para roscas ACME<sup>15</sup>.

- Diámetro externo ( $D_{EXT}$ ): 1/4 [in]
- Hilos: 16
- Paso: 0,063 [in]
- Diámetro de paso ( $D_P$ ): 0,219 [in]
- Diámetro interno ( $D_{INT}$ ): 0,188 [in]

<sup>15</sup> ACME, Rosca diseñada para sustituir la rosca cuadrada, es más resistente, fácil de tallar y permite el uso de una tuerca partida o de desembrague.

**Figura 24.** Rosca ACME para tornillo de potencia



**Fuente:** NORTON Robert. Diseño de maquinas

De la geometría que se determina para el tornillo, se debe comprobar por recomendación que el esfuerzo critico no supere al  $S_Y/2$ .

**Tabla 29.** Geometría del tornillo de desplazamiento

PARAMETRO	ECUACIONES	RESULTADOS
Diámetro de Raíz	$D_R = D_N - 2 * h$ $D_N = D_{NORMALIZADO} / D_{CALCULADO}$	$D_R = 0,03171[m]$
Altura del diente	$h = D_P - D_{INT}$	$h = 0,0007874 [m]$
Diámetro M.	$D_M = D_N - h$	$D_M = 0,003096 [m]$
Diámetro Eq.	$D_{EQ} = \frac{D_R + D_M}{2}$	$D_{EQ} = 0,03134 [m]$
Factor 1	$C = \frac{D_{EQ}}{2}$	$C = 0,01567$
Factor 2	$R_G = \frac{D_{EQ}}{4}$	$R_G = 0,007834$
Factor 3	$ex = \frac{L}{400}$	$ex = 0,00065$
Area Transversal	$A = \frac{\pi * D_{EQ}^2}{4}$	$A = 0,0007712 [m^2]$

Con los valores calculados anteriormente se calcula el esfuerzo critico

$$\sigma_{CRITICO} = \frac{F_{CRITICA}}{A} * \left[ 1 + \frac{L * C}{400 * R_G^2} * Sec \left( \frac{L}{R_G} * \sqrt{\frac{F_{CRITICA}}{4 * E * A}} \right) \right]$$

Para el desarrollo de esta ecuación se debe tener en cuenta que el valor dentro de la función secante debe estar definido en radianes.

$$\sigma_{CRITICO} = 918273 [Pa]$$

Se realiza ahora la comparación entre los dos valores

$$\frac{S_Y}{2} = \sigma_{CRITICO}$$

$$\frac{379223155}{2} - 918273 = 1,88 * 10^8 [Pa]$$

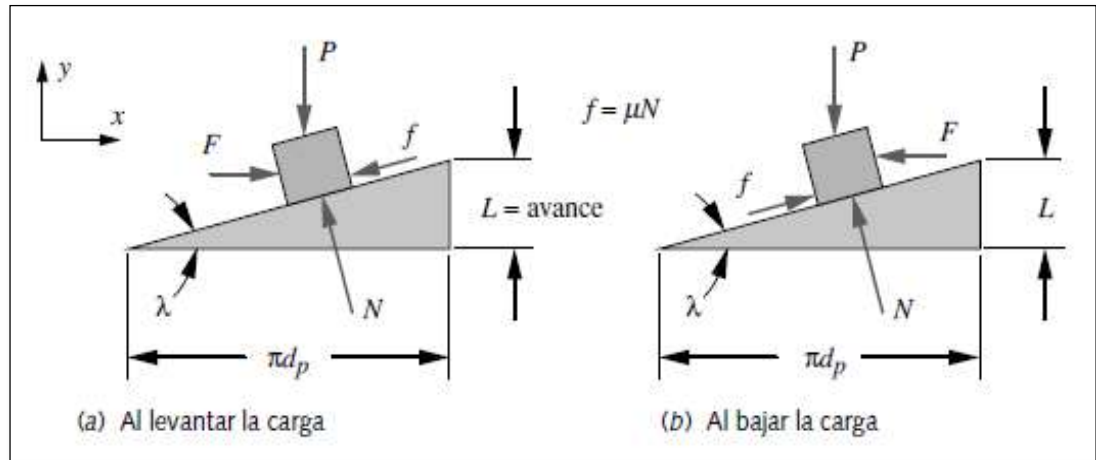
Donde se puede observa que efectivamente el  $\sigma_{CRITICO}$  se encuentra dentro de los valores recomendados.

**8.1.4. Prueba del factor de seguridad.** En esta parte se debe comprobar que el factor de seguridad sea 2 o superior según recomendación, de lo contrario se debe recurrir a un valor de diámetro normalizado mayor al escogido inicialmente.

- **Calculo de esfuerzos medios, alternantes y condición de autobloqueo**

En este paso es importante definir los valores del ángulo de avance, ángulo de hélice y coeficiente de fricción estático para el cálculo de esfuerzos.

**Figura 25.** Análisis de fuerzas en el punto de contacto tornillo - tuerca



**Fuente:** NORTON Robert. Diseño de maquinas

De igual forma para este equipo es necesario que se de la condición de autobloqueo, la cual se puede establecer de la relación entre coeficiente de fricción y el ángulo de avance del tornillo de la siguiente manera:

$$\mu \geq \frac{\text{Paso}}{\pi * D_p} * \text{Cos}(\alpha)$$

$$0,3325 \geq 0,089$$

Tras lo cual se confirma que los parámetros seleccionados inicialmente para el tornillo brindan la condición de autobloqueo

Ahora se determina inicialmente los esfuerzo máximos y mínimos, pero ya que la fuerza al momento del corte en sentido contrario a la realizada por el tornillo es mínima, se considera despreciable por lo cual el  $\sigma_{\text{MIN}} = 0$ .

**Tabla 30.** Calculo de esfuerzos en el tornillo de desplazamiento

PARAMETRO	ECUACIONES	RESULTADOS
Esfuerzo máximo	$\sigma_{MAX} = \frac{F_{TORNILLO}}{A} * \left[ 1 + \frac{ex * C}{R_G^2} * \frac{1}{\cos\left(\frac{L}{2 * R_G}\right) * \sqrt{\frac{F_{TORNILLO}}{E * A}}}\right]$	$\sigma_{MAX} = 3,089 * 10^7 \left[\frac{N}{m^2}\right]$
Esfuerzo mínimo	$\sigma_{MIN} = 0$	$\sigma_{MIN} = 0 \left[\frac{N}{m^2}\right]$
Esfuerzo medio	$\sigma_{MEDIO} = \frac{\sigma_{MAX} + \sigma_{MIN}}{2}$	$\sigma_{MEDIO} = 1,54 * 10^7 \left[\frac{N}{m^2}\right]$
Esfuerzo alternante	$\sigma_{ALT} = \frac{\sigma_{MAX} - \sigma_{MIN}}{2}$	$\sigma_{ALT} = 1,54 * 10^7 \left[\frac{N}{m^2}\right]$
Angulo de Avance	$\tan\lambda = \frac{Paso}{\pi * D_p}$	$\lambda = 19,6$
Torque de subida	$T_S = \frac{D_M * F_{CRITICA}}{2} * \left[ \frac{\mu + \cos\lambda * \tan\alpha}{\cos\lambda - \mu * \tan\alpha} \right]$	$T_S = 16,84 [N * m]$
Torque de bajada	$T_B = \frac{D_M * F_{CRITICA}}{2} * \left[ \frac{\mu - \cos\lambda * \tan\alpha}{\cos\lambda + \mu * \tan\alpha} \right]$	$T_B = 3,21 [N * m]$
Tao maximo	$\tau_{MAX} = \frac{16 * T_S}{\pi * D_{EQ}^3}$	$\tau_{MAX} = 2,787 * 10^6 \left[\frac{N}{m^2}\right]$
Tao minimo	$\tau_{MIN} = \frac{16 * T_B}{\pi * D_{EQ}^3}$	$\tau_{MIN} = 5,313 * 10^5 \left[\frac{N}{m^2}\right]$
Tao medio	$\tau_{MEDIO} = \frac{\tau_{MAX} + \tau_{MIN}}{2}$	$\tau_{MEDIO} = 1,65 * 10^6 \left[\frac{N}{m^2}\right]$
Tao alternante	$\tau_{ALT} = \frac{\tau_{MAX} - \tau_{MIN}}{2}$	$\tau_{ALT} = 1,12 * 10^6 \left[\frac{N}{m^2}\right]$

- **Calculo de resistencia a la fatiga modificada**

En esta parte se calcula el  $S_e$  del material para una vida finita según diversos factores que llevarán el comportamiento del material a valores más cercanos a la realidad del proceso. A continuación, se presentan los factores que intervienen.

- Factor de carga ( $k_L$ ): 1
- Factor de acabado superficial ( $k_S$ ): 1
- Factor de temperatura ( $k_T$ ): 3,8
- Factor de confiabilidad ( $k_C$ ): 0,81
- Factor de efectos misceláneos ( $k_M$ ): 0,8
- Factor de tamaño:  $k_D = \frac{1,182}{(D_{EQ} * 1000)^{0,112}} = 0,8$

Se calcula el esfuerzo a la fluencia corregido, de donde se tiene:

$$S_E' = 0,5 * S_Y$$

$$S_E' = 1,89 * 10^8 [Pa]$$

Una vez definido el esfuerzo a la fluencia corregido y los factores anteriores se procede a determinar la resistencia a la fatiga modificada.

$$S_{EMOD} = S_E' * k_L * k_S * k_T * k_C * k_M * k_D$$

$$S_{EMOD} = 3,735 * 10^8 [Pa]$$

Se asumen  $10^6$  ciclos con lo que se podrá hallar el valor del material final  $S_{UCICLOS}$  (el cual tiene en cuenta el desgaste según la cantidad de veces que se realice el trabajo durante la vida útil del equipo). Se toma un numero de ciclos estimado de 7, obteniendo el siguiente resultado.

$$\frac{5132 - S_{UCICLOS}}{5132 - S_{EMOD}} = \frac{7 - 3}{3}$$

$$S_{UCICLOS} = 4,979 * 10^8 [Pa]$$

Finalmente, con los cálculos anteriores ya se tienen todos los parámetros necesarios para comprobar el factor de seguridad para las dimensiones del tornillo normalizado que se escogió inicialmente.

$$\frac{1}{N} = \left[ \left( \frac{\sigma_{MEDI0}}{S_Y} + \frac{K_f * \sigma_{ALT}}{S_{UCICLOS}} \right)^2 + 3 * \left( \frac{\tau_{MEDI0}}{S_Y} + \frac{K_{fs} * \tau_{ALT}}{S_{UCICLOS}} \right)^2 \right]^{0,5}$$

$$N = 8,7$$

Con este resultado se considera que el tornillo seleccionado cumple con la recomendación para el factor de seguridad y por consiguiente cualquier otro tornillo de diámetro superior a este presentara un factor de seguridad aceptable.

