

PROTOTIPO DE DISPOSITIVO PARA CORTE DE PIEDRA

**EDGAR HERNÁN CARDENAS RIVERA
LUIS ANGEL VELOSA MONCADA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2014

PROTOTIPO DE DISPOSITIVO PARA CORTE DE PIEDRA

**EDGAR HERNÁN CARDENAS RIVERA
LUIS ANGEL VELOSA MONCADA**

**Trabajo de grado para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO**

Director

**JABID QUIROGA MENDEZ
Maestro, Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2014

DEDICATORIA

A Dios,

A mis padres.

Gracias por su apoyo, amor y cariño incondicional que siempre me han brindado

A mis hermanos

Por ellos he llegado a cumplir esta importante meta.

A mi padrino

Gracias por enseñarme lo excelsa que es la mecánica.

A Francy Catalina

Gracias por estar ahí en las buenas y en las malas. Esto también es fruto de tu
esfuerzo.

EDGAR HERNAN CARDENAS RIVERA

DEDICATORIA

A Dios,

A mis padres.

Por motivarme y brindarme apoyo amoroso e incondicional durante toda mi etapa universitaria.

A mis hermanos

Que han sido mi fuerza y motivación para salir adelante.

A mis abuelos

Que han estado presentes en los buenos y malos momentos.

A mis tíos

Al haberme hecho sentir como uno de sus hijos cuando mientras estuve lejos de casa.

A María Camila

Por su amor y por haber estado siempre presente.

LUIS ANGEL VELOSA MONCADA

AGRADECIMIENTOS

A Jabid Quiroga Méndez, ingeniero mecánico, director del proyecto y amigo, por su respaldo, confianza y colaboración oportuna.

A nuestros padres y familiares por el apoyo y la ayuda recibida.

A todos nuestros amigos.

A la Metalizadora del Oriente Ltda. Por brindarnos el apoyo necesario en la manufactura del dispositivo.

A Henry Cruz por su paciencia, colaboración y experiencia aportada a este proyecto.

A Don Gonzalo por su colaboración.

A la Universidad Industrial de Santander por brindarnos un lugar propicio para el desarrollo del conocimiento y nuestro crecimiento profesional.

EDGAR HERNAN CARDENAS RIVERA

LUIS ANGEL VELOSA MONCADA

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN	23
1. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO	25
1.1 OBJETIVO GENERAL	25
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
2. LA PIEDRA EN LA CONSTRUCCIÓN	26
2.1 CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA	26
2.1.1 Rocas ígneas	26
2.1.1.1 Granito	26
2.1.1.2 Basalto	26
2.1.1.3 Pumita	26
2.1.1.4 Diorita	27
2.1.2 Rocas sedimentarias	27
2.1.2.1 Rocas detríticas	27
2.1.2.2 Rocas físico-químicas y de origen biológico	27
2.1.3 Rocas metamórficas	27
2.2.3.1 Mármol	27
2.2.3.2 Pizarra	28
2.2 CLASIFICACIÓN DESDE EL PUNTO DE VISTA MECÁNICO	28
2.2.1 Rocas cristalinas	28
2.2.2 Rocas clásticas	28
2.2.3 Rocas de grano muy fino	28
2.2.4 Rocas orgánicas	29
2.3 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS	29
2.3.1 Densidad	29
2.3.1.1 Densidad húmeda	29

2.3.1.2 densidad seca.....	29
2.3.2 Humedad	30
2.3.3 Porosidad.....	31
2.3.4 Grado de saturación	31
2.4 PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS.....	32
2.4.1 Resistencia	33
2.4.2 Peso.....	35
2.4.3 Dureza	36
2.5 EXTRACCIÓN	36
2.6 TRABAJADO	36
2.6.1 Corte	37
2.6.1.1 Disco.....	37
2.6.1.2 Chorro de agua	39
2.6.1.3 Sierras con punta de diamante	40
2.6.1.4 Guillotina automática	41
2.6.1.5 Corte con guillotina manual.....	44
2.6.2 desbaste	49
2.7 APLICACIONES	50
2.7.1 Cimentaciones y paredes.....	50
2.7.2 Fachadas y elementos arquitectónicos.....	50
2.7.3 Elementos de edificios	50
2.7.4 Estructuras subterráneas y puentes	50
2.7.5 Elementos con resistencia al calor y químicamente resistentes	50
2.8 VENTAJAS Y DESVENTAJAS	51
2.8.1 Ventajas	51
2.8.2 Desventajas	51
3. DISEÑO DEL PROTOTIPO	52
3.1 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	52
3.1.1 Estructura.....	52
3.1.2 Herramientas de corte.....	53
3.1.3 Sistema de posicionamiento	57

3.1.4 Sistema motriz	59
3.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	61
4. CALCULO Y DIMENSIONAMIENTO DEL DISPOSITIVO	65
4.1 CALCULO DE LA FUERZA DE CORTE REQUERIDA.....	65
4.1.1 Ensayo de compresión uniaxial a probetas de roca.....	65
4.1.2 Factor de seguridad	69
4.2 SELECCIÓN FUENTE DE POTENCIA.....	70
4.2.1 Mecanismo manual.....	70
4.2.2 Cilindro neumático	71
4.2.3 Cilindro hidráulico	72
4.2.3.1 Bombas de alta velocidad	72
4.2.3.2 Bombas manuales	73
4.2.3.3 Cilindro hidráulico portable.....	74
4.3 SELECCIÓN TORNILLOS DE POTENCIA.....	75
4.4 DIMENSIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA.....	83
4.4.1 Dimensionamiento de la base.....	83
4.4.2 Dimensionamiento de las barras.....	85
4.4.3 Dimensionamiento de la mesa superior	90
4.4.4 Dimensionamiento de la mesa fija	91
4.5 DIMENSIONAMIENTO DE LA VIGA CUCHILLA INFERIOR.....	95
4.6 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE LA HERRAMIENTA SUPERIOR	96
4.7 DIMENSIONAMIENTO DE LAS CUCHILLAS.....	99
4.8 DIMENSIONAMIENTO DE LA CUÑA Y EL PORTA CUCHILLA	101
4.9 DIMENSIONAMIENTO DE LA MANIVELA DE LA SINCRONIZACIÓN.....	102
5. MANUFACTURA.....	105
5.1 MANUFACTURA DE LA ESTRUCTURA.....	106
5.1.1 Manufactura de la base.....	106
5.1.2 Manufactura mesa superior	107
5.1.3 Mesa fija.....	108

5.1.4 Barras	109
5.2 MANUFACTURA DE LOS SISTEMAS DE HERRAMIENTAS DE CORTE	110
5.2.1 Manufactura de la herramienta superior	110
5.2.2 Manufactura de la herramienta inferior	113
5.3 MANUFACTURA DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO DE LA HERRAMIENTA SUPERIOR	113
6. PRESUPUESTO	116
6.1 ANÁLISIS DE COSTOS DE LA MÁQUINA	117
7. PRUEBAS Y RESULTADOS	120
CONCLUSIONES	123
RECOMENDACIONES	124
BIBLIOGRAFÍA	125
ANEXOS	126

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Relación entre módulo de elasticidad y resistencia a Compresión simple	34
Figura 2. Corte con disco	38
Figura 3. Máquina de múltiples discos	39
Figura 4. Corte por chorro de agua	39
Figura 5. Corte con hilo diamantado	41
Figura 6. Guillotina automática	42
Figura 7. Guillotina manual	45
Figura 8. Gato de botella hidroneumático	46
Figura 9. Esquema del cilindro neumático intermitente	47
Figura 10. Esquema de accionamiento del gato hidroneumático	48
Figura 11. Desbaste.....	49
Figura 12. Estructura del prototipo.....	53
Figura 13. Cuchillas adaptables.....	54
Figura 14. Plano de corte.....	55
Figura 15. Herramienta superior	
a) Vista en sección.....	56
b) Vista posterior	56
c) Esquema de desplazamientos	57
Figura 16. Sistema de posicionamiento	
a) Vista en sección del acople con la mesa superior	58
b) Vista en sección de la sincronización de los tornillos junto Con su accionamiento	59
Figura 17. Prototipo de dispositivo para corte de piedra	60
Figura 18. Elementos principales involucrados en el proceso de corte	62
Figura 19. Funcionamiento después del corte	63