**8.1.5. Condición de esbeltez mecánica.** La condición de esbeltez mecánica servirá para considerar si el tornillo de potencia seleccionado es propenso a efectos de pandeo, si el valor de esbeltez obtenido es inferior a 89 se considera que la falla se producirá muy probablemente por problemas de resistencia mecánica, sin embargo, si el valor de esbeltez es superior a 89 la falla seguramente se producirá por efectos de pandeo.

**Tabla 31.** Relación de esbeltez para el tornillo de desplazamiento

PARAMETRO	ECUACIONES	RESULTADOS
Longitud Efectiva	$Le = 2 * L$	$Le = 1$
Radio de giro	$i = \frac{I}{A}$	$i = 0,00163$
Esbeltez mecánica	$\gamma = \frac{Le}{i}$	$\gamma = 613,9$

La relación de esbeltez mecánica obtenida es bastante alta, por lo cual se recomienda recalcular para un diámetro normalizado mayor a 1/4 [in]

A continuación, se presenta una tabla paramétrica, desarrollada para los diferentes valores de diámetro normalizado para roscas ACME.

**Tabla 32.** Relación de esbeltez para diferentes roscas ACME

DEXT [in]	HILOS	PASO [in]	DP [in]	DINT [in]	RELACION DE ESBELTEZ
0,250	16	0,063	0,219	0,188	613
0,375	12	0,083	0,333	0,292	273,7
0,500	10	0,100	0,450	0,400	154,3
0,625	8	0,125	0,563	0,500	98,71
0,750	6	0,167	0,667	0,583	68,39
1	5	0,200	0,900	0,800	38,57

Entonces el tornillo seleccionado para el carro de desplazamiento será de 3/4 [in].

## 8.2. TORNILLO DE AJUSTE

Este tornillo hace parte de la prensa de ajuste, la cual se encarga de mantener la muestra en la posición deseada durante el proceso de corte.

El procedimiento de cálculo para este es similar al realizado para el tornillo de desplazamiento con la diferencia de su longitud y valor de la fuerza aplicada donde los resultados se observan en las siguientes tablas.

**Tabla 33.** Análisis de fuerzas verticales y horizontales sobre la prensa de ajuste.

PARAMETRO	ECUACIONES	RESULTADOS
Peso total sobre la prensa	$W_{TOTAL} = W_{PA}$	$W_{TOTAL} = 60,4 \text{ [N]}$
Fuerzas Verticales	$(+ \uparrow) \Sigma Y = 0$ $F_Y - W - F_V = 0$	$F_Y = 75,89 \text{ [N]}$
Coefficiente de fricción	$\mu_{ESTATICO} = 1,33 * \mu_{DINAMICO}$ $\mu_{DINAMICO} = 0,25$	$\mu_{ESTATICO} = 0,3325$
Fuerza de fricción	$F_f = F_Y * \mu_{ESTATICO}$	$F_f = 25,23 \text{ [N]}$
Fuerzas Horizontales	$(+ \rightarrow) \Sigma X = 0$ $F_X - F_f - F_c = 0$	$F_X = 114,4 \text{ [N]}$

**Tabla 34.** Diámetro mínimo requerido por el tornillo de ajuste

PARAMETRO	ECUACIONES	RESULTADOS
Fuerza critica	$F_{CRITICA} = N * F_X$ $N = 3 \text{ (Factor de Seguridad)}$	$F_{CRITICA} = 572 \text{ [N]}$
Inercia resultante	$F_{CRITICA} = \frac{\pi * E * I}{L^2}$	$I = 6,520 * 10^{-11} \text{ [m}^4\text{]}$
Diámetro minimo	$I = \frac{\pi * D^4}{64}$	$D = 0,003395 \text{ [m]}$

El diámetro mínimo requerido por el tornillo para realizar su trabajo es de aproximadamente 0,15 [in], el cual en tamaño estándar para roscas ACME será:

- Diámetro externo ( $D_{EXT}$ ): 1/4 [in]
- Hilos: 16
- Paso: 0,063 [in]
- Diámetro de paso ( $D_P$ ): 0,219 [in]
- Diámetro interno ( $D_{INT}$ ): 0,188 [in]

**Tabla 35.** Geometría del tornillo de ajuste

PARAMETRO	ECUACIONES	RESULTADOS
Diámetro de Raíz	$D_R = D_N - 2 * h$ $D_N = D_{NORMALIZADO} / D_{CALCULADO}$	$D_R = 0,04229[m]$
Altura del diente	$h = D_P - D_{INT}$	$h = 0,0007874 [m]$
Diámetro M.	$D_M = D_N - h$	$D_M = 0,04155 [m]$
Diámetro Eq.	$D_{EQ} = \frac{D_R + D_M}{2}$	$D_{EQ} = 0,04192 [m]$
Factor 1	$C = \frac{D_{EQ}}{2}$	$C = 0,02096$
Factor 2	$R_G = \frac{D_{EQ}}{4}$	$R_G = 0,01048$
Factor 3	$ex = \frac{L}{400}$	$ex = 0,000375$
Area Transversal	$A = \frac{\pi * D_{EQ}^2}{4}$	$A = 0,00138 [m^2]$

Con los datos geométricos del tornillo se calcula el esfuerzo crítico:

$$\sigma_{CRITICO} = \frac{F_{CRITICA}}{A} * \left[ 1 + \frac{L * C}{400 * R_G^2} * Sec \left( \frac{L}{R_G} * \sqrt{\frac{F_{CRITICA}}{4 * E * A}} \right) \right]$$

$$\sigma_{CRITICO} = 444095 [Pa]$$

Se realiza ahora la comparación entre los dos valores

$$\frac{S_Y}{2} = \sigma_{CRITICO}$$

$$\frac{379223155}{2} - 444095 = 1,89 * 10^9 [Pa]$$

Donde se puede observar que efectivamente el  $\sigma_{CRITICO}$  se encuentra dentro de los valores recomendados.

**Tabla 36.** Calculo de esfuerzos en el tornillo de ajuste

PARAMETRO	ECUACIONES	RESULTADOS
Esfuerzo máximo	$\sigma_{MAX} = \frac{F_{TORNILLO}}{A} * \left[ 1 + \frac{ex * C}{R_G^2} * \frac{1}{\cos\left(\frac{L}{2 * R_G}\right) * \sqrt{\frac{F_{TORNILLO}}{E * A}}}\right]$	$\sigma_{MAX} = 9,37 * 10^6 \left[\frac{N}{m^2}\right]$
Esfuerzo minimo	$\sigma_{MIN} = 0$	$\sigma_{MIN} = 0 \left[\frac{N}{m^2}\right]$
Esfuerzo medio	$\sigma_{MEDIO} = \frac{\sigma_{MAX} + \sigma_{MIN}}{2}$	$\sigma_{MEDIO} = 4,68 * 10^6 \left[\frac{N}{m^2}\right]$
Esfuerzo alternante	$\sigma_{ALT} = \frac{\sigma_{MAX} - \sigma_{MIN}}{2}$	$\sigma_{MEDIO} = 4,68 * 10^6 \left[\frac{N}{m^2}\right]$
Angulo de Avance	$\tan\lambda = \frac{Paso}{\pi * D_p}$	$\lambda = 19,6$
Torque de subida	$T_S = \frac{D_M * F_{CRITICA}}{2} * \left[ \frac{\mu + \cos\lambda * \tan\alpha}{\cos\lambda - \mu * \tan\alpha} \right]$	$T_S = 21,28 [N * m]$
Torque de bajada	$T_B = \frac{D_M * F_{CRITICA}}{2} * \left[ \frac{\mu - \cos\lambda * \tan\alpha}{\cos\lambda + \mu * \tan\alpha} \right]$	$T_B = 4,05 [N * m]$
Tao maximo	$\tau_{MAX} = \frac{16 * T_S}{\pi * D_{EQ}^3}$	$\tau_{MAX} = 1,471 * 10^6 \left[\frac{N}{m^2}\right]$
Tao minimo	$\tau_{MIN} = \frac{16 * T_B}{\pi * D_{EQ}^3}$	$\tau_{MIN} = 2,804 * 10^5 \left[\frac{N}{m^2}\right]$
Tao medio	$\tau_{MEDIO} = \frac{\tau_{MAX} + \tau_{MIN}}{2}$	$\tau_{MEDIO} = 8,75 * 10^5 \left[\frac{N}{m^2}\right]$
Tao alternante	$\tau_{ALT} = \frac{\tau_{MAX} - \tau_{MIN}}{2}$	$\tau_{ALT} = 5,95 * 10^5 \left[\frac{N}{m^2}\right]$

De igual forma al trabajar con un diámetro normalizado de 1/4 [in] la condición de autobloqueo en este tornillo se cumplirá:

$$\mu \geq \frac{Paso}{\pi * D_p} * \cos(\alpha)$$

$$0,3325 \geq 0,089$$

Se calcula el  $S_e$  del material para una vida finita, asumiendo  $10^6$  ciclos con lo que se podrá hallar el valor del material final  $S_{UCICLOS}$  igual que para el tornillo de desplazamiento donde se obtiene:

$$S_{EMOD} = S_E' * k_L * k_S * k_T * k_C * k_M * k_D$$

$$S_{EMOD} = 3,735 * 10^8 [Pa]$$

$$S_{UCICLOS} = 4,979 * 10^8 [Pa]$$

Finalmente se tienen todos los parámetros necesarios para comprobar el factor de seguridad para las dimensiones del tornillo normalizado que se escogió inicialmente.

$$\frac{1}{N} = \left[ \left( \frac{\sigma_{MEDIO}}{S_Y} + \frac{K_f * \sigma_{ALT}}{S_{UCICLOS}} \right)^2 + 3 * \left( \frac{\tau_{MEDIO}}{S_Y} + \frac{K_{fs} * \tau_{ALT}}{S_{UCICLOS}} \right)^2 \right]^{0,5}$$

$$N = 28,15$$

Con este resultado se observa que las condiciones de trabajo a las que se enfrenta el sistema son de baja exigencia, respecto a las propiedades mecánicas que ofrece el material con el que se fabricara.

Se procede ahora con el cálculo de la esbeltez mecánica para lo cual se presenta una tabla paramétrica, desarrollada para los diferentes valores de diámetro normalizado para roscas ACME.

**Tabla 37.** Relación de esbeltez para el tornillo de ajuste

<b>DEXT [in]</b>	<b>HILOS</b>	<b>PASO [in]</b>	<b>DP [in]</b>	<b>DINT [in]</b>	<b>RELACION DE ESBELTEZ</b>
0,250	16	0,063	0,219	0,188	329,6
0,375	12	0,083	0,333	0,292	146,8
0,500	10	0,100	0,450	0,400	82,71
0,625	8	0,125	0,563	0,500	52,93
0,750	6	0,167	0,667	0,583	36,69
1	5	0,200	0,900	0,800	60,68

De los resultados obtenidos para los cálculos del tornillo de ajuste se decide la fabricación para un diámetro externo de 5/8 [in].

## 9. DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Como se menciona en la sección de módulos de interés y principios de funcionamiento del equipo el sistema de refrigeración será diseñado principalmente para el suministro de refrigerante.

### 9.1. SELECCIÓN DE LA TUBERIA

El material seleccionado para las tuberías de transporte del fluido por el sistema es una manguera de PVC clara pues el sistema está sometido a vibraciones inducidas por el motor y al transportar un fluido con partículas de roca se podría visualizar mejor si existe alguna obstrucción, pensando en las labores de mantenimiento.

Como consideración inicial se parte de tubería de 1/2 [in] y una longitud aproximada total de 1,7 [m].

**Tabla 38.** Caudal requerido por el sistema

PARAMETRO	ECUACIONES	RESULTADOS
Velocidad de operación	$V_{OP} = 0,25$	$V_{OP} = 0,25 \left[ \frac{m}{s} \right]$
Area del tubo	$A = \frac{\pi * D^2}{4}$	$A = 0,0001267 [m^2]$
Caudal	$Q = V_{OP} * A$	$Q = 0,000033 \left[ \frac{m^3}{s} \right]$

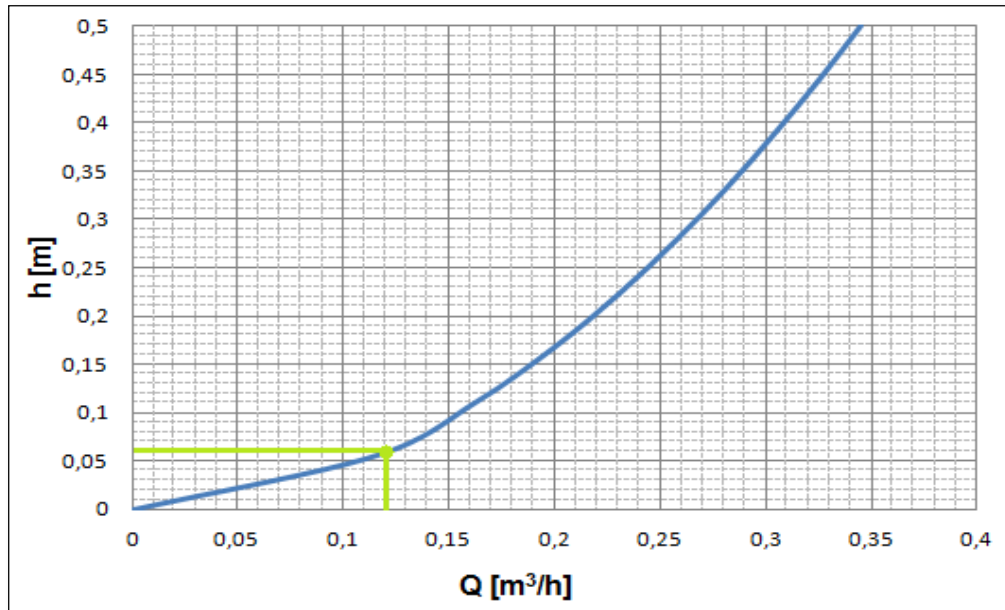
Con el valor del caudal ahora se calculan las pérdidas en el sistema, teniendo en cuenta las propiedades de la tubería y el fluido, donde se tiene la rugosidad  $1,5 \times 10^{-6}$  [m] y la viscosidad cinemática del fluido  $1,004 \times 10^{-6}$  [m<sup>2</sup>/s].

**Tabla 39.** Cálculo de pérdidas en tubería y accesorios

PARAMETRO	ECUACIONES	RESULTADOS
Perdidas longitudinales en la tubería	$h_f = 0,0214$	$h_f = 0,0214$ [m]
Valvula de globo	$h_{VG} = k_{VG} * \frac{v^2}{2g}$ $k_{VG} = 10$	$h_{VG} = 0,03528$ [m]
Union roscada	$h_{UR} = k_{UR} * \frac{v^2}{2g}$ $k_{UR} = 0,25$	$h_{UR} = 0,000882$ [m]
Boquilla	$h_B = k_B * \frac{v^2}{2g}$ $k_B = 0,85$	$h_B = 0,002999$ [m]
Perdida total	$h_{ft} = h_f + h_{VG} + h_{UR} + h_B$	$h_{ft} = 0,06056$ [m]

Obtenidos los valores de cabeza de pérdidas y el caudal se determina la curva característica del sistema  $h=k*Q^2$ , donde  $k= 4,207$  como se muestra en la siguiente gráfica.

**Figura 26.** Curva característica del sistema  $h_{ft}=4,207*Q^2$

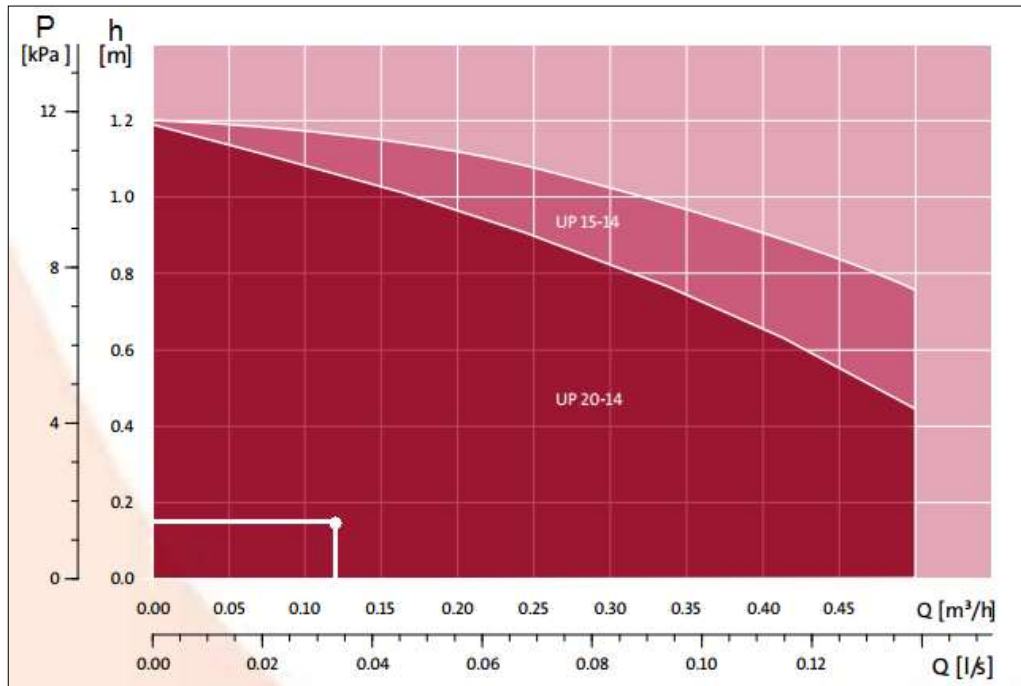


## 9.2. SELECCIÓN DE LA BOMBA

Para la bomba se toma en cuenta la información disponible en catálogos de los diferentes proveedores disponibles a nivel nacional. La empresa GRUNDFOS<sup>16</sup> posee un amplio catálogo de productos donde la serie Grundfos Comfort UP-N se aproxima más a las necesidades del sistema en cuanto a caudal y requerimientos del sistema.

<sup>16</sup> GRUNDFOS Colombia S.A.S. Grundfos es uno de los principales fabricantes mundiales de bombas.