Figura 20. Producto terminado.....	64
Figura 21. Probeta de roca para ensayo a compresión	65
Figura 22. Máquina para ensayos a compresión	66
Figura 23. Taladro para probetas de roca.....	66
Figura 24. Regresión lineal de los datos de modelos de máquinas de Los distintos proveedores	69
Figura 25. Palanca.....	70
Figura 26. Cilindro neumático	72
Figura 27. Bomba de pistones axiales y cilindro hidráulico.....	73
Figura 28. Conjunto bomba manual y piloto automático	74
Figura 29. DCL situación crítica del prototipo en operación.....	76
Figura 30. Estándar roscas cuadradas	78
Figura 31. Máxima extensión de los tornillos de potencia.....	79
Figura 32. Valores constante K para columnas	80
Figura 33. Modelo CAD de la base	84
Figura 34. Factor de seguridad de la base	84
Figura 35. Deformación de la base	85
Figura 36. Factor de seguridad de las barras	86
Figura 37. Rosca estándar UNF	87
Figura 38. Resistencia de diferentes grados de tornillos SAE	89
Figura 39. Factor de seguridad mesa superior	90
Figura 40. Deformación total de la mesa superior	91
Figura 41. Factor de seguridad mesa fija.....	92
Figura 42. Diagrama de cuerpo libre abrazadera.....	92
Figura 43. Coeficiente de fricción estática entre distintos materiales en contacto	93
Figura 44. Factor de seguridad de la viga de la herramienta inferior	95
Figura 45. Deformación de la viga de la cuchilla inferior.....	95
Figura 46. Diagrama de cuerpo libre a) Sistema de la herramienta superior	96

b) Cuña	96
Figura 47. Factor de seguridad del armazón de la herramienta superior.....	98
Figura 48. Deformación del armazón de la herramienta superior	98
Figura 49. Factor de seguridad de la cuchilla inferior	99
Figura 50. Factor de seguridad de las cuchillas adaptables	100
Figura 51. Deformación de las cuchillas adaptables.....	100
Figura 52. Factor de seguridad	
a) Cuña	101
b) Cuchilla	101
Figura 53. Transmisión superior	104
Figura 54. Equipo de soldadura	106
Figura 55. Sierra mecánica UIS.....	107
Figura 56. Torno convencional.....	108
Figura 57. Taladro vertical	109
Figura 58. Máquina cepilladora.....	111
Figura 59. Fresadora convencional UIS.....	111
Figura 60. Fresado de la caja de las cuchillas adaptables.....	112
Figura 61. Pulidora de disco	115
Figura 62. Rocas para realizar pruebas del prototipo	120
Figura 63. Montaje antes de cortar la roca	121
Figura 64. Corte realizado con el dispositivo	121
Figura 65. Corte realizado a bloque de concreto	122

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Densidad de algunos tipos de minerales	30
Tabla 2. Relación módulo/resistencia de algunos tipos de roca	33
Tabla 3. Resistencia a la compresión, tracción y flexión de algunos tipos de roca	34
Tabla 4. Resultados ensayo de compresión uniaxial	67
Tabla 5. Datos de modelo de máquinas de los diferentes proveedores	68
Tabla 6. Dimensiones de la rosca.....	82
Tabla 7. Calculo del factor de seguridad de la rosca por cortante	82
Tabla 8. Calculo del factor de seguridad de la rosca por flexión.....	82
Tabla 9. Presupuesto detallado	116

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. MANUAL DE ENSAMBLE.....	127
ANEXO B. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	134
ANEXO C. PROPIEDADES ACERO AISI-SAE 1020	140
ANEXO D. PROPIEDADES ACERO ASTM A36	141
ANEXO E. DIMENSIONES VIGA W5*16.....	142
ANEXO F. PROPIEDADES ACERO AISI 1045	143
ANEXO G. PROPIEDADES MECÁNICAS Y PERFIL DEL ACERO PARA RIEL DE TREN.....	144
ANEXO H. PROPIEDADES MECÁNICAS ACERO FORA 450	145
ANEXO I. PLANOS.....	146

NOMENCLATURA

NOTACIÓN

[cm]	centímetros
[in]	pulgadas
[m]	metros
[cm ²]	centímetros cuadrados
[in ²]	pulgadas cuadradas
[lb-f]	libras fuerza
[kg-f]	kilogramos fuerza
[Ton]	Toneladas
[psi]	libras por pulgada cuadrada
[Mpa]	MegaPascales

GLOSARIO

ESCALA DE MOSH: La escala de Mohs es una relación de diez materiales ordenados en función de su dureza, de menor a mayor. Se utiliza como referencia de la dureza de una sustancia.

ADOQUÍN: Piedra o bloque labrado de forma rectangular que se utiliza en la construcción de pavimentos.

CILINDRO DE SIMPLE EFECTO: Los cilindros de simple efecto son aquellos que solo realizan un trabajo cuando se desplaza su elemento móvil (vástago) en un único sentido; es decir, realizan el trabajo en una sola carrera de ciclo. El retroceso se produce al evacuar el aire a presión de la parte posterior, lo que devuelve al vástago a su posición de partida mediante la acción de un resorte.

GRANULOMETRÍA: Es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado, tal como se determina por análisis de tamices. Es la medición de los granos de una formación sedimentaria y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.

TUFF: Es un tipo de roca formada de ceniza volcánica consolidada.

DCL: Diagrama de cuerpo libre.

YUGO: Pieza que permite accionar varios elementos a la vez.

LITOLOGÍA: Parte de la geología que estudia a las rocas, especialmente de su tamaño de grano, del tamaño de las partículas y de sus características físicas y químicas.

RESUMEN

TÍTULO:

PROTOTIPO DE DISPOSITIVO PARA CORTE DE PIEDRA*

AUTORES:

Edgar Hernán Cárdenas Rivera**

Luis Angel Velosa Moncada**

PALABRAS CLAVE:

Corte, Bloque, Enchape, Adoquín, Fragmento, Tornillo, Homólogo.

DESCRIPCIÓN:

Mediante la elaboración de este proyecto de grado la Universidad Industrial de Santander contribuye al progreso social y económico de la región, promoviendo el desarrollo de la industria de la construcción a través del diseño y construcción de un prototipo para el corte de piedra. Con este procedimiento se obtienen principalmente bloques, enchapes y adoquines.

El dispositivo está compuesto principalmente por dos cuchillas (superior e inferior), que se enfrentan para producir corte mediante presión pura a un fragmento de roca ubicado entre ellas.

El accionamiento de la cuchilla superior, de avance rápido, consiste en dos tornillos de potencia homólogos accionados mediante un volante, todos ubicados en una mesa de soporte. Mientras que el accionamiento de la cuchilla inferior, de avance lento, consiste en un gato hidroneumático conectado solidariamente, que se encarga de proporcionar la fuerza al sistema. Ambas cuchillas son guiadas por 4 barras de perfil circular y todos los elementos se soportan en una base rectangular.

Todas las piezas están dimensionadas para proporcionar cortes de alta calidad a fragmentos de roca de dimensiones hasta 40[cm] x15[cm] x 30[cm] y de igual manera para permitir un armado y desarmado sencillo que facilite su transporte. El prototipo es especial para aprovechar los fragmentos de piedra más pequeños de las canteras.

*Trabajo de Grado

**Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Ing. Jaid Quiroga Méndez.

SUMMARY

TITLE:
PROTOTYPE DEVICE FOR CUTTING STONE*

AUTHORS:
Edgar Hernán Cárdenas Rivera**
Luis Angel Velosa Moncada**

KEYWORDS:

Cutting, Block, Veneer, Paving Stone, Fragment, Screw, Counterpart.