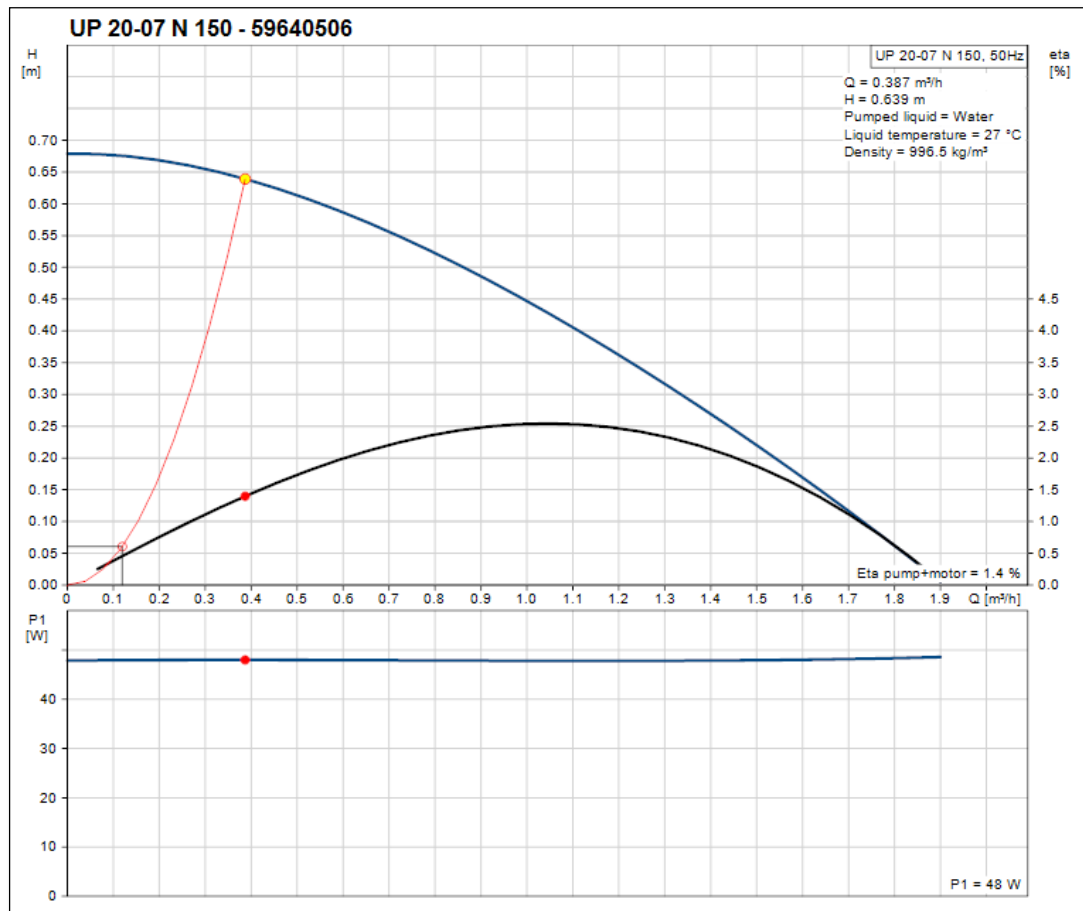
**Figura 27.** Curvas características de la gama COMFORT



**Fuente:** Grundfos Colombia S.A.S. <http://co.grundfos.com/products/find-product/comfort.html#brochures>

Para definir completamente la bomba del sistema se debe determinar la potencia del motor, para este caso se utiliza el software de apoyo que brinda la empresa como se muestra en la siguiente gráfica.

**Figura 28.** Curva de la bomba



**Fuente:** Grundfos Colombia S.A.S. <https://product-selection.grundfos.com>

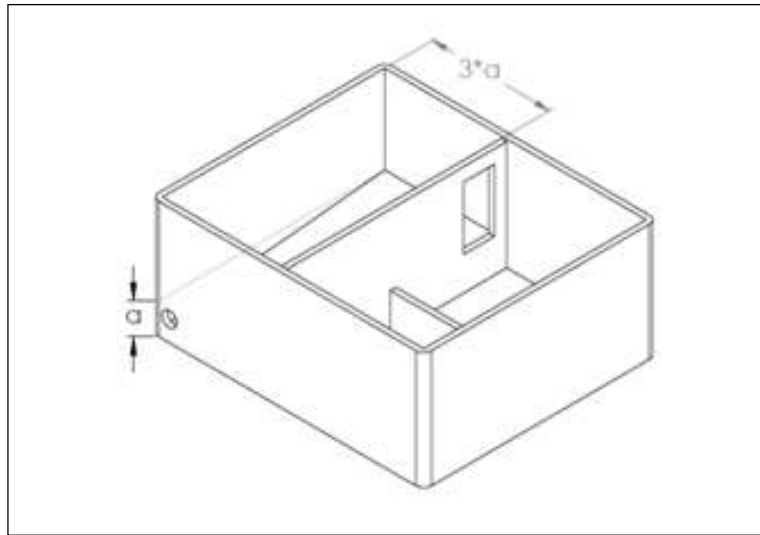
Para este caso se puede apreciar que la potencia es de 48 [W], normalizando para este tipo de motores se selecciona la potencia de 50 [W].

### 9.3 DISEÑO DEL TANQUE

El agua procedente del proceso contiene partículas en suspensión que deben ser controladas, esto se puede lograr dejando reposar el agua durante algún tiempo, muchas de estas partículas van al fondo del tanque (este fenómeno se conoce como sedimentación).

Una vez conocido el valor máximo del caudal de la bomba, se diseña un tanque para asegurar la sedimentación, el cual contara con dos cámaras. Una de sedimentación y otra que sirve de reserva para el fluido a bombear, la velocidad recomendada del agua que fluye en el tanque no debe ser superior a 0,5 [cm/s].

**Figura 29.** Esquema para dimensionamiento de tanque



Conocido esto se procede a dimensionar el tanque.

$$V = \frac{1000 * Q}{W * D} \qquad 0,5 = \frac{1000 * 0.03}{3 * a * a} \qquad a = 4,47 \cong 5 [cm]$$

Dónde:

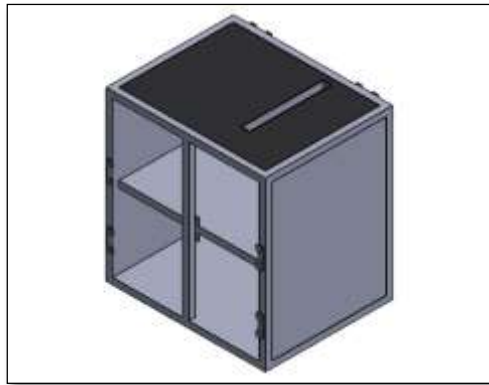
- V: Velocidad en [cm/s]
- Q: Caudal [L/s]
- W: Ancho del tanque [cm]
- D: Profundidad [cm]

Las dimensiones finales del área donde se hace la primera sedimentación es de 5 x 15 [cm]. Se dispone de una superficie inclinada para ayudar a recoger el lodo en la parte inferior que cuenta un tapón para su respectivo drenaje. La segunda cámara tendrá las mismas dimensiones.

## 9. DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

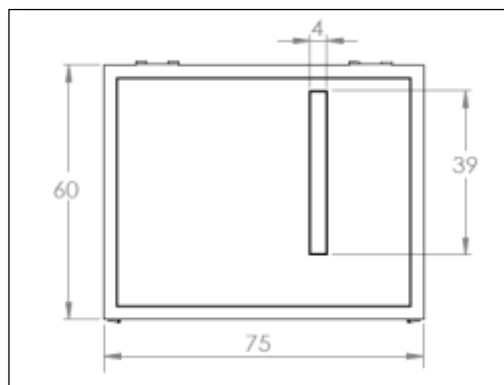
La estructura de este equipo se compone de una base rectangular en perfilera de acero A36 el cual será conformado mediante el proceso de soldadura MIG<sup>17</sup>, en donde los paneles laterales serán fabricados en lámina calibre 16.

**Figura 30.** Estructura base del equipo



Para la parte superior se utilizará una lámina en acero Cold Rolled (CR) de 1/8" de espesor para soportar el peso del motor, reducir la vibración, y evitar ser aboyada por el trabajo pesado al que va ser expuesta.

**Figura 31.** Dimensionamiento parte superior de la bancada

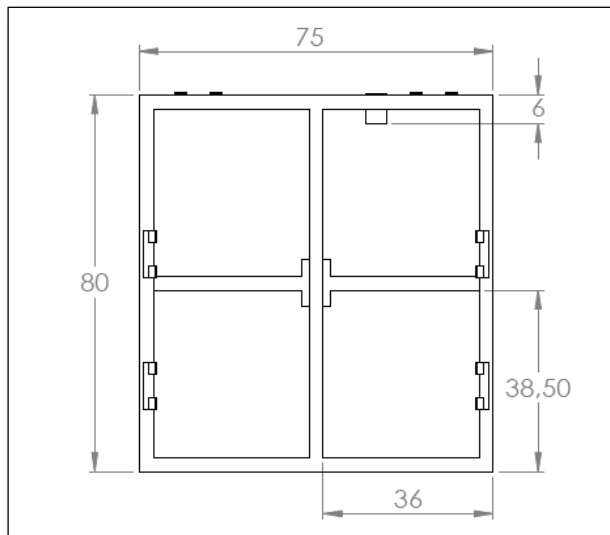


<sup>17</sup> MIG, Metal Inert Gas. Este tipo de soldadura consiste en mantener un arco de electrodo consumible de hilo sólido y la pieza que se va a soldar. El arco y el baño de soldadura están protegidos mediante un gas inerte.

La abertura para el disco es de 4 x 39 [cm] aproximadamente como se observa en la figura 33, espacio suficiente para recibir el material removido junto con el refrigerante residual a la operación.

Se usan las máximas dimensiones permitidas en las especificaciones técnicas para dar mayor comodidad y facilidad al momento de ubicar los elementos, en cuanto a la altura se considera apropiada 80 [cm] medida desde el piso a la mesa de trabajo, ya que al momento de instalar la ruedas su altura aumentara unos 13 [cm] aproximadamente.

**Figura 32.** Vista frontal del bastidor



Como se observa contará con una división central la cual proporciona dos cámaras dentro de la estructura, en donde la parte inferior albergará el tanque para suministro de fluido refrigerante, mientras que la parte superior será usada a disposición del operario.

## 10. ADQUISICIONES

Teniendo como base la estructura de desglose de trabajo, la cual se puede consultar en los anexos, se enuncian las adquisiciones necesarias respecto a cada ítem.

### 10.1. PLAN DE ADQUISICIONES Y FABRICACIÓN

En cuanto al proceso propio de la fabricación se hace una relación de costo por hora para cada una de las operaciones que así lo permitan, mientras que para los procesos de soldadura, doble y pintura se hace por metraje.

En la siguiente tabla en donde:

- F: Fabricar
- AL: Alquilar
- AD: Adquirir
- INOX: Inoxidable

**Tabla 40.** Actividades a realizar y adquisiciones

EDT	ACTIVIDAD	RECURSOS REQUERIDOS			F	COMPRAR	
		PERSONAL	MATERIALES- MAQUINAS	COSTO (\$)		AL	AD
2.1.2	Selección del material	Orlando	Tubo cuadrado 1" cal 16 Lamina CR cal 16 Lamina CR 1/8" 4 ruedas 2 con freno bisagras y topes	135.000			x
2.3.2	Selección de bomba	Alfonzo	Accesorios y manguera	9.000			x
2.4.3	Señalización y Ergonomía	Hernán	Sensores, pulsadores, acrílico	56.000			x

<b>3.1.1</b>	Corte de Perfilera Para estructura	Orlando	Tronzadora	5.000	x		
<b>3.1.2</b>	Corte y doble de laminas	Cristian	Dobladora	28.000	x		
<b>3.2.1</b>	Unión de componentes	Oscar	Equipo de soldadura MIG	60.000	x		
<b>3.3</b>	Pintura Electroestática	Ramiro	-	250.000		x	
<b>3.4.2</b>	Instalación de Acrílico protector	Orlando	Lamina de acrílico transparente de 3 mm	25.000			x
<b>3.4.3</b>	Instalación de manijas	Orlando	Manijas en inoxidable	6.000			x
<b>4.1.1</b>	Instalación del riel Omega	Sergio	Riel, remaches, remachadora, taladro	15.000			x
<b>4.1.2</b>	Instalación de Canaleta Ranurada	Sergio	Cinta de cara doble, bisturí	9.000			x
<b>4.1.3</b>	Instalación Fuente de voltaje	Sergio	Destornilladores	60.000			x
<b>4.1.5</b>	Instalación de motor y caja de paso	Sergio	Motor, kit de llaves, caja de paso, destornilladores	150.000			x
<b>4.1.6</b>	Iluminación de la cabina	Sergio	Luz, silicona	5.000			x
<b>4.2.1</b>	Adecuación del tanque	Diego	Tanque, taladro, racores	60.000			x
<b>4.2.2</b>	Bomba y accesorios	Alfonzo	Bomba sumergible	320.000			x
<b>4.2.3</b>	Ubicación de boquilla	Diego	Boquilla, racores, taladro, llaves.	50.000			x
<b>4.3.1</b>	Instalación de la Prensa	Albeiro	Bloque de aluminio Varilla en acero INOX, Lamina 1/4" INOX, Tornillos, fresa, taladro	1.200.000	x		
<b>4.4.1</b>	Acople de disco al eje del motor	Fernando	Macizo redondo INOX de 2"	50.000	x		
<b>4.4.2</b>	Protector de la hoja de corte	Carlos	Lamina de acero CR 2,5 mm	20.000	x		

## 10.2. PLAN DE GESTIÓN DE LAS ADQUISICIONES

Teniendo como base la estructura de desglose de trabajo (EDT) se enuncian las adquisiciones necesarias respecto a cada ítem.

**Tabla 41.** Adquisiciones del proyecto

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PERFILADOR DE NUCLEÓS BASADO EN LA APROXIMACIÓN GRADUAL DE LA MUESTRA A LA HERRAMIENTA DE CORTE			CODIGO: 006
EDT	ACTIVIDAD	CODIGO ADQUISICIÓN	ENUNCIADO DEL TRABAJO RELATIVO A LA ADQUISICIÓN
2.1.2	Selección de Material	1	Compra de tubo cuadrado para fabricar el bastidor, compra de lámina cal 16 para la forma, compra de lámina ¼" para la mesa de trabajo.
2.2.2	Selección de Material	2	Compra de materiales para el montaje del circuito eléctrico, cable, terminales, fuente, canaleta ranurada, riel omega, botones, potenciómetro, iluminación de cabina, motor y caja de paso.
2.3.2	Selección de la bomba	3	Compra de bomba sumergible para la recirculación del refrigerante de corte, con manguera y accesorios necesarios.
2.4.3	Señalización y Ergonomía	5	Compra de sensores y pulsadores, diseño y fabricación de la señalización respectiva.
3.2	Soldadura	6	Compra de cable para soldadura TIG
3.3	Limpieza de Superficie	7	Se requiere comprar, paños de limpieza y disolventes según sea el caso.
3.3.2	Aplicación de pintura electrostática.	8	Se requiere contratar los servicios de especialistas para esta tarea.
3.4.1	Instalación de Ruedas	9	Compra de 4 ruedas, dos con freno, dos normales.
3.4.2	Instalación de acrílico protector	10	Compra de lámina de acrílico según medida para termo-formar.
3.4.3	Instalación de manijas	11	Compra de manijas tanto como para puertas como para la cabina protectora.
4.3.1	Instalación de prensa	12	Compra de bloque de aluminio, varilla de acero inoxidable y disco para el volante.
4.3.2	Instalación carro desplazamiento	13	Compra de bloque de aluminio, varilla de acero inoxidable y disco para el volante.
4.4.1	Instalación del disco de corte	14	Compra del disco de corte según selección de catálogo.
5.1.1	Carga del tanque	15	Compra y adecuación de tanque plástico.

**Tabla 42. Relación de adquisiciones**

CODIGO DE ADQUISICIÓN	TIPO DE CONTRATO	ESTIMACION		DOCUMENTO DE ADQUISICIÓN		REQUISITOS	RESTRICCIONES	PLAZO Días Hab.	PROVEEDORES CALIFICADOS	EVALUACIÓN DEL PROVEEDOR
		VALOR	RESPONSABLE	TIPO	RESPONSABLE					
1	Contrato de precio fijo	135.000	Hector Bautista	Solicitud de Oferta	Pool Rodríguez	Términos Comerciales	Evitar oxido, y golpes	5	Ferretería la Paz	4
2	Contrato de precio fijo	350.000	Oscar Vera	Solicitud de Oferta	Pool Rodríguez	Especificaciones técnicas	Debe suministrar un solo proveedor	15	Eléctricas Bogotá	5
3	Contrato de precio fijo	400.000	Juan Ramírez	Solicitud de Oferta	Pool Rodríguez	Especificaciones técnicas	Debe poder bombear agua y aceite	30	Lanzeta Rengifo	5
5	Contrato de precio fijo	56.000	Oscar Flores	Solicitud de Oferta	Pool Rodríguez	Especificaciones técnicas	Pulsadores testigos led	15	SeguriData S.A	4
6	Contrato de precio fijo	60.000	Oscar Barrera	Solicitud de Oferta	Pool Rodríguez	Especificaciones técnicas	Rollo sellado	5	West Arco	5
7	Contrato de precio fijo	15.000	Fernando Cifuentes	Solicitud de Oferta	Pool Rodríguez	Disolvente compatible.	Ninguna	3	Ferretería la Paz	4
8	Costo Reembolsable	250.000	Cesar Jaramillo	Orden de servicio	Pool Rodríguez	Pintura Texturizada	Evitar pintar sobre superficie sin limpiar	6	Lustrametales S.A.S	4,2
9	Contrato de precio fijo	150.000	Julián Álvarez	Solicitud de Oferta	Pool Rodríguez	Especificaciones técnicas	Deben tener engrasadores	2	Ferreteria el Astil	5
10	Contrato de precio fijo	55.000	Oswaldo Ruiz	Solicitud de Oferta	Pool Rodríguez	Especificaciones técnicas	Termoformado	4	La Acrileria	4
11	Contrato de precio fijo	35.000	Giovanny Valdez	Solicitud de Oferta	Pool Rodríguez	Especificaciones técnicas	Paquete *12 unidades	1	Punto inox	4,3
12	Contrato de precio fijo	1.300.000	Jorge Medina	Solicitud de Oferta	Pool Rodríguez	Aluminio laminado	Ninguna	9	Distri Bronces	4,4
13	Contrato de precio fijo	260.000	Andrés Rodríguez	Solicitud de Oferta	Pool Rodríguez	Especificaciones técnicas	Ninguna	30	Distri Bronces	4,3
14	Contrato de precio fijo	120.000	Mónica Garzón	Solicitud de Oferta	Pool Rodríguez	Especificaciones técnicas	Diámetro de ajuste	15	Lukia	4.2
15	Contrato de precio fijo	160.000	Juan Ramirez	Solicitud de Oferta	Pool Rodríguez	Términos comerciales		15	Lanzeta Rengifo	5