DESCRIPTION:

By developing this degree project the Industrial University of Santander contributes to social and economic progress of the region, promoting the development of the construction industry through the design and construction of a prototype for a cutting stone machine. With this procedure, blocks, veneer and pavers are mainly obtained.

The device is mainly composed by two blades (upper and lower), that face produces pure cutting by pressure to a fragment of rock located between them.

The performance of the upper blade, with fast progress, consists of two counterparts power screws driven by a wheel, all located in a supporting table. While actuation of the lower blade, with low progress, consist in an air pilot bottle jack jointly connected, which is responsible for providing power to the system. Both blades are guided by four circular profile bars and all the elements are supported on a rectangular base.

All parts are dimensioned to provide high quality cutting for rock fragments of dimensions up to 40 [cm] x 15 [cm] x 30 [cm] and similarly to allow easy assembly and disassembly to facilitate transport. The prototype is special to take advantage of smaller stone fragments from the quarries.

*Dissertation

**Physical-Mechanical Engineering Faculty. Mechanical Engineering School. Manager: Eng. Jabid Quiroga Méndez.

INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción ha presentado avances significativos desde que las cuevas fueran las primeras y más codiciadas viviendas para el hombre primitivo. Desde entonces, la búsqueda incesante de materiales y métodos de edificación han generado un conocimiento tal que han cambiado radicalmente su modo de vivir. Sin embargo, después de varios siglos en los que se han desarrollado diferentes productos y procedimientos que han estado en contra del medio ambiente, hoy se echa de menos un enfoque que motive la implementación de diferentes alternativas que se muestren amigables con el ecosistema.

En la búsqueda del cambio, se ha encontrado a la piedra como una excelente opción para el sector, dadas diferentes características y propiedades que hacen apto su uso. Diferentes empresas como PAVE TECH, PARK INDUSTRIES y BLOCKSHEAR han elaborado maquinaria especializada para el trabajado de este material, con las que se obtienen diferentes productos en los que se destacan bloques, enchapes, adoquines y distintos elementos de ornamentación.

Colombia, que cuenta con una gran reserva de canteras a nivel nacional, especialmente en el suroccidente santandereano, padece de ciencia y tecnología aplicada a este campo, la forma de trabajar la piedra se realiza arcaicamente, con métodos y maquinaria inadecuada, generando desaprovechamiento de materia prima e insumos, elevando costos y exponiendo la mano de obra. Este déficit impide el correcto aprovechamiento de los recursos y no satisface las necesidades de desarrollo de la región, que además, no cuenta ni con medios económicos ni con fuentes adecuadas de energía, lo que dificulta la importación de equipos especiales. En este sentido, se hace necesaria la búsqueda de alternativas que den solución a la problemática vivida.

Es por eso, que se ha desarrollado este proyecto de grado titulado “Prototipo de Dispositivo Para Corte de Piedra” y cuyo objetivo principal es contribuir en la

misión de la Universidad Industrial De Santander de motivar al desarrollo tecnológico del país mediante el diseño y construcción de un prototipo que realice las operaciones de corte en piedras para la elaboración de bloques y enchapes.

En cada uno de los 7 capítulos en que se divide el trabajo se expone primeramente un breve repaso de lo que ha sido la piedra en la construcción a lo largo de la historia. Posteriormente se trata a detalle el diseño y los procedimientos de construcción del dispositivo y finalmente se documentan los resultados finales de las pruebas de puesta en marcha junto con los manuales de operación, ensamble y mantenimiento. De manera general, se registran cada uno de las etapas del proyecto.

1. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

1.1 OBJETIVO GENERAL

Contribuir en la misión de la Universidad Industrial De Santander de motivar al desarrollo tecnológico del país mediante el diseño y construcción de un prototipo que realice las operaciones corte en piedras para la elaboración de bloques y enchapes

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar y construir un prototipo de máquina manual para corte transversal de piedras que cumpla con los siguientes requerimientos:
 - ✓ Rango de potencia de 0.5 [hp] (operación netamente manual) hasta 5 [hp] (operación asistida mediante compresor)
 - ✓ Dimensiones de material para trabajado hasta 40x15(altura)x30 [cm]
 - ✓ Capacidad máximo de producción de 1 corte por minuto
 - ✓ Fuerza de corte máxima de 20 Toneladas
 - ✓ Adaptabilidad a la superficie irregular de la piedra a trabajar con una variación máxima de 2 cm
 - ✓ Diseño modular
- Realizar el manual de ensamble, mantenimiento y operación del equipo.
- Realizar la caracterización del material a fracturar y determinar su esfuerzo de compresión. Basado en la anterior información escoger el material, las dimensiones y la forma de la herramienta de corte.
- Realizar pruebas para verificar el desempeño del equipo.

2. LA PIEDRA EN LA CONSTRUCCIÓN

2.1 CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA

La piedra es una sustancia mineral dura y compacta compuesta por conjuntos de agregados mono o poliminerale que constituyen la litosfera y representan consolidados, cementados, aglomerados o de cualquier otra forma de modo que dan lugar a un material de alta resistencia.

Las piedras o “rocas” se han originado de distintas formas dando origen a distintos tipos:

2.1.1 Rocas ígneas: Estas piedras están formadas por la solidificación en la superficie del magma procedente de las zonas más profundas de la tierra; también se conocen como rocas magmáticas. Los minerales más comunes en las rocas ígneas son los silicatos; entre los componentes de color claro se encuentran el cuarzo y los feldespatos, y los de color oscuro incluyen las micas, los piroxenos, los anfíboles y el olivino. Entre los tipos de rocas ígneas se tienen:

2.1.1.1 Granito: Se forma por un enfriamiento lento y profundo del magma, permitiendo el desarrollo de los cristales. Es un componente fundamental de la corteza continental y es una roca muy común.

2.1.1.2 Basalto: Se produce debido a la solidificación brusca y superficial, de ahí su característica vitrificada y sin cristales grandes que le dan la propiedad de alta dureza y tenacidad.

2.1.1.3 Pumita: Es una piedra formada por el enfriamiento rápido de una lava rica en gases. También es conocida como la piedra pómez.

2.1.1.4 Diorita: Es una piedra parecida al granito pero de composición química distinta.

2.1.2 Rocas sedimentarias: Se forman por medio de la acumulación de sedimentos que se consolidaron en rocas duras a través de un proceso de erosión, transporte y sedimentación de rocas pre-existentes. Las rocas sedimentarias normalmente se encuentran formando capas o estratos. Dentro de las rocas sedimentarias se distinguen básicamente dos tipos:

2.1.2.1 Rocas detríticas: Están formadas por partículas de otras rocas como, por ejemplo: las areniscas, calizas y las rocas arcillosas.

2.1.2.2 Rocas físico-químicas y de origen biológico: Proviene de la acción de los seres vivos, como las rocas carbonatadas que pueden contener fósiles o impresiones de organismos acuáticos, ya que se forman cerca de aguas subterráneas y las salinas.

2.1.3 Rocas metamórficas: Se producen por las recristalizaciones de los minerales resultantes de acumulación de sedimentos que se hundieron en el fondo marino, dándose así un aumento de presión y temperatura en los mismos que los vuelve inestables a medida que van ganando profundidad. Se caracteriza por su aspecto foliado y esquistoso debido a la orientación de dichos materiales. Las rocas más comunes dentro de este grupo son:

2.1.3.1 Mármol: Es un tipo de piedra muy dura que cobra un brillo perfecto al ser pulida. El mármol puro es totalmente blanco; sin embargo son las impurezas que le dan su variación de tonos atractivos.

2.1.3.2 Pizarra: Una piedra oscura constituida por minerales laminares muy finos, de estructura hojosa con las capas claramente marcadas. Se presta para la obtención de placas planas e impermeables de escaso grosor.

2.2 CLASIFICACIÓN DESDE EL PUNTO DE VISTA MECÁNICO

Sin embargo, desde un punto de vista puramente mecánico, las rocas se pueden considerar un conjunto de cristales y granos minerales imbricados y cementados en el que existen microfisuras y poros y se distinguen cuatro grupos:

2.2.1 Rocas cristalinas: Consisten en cristales imbricados de silicatos, carbonatos, sulfatos u otras sales que están generalmente separados por microfisuras, las cuales se pueden encontrar también dentro de ellos mismos. Dentro de este grupo se encuentran el granito, basalto, gneiss, caliza, dolomía, mármol, sal común, entre otros.

2.2.2 Rocas clásticas: Consisten en granos o conjuntos minerales de otras rocas unidos mediante cemento. De las características de este cemento, dependen fundamentalmente sus propiedades mecánicas. Si este es resistente y une rígidamente los granos, la roca también lo es y se comporta de manera frágil. Por el contrario, si este es poco resistente la roca es disgregable. Ejemplos de estos tipos de piedra son las areniscas con varios cementos.

2.2.3 Rocas de grano muy fino: Sus componentes fundamentales son el limo y la arcilla que se encuentran con cierto grado de cementación según el proceso geológico, principalmente según la compactación sufrida. En estas piedras las propiedades mecánicas están relacionadas con la porosidad y el tamaño de grano. Dentro de este grupo se encuentran las argilitas, limolitas, margas, entre otros.

2.2.4 Rocas orgánicas: Las principales rocas orgánicas son los carbones. Las antracitas y las hullas también componen este grupo, son relativamente resistentes pero constantemente tienen fisuras. Dentro de esta clasificación encontramos también el lignito, las pizarras bituminosas, entre otros.

2.3 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS

La piedra, como la mayoría de los sólidos, tiene características básicas que le permiten diferenciarse de otros materiales:

2.3.1 Densidad: Dependiendo del estado en que se encuentre la piedra, se distinguen dos tipos de densidades:

2.3.1.1 Densidad húmeda: Es la relación entre la cantidad de masa de una muestra en estado natural (de ahí que también sea conocida como densidad natural), es decir, con cierto contenido de humedad y el volumen que ocupa:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

Donde:

ρ = densidad de la muestra de piedra

m = masa de la muestra de piedra

v = volumen de la muestra de piedra

2.3.1.2 Densidad Seca: Es la relación entre la cantidad de masa de la piedra y el volumen que ocupa pero calentada previamente a una temperatura de 110 ° C:

$$\rho_s = \frac{m_s}{v_s} \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

Donde:

ρ_s = densidad de la muestra de piedra seca

m_s = masa de la muestra de piedra seca

v_s = volumen de la muestra de piedra seca

En la tabla 1 se muestra las densidades de algunos tipos de minerales:

Tabla 1. Densidad de algunos tipos de minerales

Mineral	Densidad (kg/m ³)
Magnetita	5710-5180
Olivino	3250-3400
Augita	3200-3400
Anfíboles	2980-3200
Biotita	2900
Dolomita	2870
Moscovita	2830
Calcita	2710
Oligoclasa	2640-2670
Cuarzo	2650
Ortosa	2570

Fuente: Mecánica de Rocas: fundamentos e ingeniería de Taludes, Pedro Ramírez Oyanguren – Leandro Alejandro Monge, p.47

2.3.2 Humedad: La humedad se define como una relación porcentual entre la masa de agua que se evapora de la muestra de la piedra a una temperatura de 110 °C y la masa de la muestra de la piedra seca:

$$H = \frac{m_H}{m_s} * 100 \% \text{ (Ecuación 2.3)}$$

Donde:

H = porcentaje de humedad

m_H = masa de agua contenida en la muestra de piedra

m_s = masa de la muestra de piedra seca

2.3.3 Porosidad: La porosidad es una relación porcentual entre el volumen ocupado por los poros y el volumen total. En algunos tipos de piedra como los granitos los poros se pueden ver a simple vista pero en otros tipos sólo se pueden ver bajo el microscopio:

$$n = \frac{V_p}{V} * 100\% \quad (\text{Ecuación 2.4})$$

Donde:

n = porosidad

V_p = volumen de los poros

V = volumen total

2.3.4 Grado de saturación: Es la relación porcentual entre el volumen ocupado por el agua y el volumen total de poros:

$$S_r = \frac{V_H}{V_p} * 100\% \quad (\text{Ecuación 2.5})$$

Donde:

S_r = grado de saturación

V_H = volumen ocupado por el agua

V_p = volumen total de poros

2.4 PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS

Para un uso adecuado de la piedra se han de conocer a detalle sus propiedades físico-mecánicas principales para determinar su correcta aplicación.

La apariencia es una propiedad esencial inherente a este tipo de material; para trabajos de fachada, debe tener una textura adecuada y compacta; el color claro es más adecuado ya que es más durable. La piedra partida no debe tener un color apagado y debe tener una textura libre de cavidades y fisuras de material blando. Las estratificaciones tampoco han de ser visibles.

También es importante tener en cuenta los efectos ambientales que pueden deteriorar la piedra y pueden afectar su durabilidad. La lluvia afecta física y químicamente a la piedra. La acción física se debe a la erosión y capacidad de transporte de la descomposición, oxidación e hidratación de los minerales presentes. El agua interna de las piedras se congela bajo condiciones de bajas temperaturas y al expandirse produce grietas y fisuras, así mismo, si es expuesta a gradientes de temperatura constantes, puede ocurrir un deterioro debido a que están producidas con materiales de diferentes coeficientes lineales de expansión. De igual manera el viento produce arrastre de partículas sólidas que pueden producir abrasión.

Por otra parte materiales orgánicos e inorgánicos en contacto con humedad o agua de lluvia puede producir el comienzo de un proceso bacteriológico, lo que produce una descomposición y agentes químicos como hongos, ácidos u hongos ácidos en la atmósfera deterioran la piedra. Las rocas compuestas de CaCO_3 , MgCO_3 son afectadas negativamente.

Algunas de las propiedades geomecánicas que determinan la viabilidad de este material para el uso en la construcción son:

2.4.1 Resistencia: La piedra ha de ser fuerte, durable y resistente a la acción de degradación con el tiempo. La resistencia a la compresión de las piedras de los edificios, en la práctica oscila entre 60 y 200 N/mm².

Existen relaciones entre las resistencias a compresión uniaxial de las rocas y sus módulos elásticos, que varían según las litologías. Normalmente la relación módulo/resistencia es del orden de 300 y varía entre 80 y 500, según se muestran en la tabla 2:

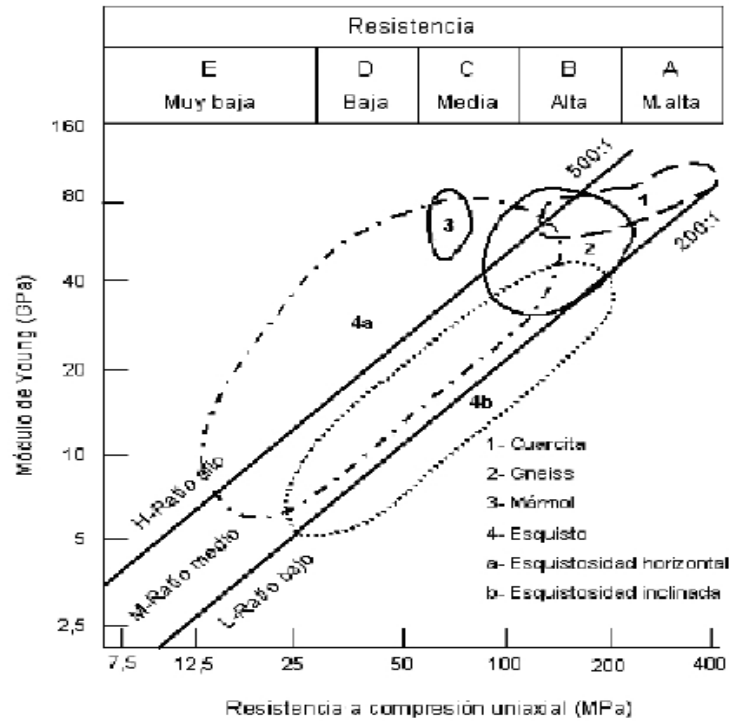
Tabla 2. Relación módulo/resistencia de algunos tipos de roca

<i>Tipo de roca</i>	<i>Ratio Módulo/Resistencia</i>
Arenisca	100-400
Argilita	80-300
Basalto	200-500
Caliza	300-500
Granito	300-500

Fuente: Mecánica de Rocas: fundamentos e ingeniería de Taludes, Pedro Ramírez Oyanguren – Leandro Alejandro Monge, p.64

La resistencia a la compresión simple y el módulo de elasticidad se relacionan en los denominados gráficos de Deere-Millar. En la figura 1 se muestra esta relación para la cuarcita, esquisto, gneis y mármol, utilizando en ambos ejes escalas logarítmicas.