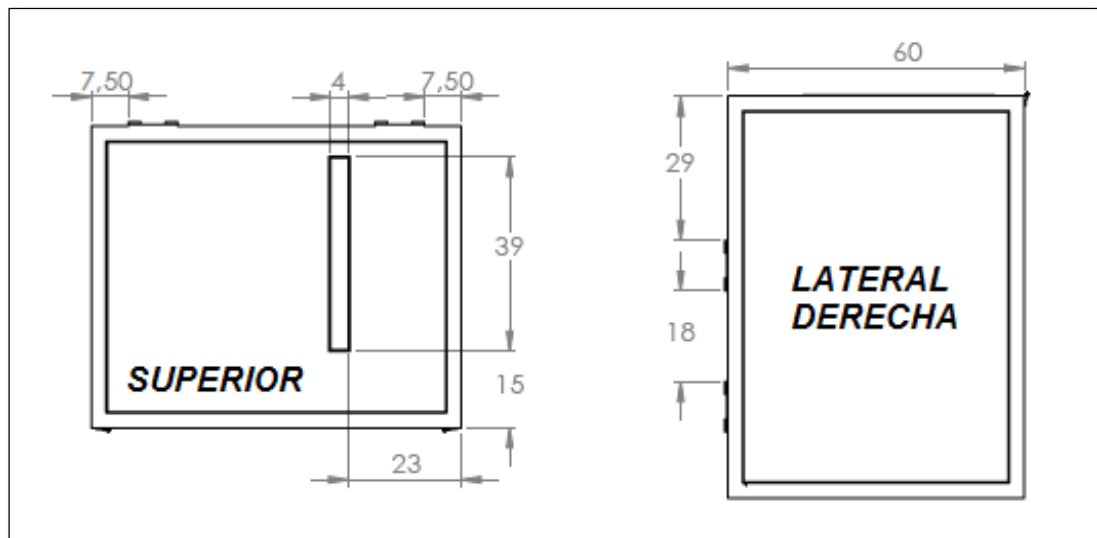
## 11. CONSTRUCCION

La fabricación de este perfilador fue llevada a cabo en simultáneo con varios equipos más con los cuales la empresa estaba trabajando, pero todos basados en una estructura de desglose de trabajo similares; una vez aprobado el plan de gestión de adquisiciones para este proyecto se procede con la construcción.

### 11.1 MANUFACTURA DEL BASTIDOR

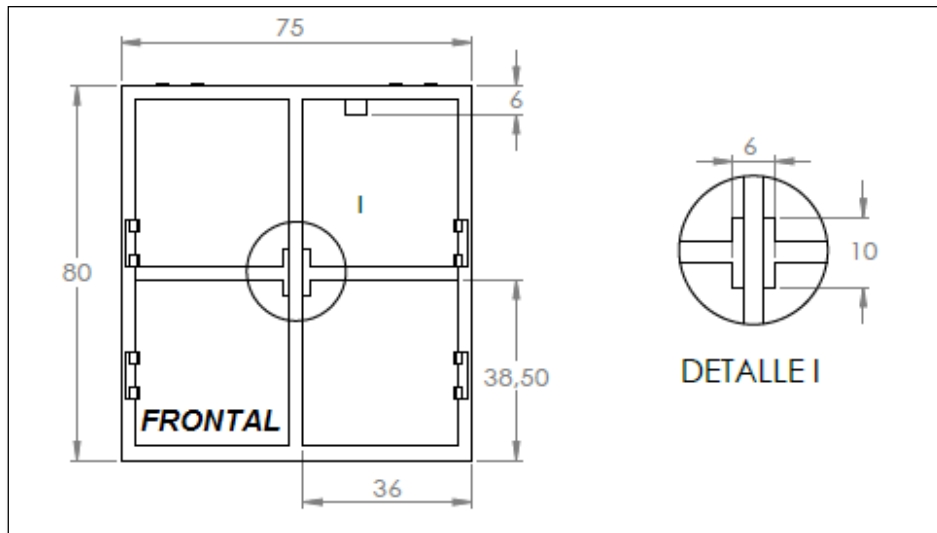
Los perfiles se cortan según los planos entregados a los operarios basado en los ensamblajes CAD previamente discutidos al inicio de la jornada de trabajo, los planos completos pueden consultarse en los anexos.

**Figura 33.** Parte de plano entregado al taller (Vista superior y lateral del bastidor)



En los planos entregados al taller, se especifica el uso de perfilera cuadrada y lamina calibre 16, sin embargo, se aclara que para la parte superior la lamina utilizada debe ser calibre 1/8"

**Figura 34.** Parte de plano entregado al taller (Vista frontal del bastidor)



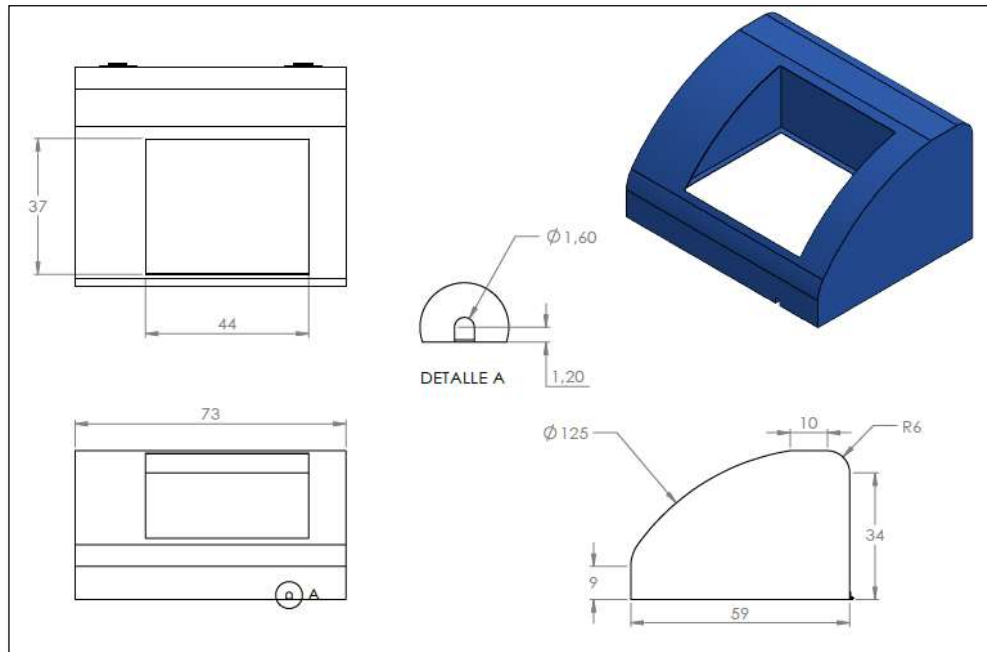
El proceso de corte y doblado de laminas se realiza en la empresa "Laminas y cortes LTDA" en la ciudad de Bucaramanga.

**Figura 35.** Perfiles estructurales y lamina para construcción



Es importante aclarar que en simultaneo se da el proceso de fabricación de la cubierta de seguridad del equipo la cual va sobre la mesa de trabajo, a continuación, se presenta parte de los planos entregados.

**Figura 36.** Planos entregados para cubierta de seguridad



Durante el proceso de fabricación se presenta la cabina sobre la mesa de trabajo para realizar las operaciones referentes a su acople como la instalación de bisagras y tirantes de apoyo cuando esta se encuentre abierta para verificar si es necesario algún tipo de ajuste o posible cambio.

**Figura 37.** Avance en la construcción del bastidor



Tras la inspección visual y primer acople de componentes se procede a desensamblar para enviar el conjunto a pintar. Esta operación se realizó en la empresa "Electroquímica Niquelados Cromado y Cobrizado", con un tiempo de entrega de 4 días hábiles.

**Figura 38.** Inspección visual y envío a pintura del bastidor



Al recibir el bastidor, los cajones, puertas y cubierta de seguridad se verifica su estado y se sigue con el proceso de ensamble.

**Figura 39.** Instalación de puertas y ruedas al bastidor



Por último, se instala la cubierta de seguridad a la mesa de trabajo donde se realizan los ajustes finales para su correcta apertura y cierre.

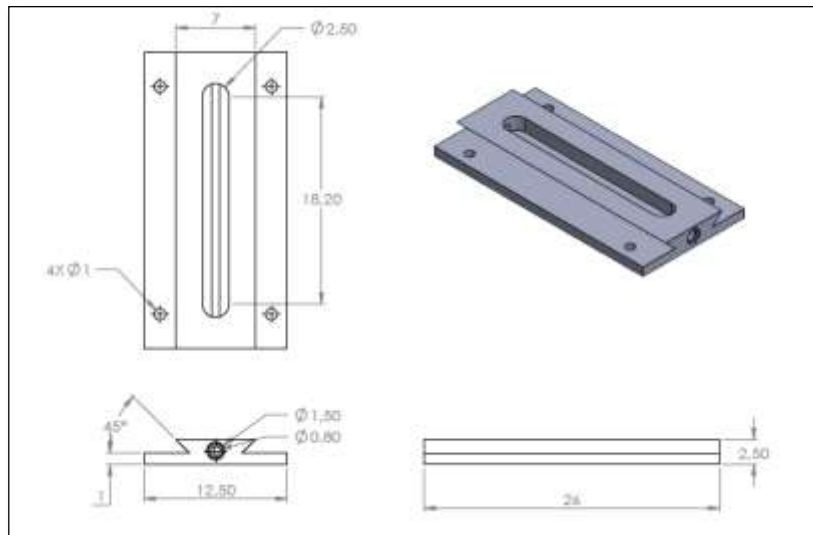
**Figura 40.** Instalación de cubierta de seguridad



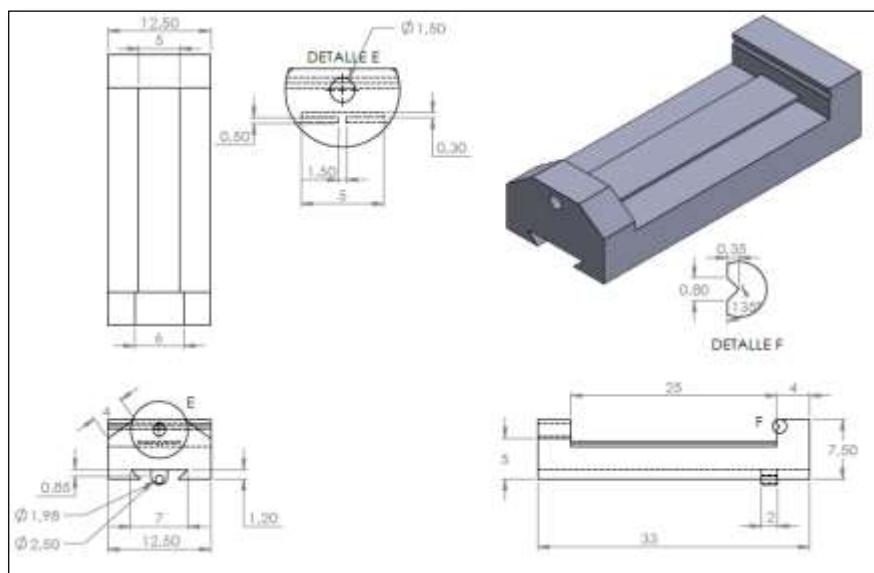
## 11.2. MANUFACTURA DE LAS PRENSAS

Se hace entrega de los planos a los operarios teniendo en cuenta el juicio de expertos para esta labor. El aluminio laminado, se lleva a la estación de fresado donde se realizan las caras planas necesarias según planos.

**Figura 41.** Planos entregados a operarios para base deslizante

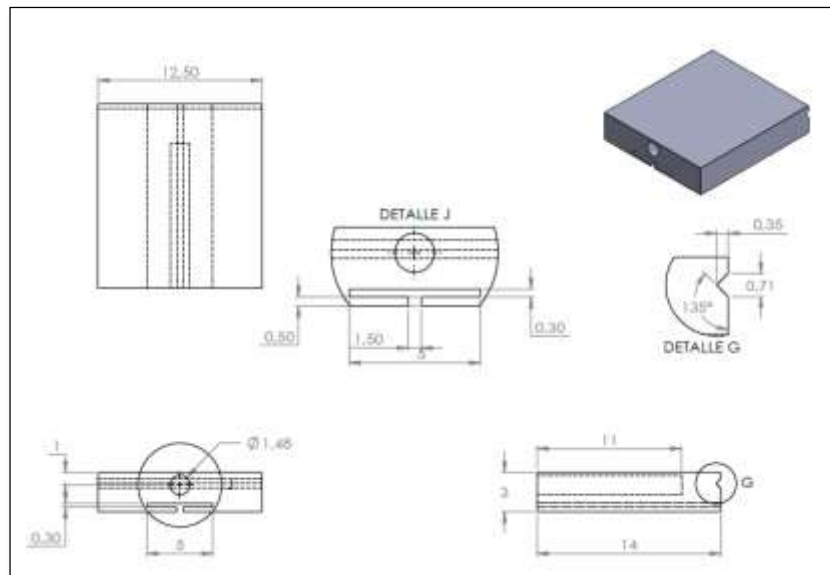


**Figura 42.** Planos entregados a operarios para carro de desplazamiento



Durante el proceso de fabricación de la prensa se presentan algunos inconvenientes en la lectura de los planos entregados, pues el modo en que se presenta es diferente al modo que se debe utilizar para que en los talleres el operario tenga claridad sobre la operación que se debe realizar.

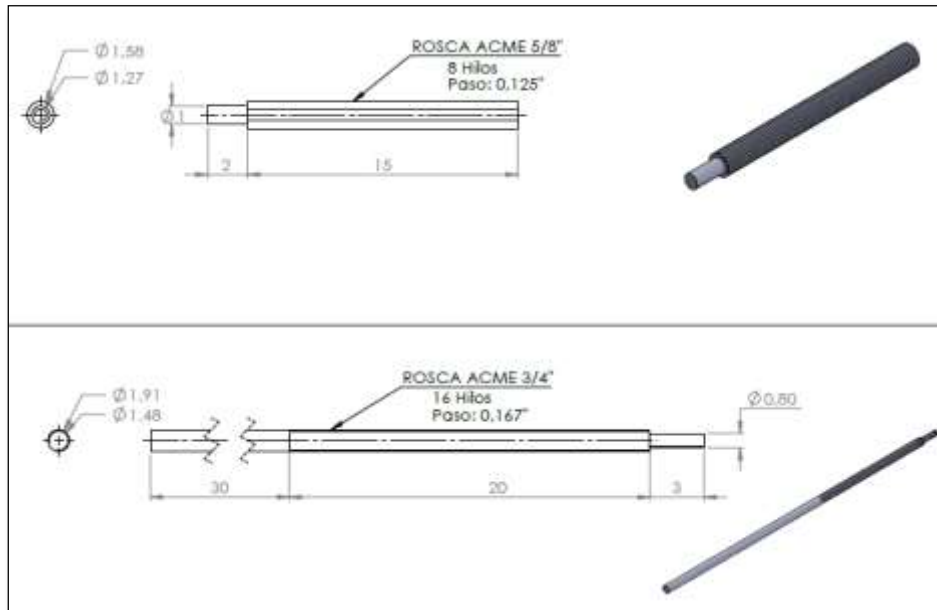
**Figura 43.** Planos entregados a operarios para mordaza móvil



La inexperiencia sobre el proceso de mecanizado conlleva la necesidad de modificar y definir en exceso los planos un par de veces. Sin embargo, se decide estar presente en el proceso de fabricación para responder a cualquier inquietud por parte del operario.

Tras el maquinado general de los componentes de la prensa de ajuste y desplazamiento se perfora en los lugares designados para los tornillos de potencia y los tornillos de ajuste.

**Figura 44.** Planos para maquinado de tornillos de potencia



Al finalizar el proceso de manufactura de componentes de la prensa se verifican los acabados y acople de los mismos, en donde se prueba su funcionamiento.

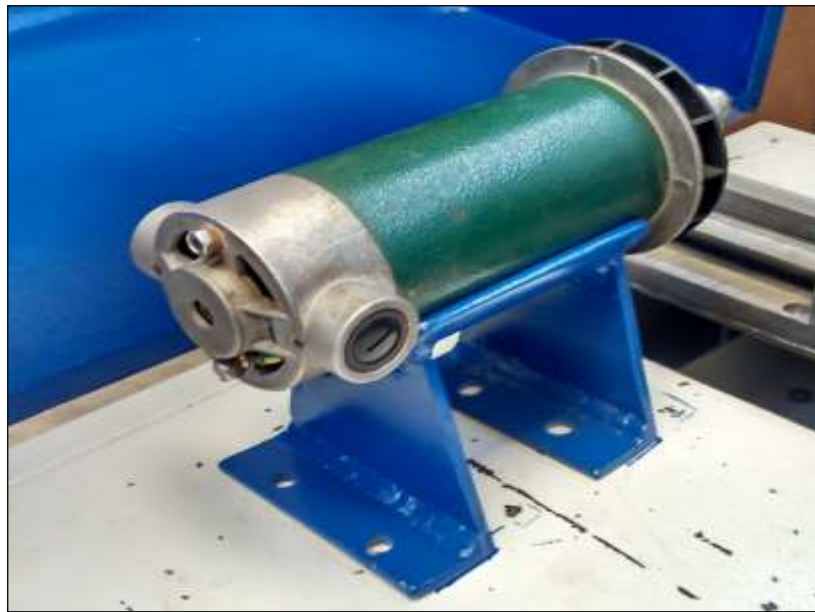
**Figura 45.** Ensamble de prensa y carro de desplazamiento



### 11.3. MANUFACTURA BASE DEL MOTOR

Para la fabricación esta base es necesario conocer el diámetro externo del motor para dar la curvatura adecuada a la lámina de 1/8", y la altura necesaria se determina en el modelo CAD<sup>18</sup> para que cumpla con la profundidad de corte, como se especifica en los planos.

**Figura 46.** Fabricación de la base para el motor



---

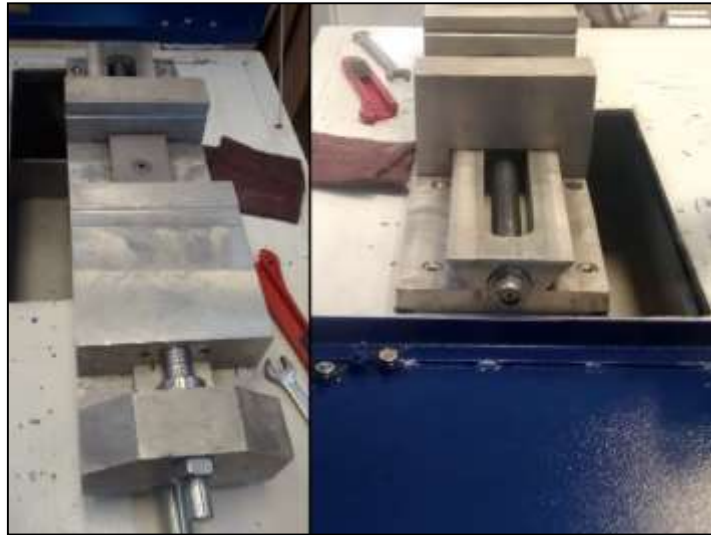
<sup>18</sup> CAD. Diseño asistido por computadora para modelado mecánico en 3D. SolidWorks 2016.

## 12. INSTALACIÓN Y PRUEBA DE SUBSISTEMAS

### 12.1. INSTALACIÓN DE SISTEMA DE AJUSTE Y DESPLAZAMIENTO

Una vez instalada la cubierta de seguridad, cajones y puertas en el bastidor se procede a la ubicación del sistema de ajuste y desplazamiento del núcleo el cual se acopla a la mesa de trabajo alineando esta con la ranura dispuesta para la bandeja de recuperación del fluido refrigerante.

**Figura 47.** Ubicación del sistema de ajuste y desplazamiento



Con la ubicación del sistema en la mesa instalan los volantes para probar el desplazamiento del carro y la prensa.