Figura 1. Relación entre módulo de elasticidad y resistencia a compresión simple



Fuente: Mecánica de Rocas: fundamentos e ingeniería de Taludes, Pedro Ramírez Oyanguren – Leandro Alejandro Monge, p.64

En la tabla 3 se recopilan datos de resistencia a la compresión, tracción y flexión de varias rocas, obtenidos por los investigadores Bieniawski (1974) y Brown (1980), Hoek y Bray (1981) y Brady y Brown (1985):

Tabla 3. Resistencia a la compresión, tracción y flexión de algunos tipos de roca

Rocas	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la tracción (MPa)	Resistencia a la Flexión (MPa)
Rocas batolíticas			
Granito granodiorita	120-280	4-7	10-20
Gabro	150-200	5-8	10-22

Rocas extrusivas			
Riolitas	80-160	5-9	10-22
Dacita	80-160	3-8	9-20
Andesita	40-320	5-11	13-25
Basalto	30-420	6-12	14-26
Diabasa	120-250	6-13	12-26
Tobas volcánicas	5-60	0,5-4,5	3-8
Rocas sedimentarias			
Arenisca	10-120	1,5-6	4-16
Caliza de grano fino	50-200	4-7	5-15
Caliza de grano grueso	4-60	1-3,5	2,5-7
Caliza	49-200	1,5-5	3-9
Dolomita	15-200	2,5-6	4-16
Esquistos	-	-	20-30
Rocas metamórficas			
Mármol	50-180	5-8	8-12
Gneis	80-250	4-7	8-20

Fuente: Mecánica de Rocas: fundamentos e ingeniería de Taludes, Pedro Ramírez Oyanguren – Leandro Alejandro Monge, p.65

2.4.2 Peso: El peso es el indicativo de porosidad y densidad. Para la estabilidad de una estructura como un dique, represa, etc. se requieren piedras más densas, sin embargo para la construcción de cúpulas, arcos, etc. se necesitan de menor densidad.

2.4.3 Dureza: Esta propiedad es muy importante para suelos, pavimentos, pistas de puentes, etc. esta propiedad es determinada por la escala de Mosh.

2.5 EXTRACCIÓN

La extracción de las rocas se realiza en formaciones rocosas llamadas canteras que se encuentran generalmente a cielo abierto. El proceso de extracción se planea de antemano de acuerdo a las características de las rocas, los patrones de estratificación y el uso que se le destine al producto final. Por ejemplo, si se trata de obtener agregado para concreto o para bases de caminos se emplean explosivos de alto poder, si se requiere para formar bloques que después serán cortados se puede emplear desde pólvora hasta sierras con punta de diamante, todo esto depende de la dureza de la roca y de la precisión de corte que se requiera.

Para obtener bloques de determinados tamaños se procura aprovechar grietas que tenga la roca debidas a su estratificación de origen o a una causa accidental. Se utilizan entonces cuñas y palancas que lleguen a producir el desprendimiento del bloque en cuestión. Si la roca no tuviera estas grietas se hacen artificialmente aprovechando los puntos más favorables, es decir, planos de estratificación, zonas alteradas, etc., de forma que el bloque que se quiere obtener quede unido a la roca por una de sus caras solamente. Se practican después una serie de agujeros junto a esa cara donde se aplican cuñas y palancas hasta que el bloque quede desprendido.

2.6 TRABAJADO

Una vez extraída, la roca puede ser elaborada para transformarse en un bloque, adoquín, losas y enchapes mediante distintas técnicas. La cantería no sólo comprende los trabajos de corte y dimensionamientos finales, sino que también

comprende los trabajos de terminación, que proporcionan a la superficie diferentes aspectos que le brindan buena apariencia. El trabajado que requiere la piedra para adecuarla es más costoso que el valor del material en sí.

2.6.1 Corte: Se realiza al pie de la cantera para evitar bloques excesivamente grandes y de difícil transporte. Para ello se deben utilizar los procedimientos y herramientas adecuadas, que tradicionalmente son los mismos utilizados durante la extracción entre los que destacan mazas, cuñas y sierras.

Sin embargo, en la actualidad existen dispositivos que permiten el corte de roca a fin de obtener material a medida o de mejor manejo para facilitar su transporte, que van desde manuales y portables hasta grandes de gran complejidad, estas últimas se caracterizan por ser automatizadas. El tipo de dispositivo a utilizar depende directamente de la aplicación y la rugosidad de la superficie del material. A continuación se describen algunos de ellos:

2.6.1.1 Disco: Esta herramienta por lo general se caracteriza por tener dientes diamantados o con incrustaciones de carburo de tungsteno que le suministran alta dureza y proporcionan un excelente acabado; una potencia de hasta 6 [hp] es suministrada por un motor eléctrico de corriente alterna que le brinda altas velocidades de rotación (mayores a 4500 [rpm]).

Figura 2. Corte con disco

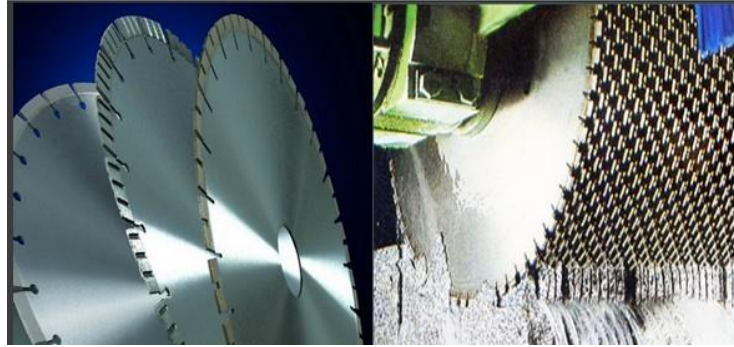


*Fuente: Vives de la Cortada. Tienda de minerales.
<<http://vivescortadaminerals.com/about/>>*

La elevada velocidad de rotación del disco implica una gran carga de fricción lo cual genera un aumento en la temperatura y un desgaste considerable del mismo; Por esta razón se debe incluir un sistema de refrigeración y lubricación. Dependiendo la geometría del disco el refrigerante puede ser aire sin ningún tipo de lubricante o agua que actúa de forma dual (refrigerante y lubricante).

En algunas aplicaciones donde se tienen piedras muy gruesas o de geometría compleja la herramienta no puede realizar el corte total del espesor de la piedra en un solo recorrido, por lo cual se debe incluir un segundo grado de libertad ya sea en la mesa de soporte o en el propio disco de corte para poder dar profundidad a la operación, esto genera una estructura más compleja. Para la disminución en los tiempos de producción se suele trabajar con equipos con múltiples discos separados por el espesor requerido del material (figura 3).

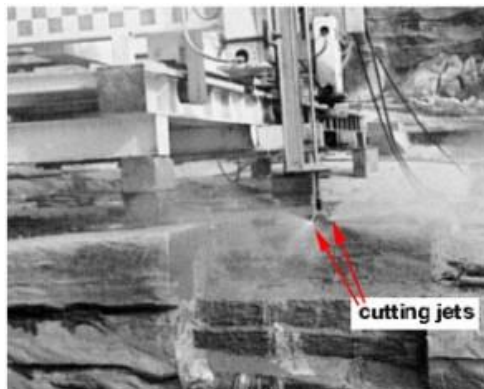
Figura 3. Máquina de múltiples discos



Fuente: Huada Superabrasive Tool technology. Máquinas de herramientas diamantadas. < <http://www.hqutool.com/Portuguese/Default.aspx> >

2.6.1.2 Chorro de agua: Este proceso de índole mecánica consiste en un chorro de agua a presión suministrada por medio de una bomba en combinación con un intensificador con lo cual se puede llegar hasta 4000 [Bar] de presión, cuyo diámetro de la boquilla oscila entre 0,08 mm a 0,45 mm de diámetro, por el cual, sale una mezcla de agua y abrasivo lanzado a una presión muy elevada, capaz de cortar cualquier tipo de material con espesores de hasta 400 [mm] en aplicaciones especiales y con un excelente acabado (figura 4).

Figura 4. Corte por chorro de agua



Fuente: KTM Waterjet. Tecnología de corte por chorro de agua. < <http://blog.kmt-waterjet.es/about-us/> >

La característica principal de este procedimiento radica en el control de posicionamiento de la boquilla realizado mediante un programa de diseño asistido por computador, haciéndolo ideal para trabajos de extrema precisión. El corte por chorro de agua es un proceso revolucionario de máxima utilidad que se hace extensible a numerosos trabajos industriales; al ser un procedimiento de corte en frío resulta especialmente interesante ya que está demandado en todas las aplicaciones en las que el material no se pueda ver afectado por el calor. Existen numerosas ventajas que hacen de éste un producto puntero en el mundo industrial, respecto a otros métodos más limitados. Sin embargo, a pesar de que no requiere tratamiento posterior para el agua debido a que no la contamina, los elevados costos necesarios para su instalación y mantenimiento, además del significativo consumo de potencia no lo convierten en la primera opción para trabajos de cantera.

2.6.1.3 Sierras con punta de diamante: Las cuchillas de diamante tienen un núcleo de acero sólido y tienen un metal incrustado con diamantes industriales. Debido a que los distintos tipos de roca difieren en dureza y textura, es importante seleccionar de manera adecuada la hoja dependiendo de la aplicación. Las cuchillas de diamante pasan fácilmente a través de cualquier piedra, pero la parte metálica que sostiene los diamantes no debe ser demasiado dura o demasiado blanda (figura 5). Las mismas reglas se aplican para la perforación de piedras con brocas de diamante. Si se permite que la cuchilla de diamante o la punta tengan un sobrecalentamiento se podría ocasionar la pérdida de los diamantes o deformaciones en las cuchillas.

Figura 5. Corte con hilo diamantado



Fuente: SOLGA Diamant. Herramientas diamantadas.
<<http://www.solgadamant.com/empresa.asp?id=1&lang=ESP&divobert=divempres a#>>

Los hilos diamantados son recubiertos con caucho para aplicaciones de más exigencia tales como las canteras de granito, esto para soportar fácilmente los aumentos de temperatura provocados por una deficiente refrigeración. Además, los plásticos utilizados para recubrir los hilos para el corte en máquinas estáticas aseguran la fijación de las perlas al cable y protegen el cable de acero, permitiendo obtener un corte preciso.

Este método es amigable con el ambiente ya que el polvo producido y el ruido generado son significativamente inferiores en comparación con otras técnicas de corte. Este método es apto para aplicaciones donde se desee explotar piedras de más alto costo en el mercado debido a las exigencias económicas que producen su manejo.

2.6.1.4 Guillotina automática: Esta máquina hidráulica de estructura maciza contiene una herramienta superior con sistema de enderezamiento de cuchillas adaptadas al cilindro principal enfrentadas contra un sistema de cuchillas fijo en la

parte inferior que se accionan para producir el corte. Las cuchillas cuentan con la posibilidad de realizar un juego de recambio con otra forma y ángulo fijo dependiendo de los requerimientos del proceso. La herramienta de corte se caracteriza por la adaptabilidad a la forma y rugosidad del material a trabajar (figura 6).

Estos elementos son especialmente diseñados para el corte de rocas duras como granito, grabo o sienita. La relación óptima de la fuerza y velocidad del corte proporciona una excelente producción y el agregado hidráulico de la máquina está equipada con un dispositivo de refrigeración de aceite/aire y con un calorífero para trabajo en invierno.

Figura 6. Guillotina automática



Fuente: GESTRACZ. Máquinas y líneas de producción para el corte de piedra natural u hormigón. < <http://www.gestracz.com/sp.php?page=home> >

Además de esto, la máquina cuenta con mesas de soporte giratorias que permiten operar materiales de trabajo de cuantioso peso con gran facilidad. Dependiendo de la exigencia se dispone de una altura de corte de hasta 500 mm utilizando una

bomba hidráulica de 300 [bar] que genera hasta 150 [ton] con 12 [KW] de potencia.

Las bombas hidráulicas se dividen en dos tipos: hidrodinámicas e hidrostáticas.

Las hidrodinámicas se utilizan en instalaciones donde solo se requiere vencer la resistencia creada por la diferencia de niveles entre la estación de bombeo y la estación consumo y el rozamiento natural del fluido bombeado con la tubería. Funcionan mediante fuerza centrífuga; el fluido ingresa por la parte central y frontal del dispositivo y es expulsado hacia el exterior mediante un elemento impulsor que gira a gran velocidad. Estas bombas no sirven para transmitir potencia ya que el nivel de presión que alcanzan es muy limitado, ya que depende de la velocidad de giro del elemento impulsor y a que no hay separación entre los puertos de succión y descarga, de hecho es posible obstruir el puerto de descarga en pleno funcionamiento de la bomba sin daño alguno.

Las hidrostáticas suministran un volumen fijo de fluido en cada carrera del elemento impulsor sin importar la presión existente en el puerto de descarga, es decir, pueden inducir una presión alta hasta vencer el elemento más débil que se encuentre sometido a la presión de descarga; por esta razón en un circuito hidráulico que contenga este tipo de bombas se debe colocar una válvula de seguridad que limite la presión en el puerto de descarga. Estas se fabrican en una gran variedad de modelos que varían en su elemento impulsor, caudal y nivel de presión admisible. Como es de imaginar para este tipo de unidades hidráulicas se necesitan bombas de desplazamiento positivo que tengan una alta eficiencia volumétrica, capaces de generar altas presiones (alrededor de 10000 psi), la más utilizada es la bomba de pistón, ya que su eficiencia volumétrica es muy cercana al 100 % y tiene una impresionante facilidad de inducir presiones muy altas, con tan solo disminuir el diámetro del pistón.

2.6.1.5 Corte con guillotina manual: Este dispositivo al igual que la guillotina automática genera el corte a través de dos cuchillas enfrentadas con la diferencia de que ambas son fijas teniendo la cuchilla superior pivotada para proporcionarle tolerancia angular, es decir, no tienen la misma adaptabilidad ni a la rugosidad ni a la forma de la piedra. La aproximación de las cuchillas se proporciona generalmente a través de un tornillo de potencia accionado mediante un volante manual pero en dispositivos más pequeños el sistema que contiene la cuchilla superior se debe adecuar mediante pasadores en agujeros de diferentes niveles. La cuchilla inferior se encuentra oculta debajo de una mesa retráctil, y entra en contacto con la roca una vez se acciona un cilindro hidráulico solidario a esta que proporciona la fuerza de corte.

Debido a que tienen bajo peso y pueden ser fácilmente desarmables, estos dispositivos pueden ser transportados cómodamente a lugares de explotación de difícil acceso para así tomar el material extraído directamente de las canteras y cortarlos a las dimensiones requeridas, logrando de esta manera una optimización del proceso debido a que se transporta la piedra directamente para suministrarle acabado, evitando así el transporte y manejo de residuos sólidos.