**Figura 48.** Acople de volantes a la prensa



A continuación, se instala la base para el motor verificando la perpendicularidad entre el eje del motor y la placa de desplazamiento pues de esto depende garantizar la calidad del corte.

**Figura 49.** Instalación de la base para el motor

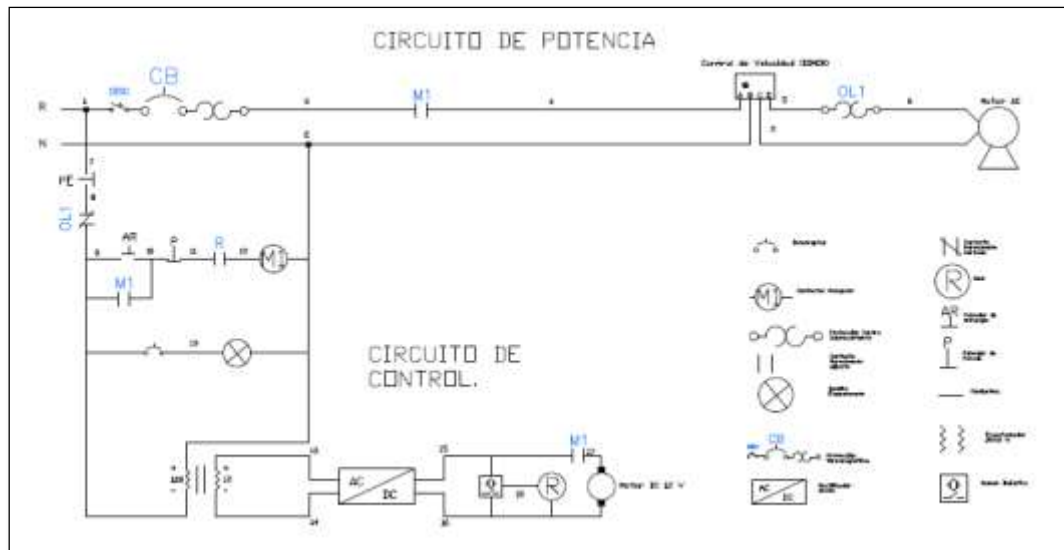


## 12.2. INSTALACIÓN DE SISTEMA ELÉCTRICO.

Para la instalación eléctrica se dispuso en uno de los cajones de la mesa para fácil acceso y manipulación de los componentes, en donde se encuentran los circuitos de potencia y de control como se puede apreciar en el plano eléctrico.

El circuito de potencia se encarga de energizar el motor el cual cuenta con protección contra corto circuito, sobre corriente y un regulador de voltaje o dimmer para controlar la velocidad del motor en donde es importante aclarar que el motor siempre debe arrancar en su mínima velocidad, es decir en el punto de resistencia máxima del dimmer pues la corriente de arranque es muy alta respecto a la corriente nominal del equipo.

**Figura 50.** Plano eléctrico de circuito de potencia y de control



Por otro lado, el circuito de control envía pequeñas corrientes o señales a los componentes electrónicos, donde el sensor inductivo garantiza que no se pueda usar el equipo mientras la cubierta de seguridad se encuentre abierta. Cuenta con

el pulsador ON-OFF, parada de emergencia, interruptor para iluminación de la cabina y conexiones necesarias para la bomba centrífuga.

### 12.3. INSTALACIÓN DE SISTEMA DE REFRIGERACION

Se acopla la bomba en el interior del tanque el cual va ubicado al interior del bastidor en su parte más baja. Se conectan los racores y mangueras donde la boquilla garantiza el suministro de fluido refrigerante para las labores de corte que así lo requieran.

**Figura 51.** Disposición final de la boquilla.



## **12.4. PRUEBA DE SUBSISTEMAS**

Una vez terminados cada uno de los subsistemas se realiza la inspección visual, ubicación de la señalización y una lámina autoadhesiva plástica para evitar el deterioro de la pintura, y se procede con el proceso de pruebas establecido para este equipo:

**12.4.1. Prueba de sujeción y avance.** Se abre la cabina y se pone un PLUG<sup>19</sup> sintético en la mordaza de apriete correctamente ubicado en las guías dando el ajuste necesario, se baja la cabina y con el equipo apagado se hace la aproximación del PLUG al disco de corte.

En caso que el movimiento se vea entorpecido se procede a calibrar los tornillos para dar la tolerancia adecuada entre la base y la superficie deslizante.

**12.4.2. Prueba del motor.** Antes de conectar el equipo a la toma corriente se verifica que el dimmer esté en su posición de resistencia máxima, luego se presiona el botón de encendido, y poco a poco se va girando el dimmer hasta llegar a la velocidad máxima.

En caso que el motor no encienda se revisa el arrancador y sus conexiones como se indica en el manual de operación y mantenimiento.

**12.4.3. Iluminación de cabina.** Una vez conectado el equipo a la toma corriente se mueve el interruptor hacia su posición de encendido, es normal que la luz parpadee unos segundos antes de iluminarse completamente.

En caso de no encender se debe revisar que el tubo este ubicado correctamente dentro de los conectores o que no esté fundido.

---

<sup>19</sup> PLUG. Núcleo elaborado sintéticamente para pruebas de compresión

**12.4.4. Prueba de sistemas de seguridad.** Con el equipo puesto en marcha, se abre la cabina para confirmar que al motor se le suspende el suministro de energía, se baja la cabina y el motor debe reanudar su marcha normal, a continuación, se procede a presionar el botón de parada de emergencia el cual corta el suministro de la energía del motor, pero en este caso no se puede reanudar la marcha si no se restablece la posición del botón.

En caso que al abrir la cabina y que no se suspenda el suministro de energía al motor se debe revisar que no exista alguna obstrucción que afecte la lectura del sensor.

**12.4.5. Prueba de fugas.** Se procede a encender la bomba teniendo cerrada la boquilla, esto con el fin de comprobar estanqueidad, se deja un tiempo prudente para comprobar si existe humedad en las uniones de los accesorios. En caso que exista alguna fuga se detiene la bomba y se realizan los ajustes necesarios.

## 12.5. SEÑALIZACION DEL EQUIPO

Al finalizar con la etapa de pruebas se limpia el equipo para instalar la señalización respectiva y embalaje.

**Figura 52.** Señalización del equipo



**Figura 53.** Embalaje de los equipos



### 13. PRESUPUESTO

Para desarrollo este proyecto se cuenta con el aporte económico de la empresa F.A.G. en la siguiente tabla se especifican los gastos:

**Tabla 43.** Presupuesto total

<b>PRESUPUESTO PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO</b>	
Salidas de campo	\$100.000
Asesoría	\$1.000.000
Papelería	\$80.000
Transporte	\$650.000
Refrigerios	\$250.000
Materiales	\$3.500.000
Mano de obra	\$1.800.000
<b>TOTAL</b>	<b>\$7.380.000</b>

## 14. CONCLUSIONES

- El objetivo principal se logra con base en el control integrado de cambios propuesto en la estructura de desglose de trabajo lo cual asegura que el equipo diseñado y construido cumpla sus funciones satisfactoriamente, siendo un producto viable económicamente con un valor de \$7.380.000 que se ajusta al presupuesto estimado inicialmente de \$8.400.000.
- El perfilador de núcleos ha brindado a la empresa grandes beneficios, pues el equipo desde la finalización de su construcción comenzó su ciclo de trabajo reduciendo los tiempos del proceso de preparación de muestras para los análisis petrofísicos, además la potencia de 0,71 [Kw] requerida por corte según el comportamiento de una muela abrasiva lo hace competitivo respecto a los demás equipos existentes en el mercado.
- El modelamiento del equipo en software CAD ayuda a disminuir los tiempos de fabricación, detección de errores en los elementos diseñados y reducción en los costos de fabricación pues se cuenta con un montaje inicial que puede ser analizado por los técnicos y operarios para realizar cambios según las recomendaciones dadas.
- Para garantizar las operaciones de corte del perfilador se deja a disposición un manual de operación y mantenimiento, que permite al operario familiarizarse con el equipo antes de trabajar en este evitando posibles lesiones y daños al sistema, además dispone de servicio posventa de repuestos y mantenimiento por la empresa F.A.G. electromecánica e instrumentación.
- La friabilidad de la muestra y la experiencia del operario encargado de realizar el corte son factores que influyen directamente en el grado de perpendicularidad

y planitud de las muestras cortadas ajustándose a los requerimientos para los análisis posteriores.

## BIBLIOGRAFIA

**ANDERSON M.; DUNCAN B. y MCLIN R.** Los núcleos en la evaluación de formaciones. Oilfiel Review. EUA

**GROOVER, Mikell.** Fundamentos de manufactura moderna. Mexico. McGraw-Hill, 2007.

**GRUNDFOS COLOMBIA S.A.S.** Catalogo de bombas. Disponible <<http://co.grundfos.com/products/find-product/comfort.html#brochures>>

**LUKIA.** Discos de corte diamantados. Disponible <<http://www.lukia.com/esp/productos>>

**MATWEB.** Propiedades de roca sedimentaria arenisca. Disponible <<http://www.matweb.com/>>

**NORTON, Robert.** Diseño de máquinas un enfoque integrado. Mexico. Prentice Hall, 2011.

**PARADA CORRALES, Alfredo.** Fatiga fisura progresiva. Universidad Industrial de Santander. Colombia, 1990.

**SERWAY, Raymond y JEWETT, John.** Física para ciencias e ingeniería. México. Cengage Learning, 2008.

**SUMITEC.** Acero Grado Maquinaria. Disponible < <http://www.sumiteccr.com/navegadores/sumitec.html>>

**TECNIACEROS.** Materiales de ingeniería para un mundo cambiante. Disponible <<http://www.tecniaceros.com>>

**VINCI TECHNOLOGIES.** Equipos de laboratorio e instrumentación para la industria del petróleo. Disponible <<http://www.vinci-technologies.com>>

## ANEXOS