Además de emplearla como sistema de corte, esta máquina puede ser utilizada para desbaste de rocas, abujardado de bloques de concreto, corte de ladrillo macizo, baldosa y enchapes cerámicos. Estas características hacen de la guillotina manual un dispositivo también aplicable para trabajos de construcción e ingeniería civil.

Pese a que son portables, éstas máquinas tienen en el mercado actual un costo aproximado entre 1400 y 1700 USD aparte de los costos de envío e importación, que se deben tener en cuenta puesto que no son fabricadas en Colombia (figura 7).

Figura 7. Guillotina manual (Stone splitter)



Fuente: BLOCKSHEAR. Herramientas hidráulicas portables. < http://www.blockshear.com/blockshear_slab.html >

Este dispositivo está diseñado para los cortes de roca, concretos y cerámicos que no presenten ni rugosidad excesiva ni formas muy irregulares, es decir, con superficies paralelas. Poseen una capacidad de corte de hasta 18 toneladas de fuerza para manipular rocas de hasta 62 cm x 21 cm de área transversal.

La fuerza de corte es proporcionada por una unidad de potencia hidráulica portable, esto es, un sistema hidráulico de bajo galonaje y de altas presiones de trabajo integrado en un dispositivo compacto y que está compuesta por una bomba, un tanque, válvulas de control y un elemento de accionamiento de un cilindro de simple efecto. El tipo de accionamiento puede ser manual, en el caso de que se cuente únicamente con un mecanismo de palancas para generar la potencia o con un obturador neumático cuando se tiene la posibilidad de pilotarlo mediante la conexión a un compresor a través de un cilindro neumático intermitente (figura 8).

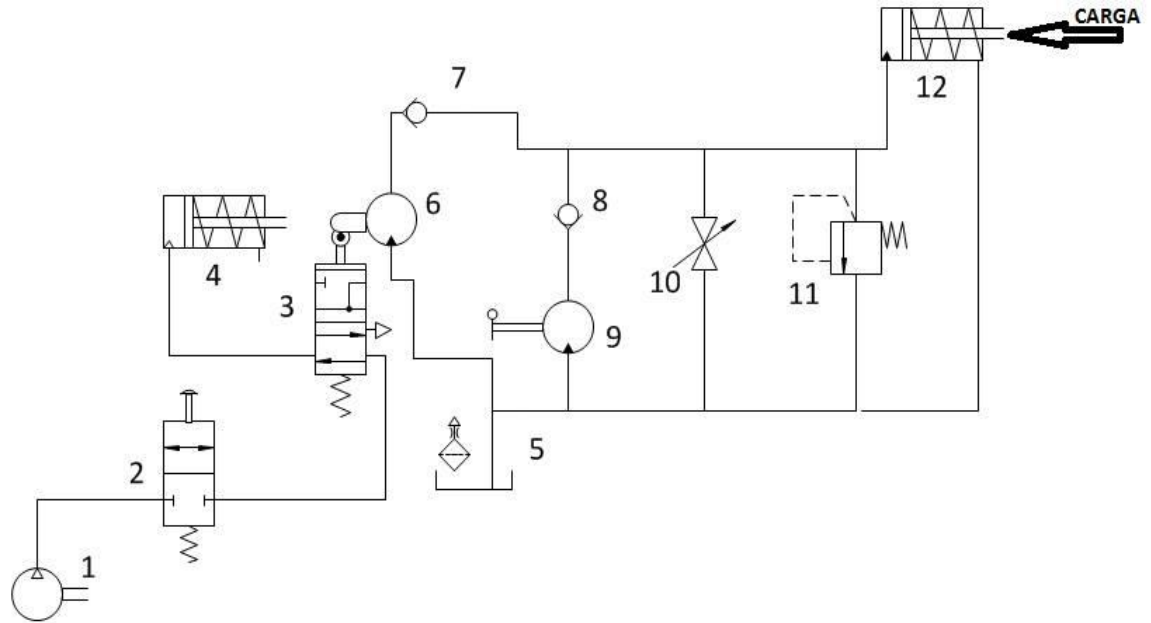
Figura 8. Gato de botella hidroneumático



Fuente: Importaciones Intertran. <http://intertranferreteria.co/index.php?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&product_id=82&category_id=35&option=com_virtuemart&Itemid=1&vmchk=1&Itemid=1>

El cilindro neumático intermitente posee un el embolo una válvula maniobrada por un final de carrera que al accionarse permite el paso de aire del lado del pistón produciendo la descompensación para que el resorte efectúe el retroceso del pistón hasta que se vuelva a cerrar la válvula, esta acción genera de manera automática el movimiento intermitente, es decir, se puede conectar directamente al depósito de aire con esta válvula haciendo las veces de interruptor periódico. En la figura 9 se puede ver un esquema neumático del proceso descrito:

Figura 9. Esquema del cilindro neumático intermitente

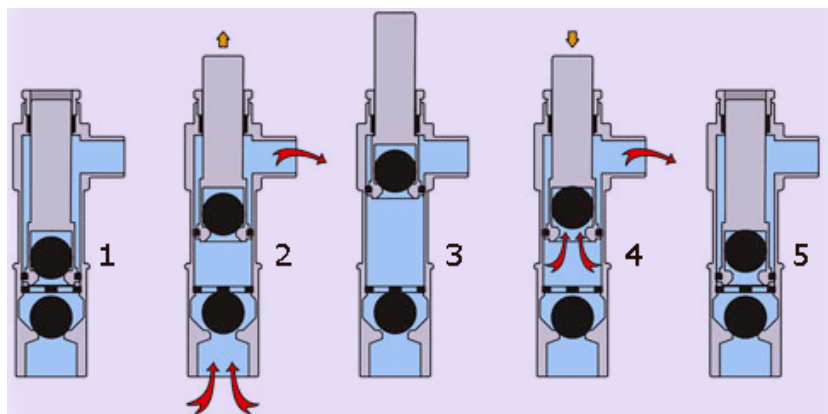


numero	nombre	descripción
1	compresor	Suministra aire comprimido a 150 psi
2	pulsador	Válvula que permite accionar el equipo
3	Válvula intermitente	Permite que el cilindro neumático actúe como un motor lineal, realizando ciclos periódicamente sin desactiva la válvula número 2.
4	Cilindro de simple efecto neumático	En su carrera de extensión acciona una bomba de cilindro
5	Depósito de aceite	Contiene el fluido hidráulico
6	Bomba de cilindro	Impulsa el fluido hidráulico hacia el cilindro , 12
7	Válvula antirretorno	Evita el flujo hacia la bomba 6
8	Válvula antirretorno	Evita el flujo hacia la bomba 9

9	Bomba de cilindro manual	Permite accionar el cilindro 12, mediante una palanca
10	Válvula de liberación	Permite despresurizar el cilindro 12 para su retroceso
11	Válvula de seguridad	Protege al sistema contra sobrecargas, limitando la presión del sistema.
12	Cilindro hidráulico de simple efecto	Aplica la carga de accionamiento.

El movimiento alternativo se repite de manera indefinida mientras se encuentre conectado al suministro de aire o en su defecto mientras se accione el mecanismo de palancas, dependiendo del caso. En la figura 10 se muestra un esquema del accionamiento de la unidad portable:

Figura 10. Esquema de accionamiento del gato hidroneumático



Fuente: Quiminet. Información y negocios. < <http://www.quiminet.com/articulos/las-bombas-de-piston-sus-caracteristicas-y-aplicaciones-23519.htm> >

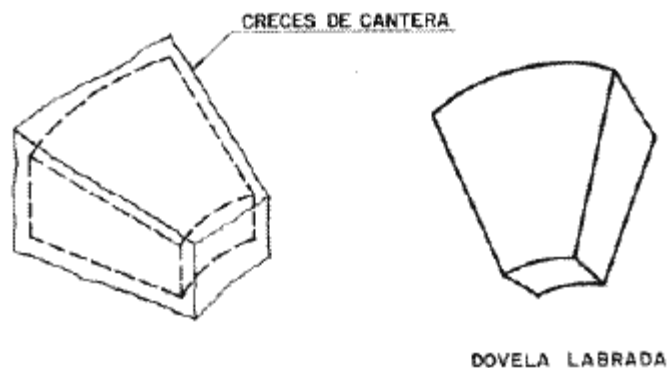
1. Posición del pistón totalmente retraído.
2. En la carrera ascendente se aspira líquido ya que la esfera superior actúa como válvula antirretorno de la descarga a la succión, dejando solo la

opción que la esfera inferior se despegue de su asiento y permita la entrada del fluido.

3. Pistón totalmente extendido
4. Carrera de descarga: La presión inducida hace que esfera inferior impida el paso de fluido hacia el depósito, mientras que la esfera superior se despega de su asiento por acción de esta, obligando a que el fluido se desplace hacia el orificio de descarga.
5. Posición del pistón totalmente retraído.

2.6.2 Desbaste: Este trabajo consiste en dar a las piedras una forma más aproximada a la que van a tener en su aplicación (figura 11). Las dimensiones del material tienen un labrado posterior (acabado) en el que se terminan de ajustar las dimensiones definitivas.

Figura 11. Desbaste



*Fuente: Petrecal. Suministro y colocación de piedra. <
<http://www.petrecal.com/piedra/> >*

Para el trabajo de desbaste se utiliza tradicionalmente la maceta, el cincel y el martillo de desbastar e incluso se tiende a utilizar pulidora con discos especiales de corte para madera, lo que hace más peligroso el proceso. Pero como ya se ha visto, este proceso puede ser realizado por la guillotina manual o la automática.

2.7 APLICACIONES

El uso de la piedra depende de la naturaleza del trabajo, tipo de estructura en la cual se va a utilizar, disponibilidad y costo del transporte. Como material estructural las piedras más utilizables son: el granito, gneis, arenisca, caliza, mármol, cuarcita y pizarra. Se pueden distinguir diferentes aplicaciones como:

2.7.1 Cimentaciones y paredes: Piedras de canteras, partidas y cortados mediante sierras se utilizan para construir estructuras subterráneas de los edificios. Las piedras partidas y cortadas como la calizas, areniscas, dolomitas y volcánicos se utilizan para paredes, pilares, etc.

2.7.2 Fachadas y elementos arquitectónicos: Piedras de fácil pulido y agradable textura.

2.7.3 Elementos de edificios: Escaleras, descansillos, parapetos, etc. son fabricados de granito, mármol, caliza etc. Las losas y piedras para los dinteles de puertas y ventanas, cornisas son hechos con las mismas losas que la fachada.

2.7.4 Estructuras subterráneas y puentes: Se construyen con rocas de ignición y sedimentación. Túneles y partes inferiores de los puentes se construyen con granito, diorita, garbo y basalto. Las piedras vistas y de fachada para túneles y puentes son hechas con piedras con surcos y acabados ondulados.

2.7.5 Elementos con resistencia al calor y químicamente resistentes: Para condiciones de trabajo a altas temperaturas, han de ser hechos con basalto, andesita y tuff. Los elementos de los edificios se protegen contra ácidos, utilizando una losa hecho de granito o piedras silíceas. Los calizos, dolomíticos, mármol y magnesita tienen una excelente resistencia a los alcalinos.

2.8 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

La piedra se presenta como un material alternativo para la construcción debido a que se caracteriza, entre otras cosas, por tener buenas propiedades y alta variabilidad que lo hacen apto para distintas aplicaciones, además de que es amigable con el ambiente. Pero como todo material tiene algunos inconvenientes para ciertos usos.

2.8.1 Ventajas:

- Tiene larga vida y requiere poco mantenimiento.
- Es buen aislante acústico.
- Si se tiene un grosor adecuado (aproximadamente de 50 [cm]) disminuye la oscilación de la temperatura interior.
- Es buena protección contra el calor.
- No es inflamable.
- No liberan sustancias nocivas para la salud.

2.8.2 Desventajas:

- Complicado para transportar.
- La construcción se hace más larga que con materiales tradicionales.
- Requiere maquinaria para acabados finos.
- No es conveniente utilizarla para techos.
- Riesgos de deterioro por humedad.

3. DISEÑO DEL PROTOTIPO

El diseño propuesto para el prototipo se basa en la guillotina de corte manual teniendo como principal diferencia la herramienta de corte superior, donde se plantea un sistema de cuchillas independientes para que el dispositivo pueda adaptarse a la rugosidad y a la forma del material a trabajar. De la misma manera se proyecta una mejora al sistema de accionamiento manual de la mesa superior para que pueda ser maniobrada con mayor facilidad.

3.1 DESCRIPCION DEL EQUIPO

El dispositivo manual para corte de roca está compuesto por un sistema motriz (gato de botella), dos sistemas de herramientas de corte (superior e inferior), un sistema de posicionamiento de cuchilla superior y los elementos estructurales que ofrecen soporte a cada uno de los componentes. Cada uno de estos sistemas se detalla en profundidad a continuación:

3.1.1 Estructura: La estructura del dispositivo la conforman una base, dos mesas (superior y fija) y 4 barras de perfil circular (figura 12).

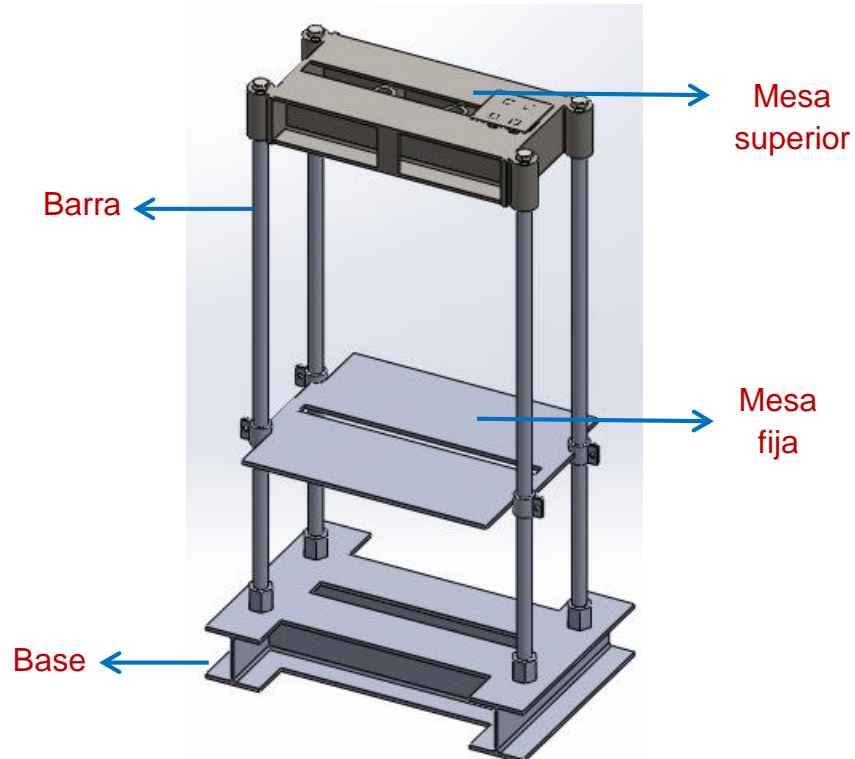
La base es de forma rectangular y está armada mediante vigas de perfil W unidas mediante soldadura. Este elemento tiene, además, 4 tuercas soldadas que le permiten el acople con las 4 barras.

La mesa superior está armada igualmente mediante vigas de perfil W unidas a través de láminas de acero estructural en sus extremos. Dos tuercas unidas a esta través de láminas permiten el acople con dos tornillos de potencia que brindan avance rápido la cuchilla superior. Este elemento también cuenta con tramos de tubería de perforación adecuadas con topes ubicados en cada una de las esquinas, las cuales permiten el acople con las barras.

La mesa fija consiste en una lámina estructural cortada en forma rectangular y compuesta además de 4 abrazaderas que cumplen la misma función que las tuberías de perforación en la mesa superior y que las 4 tuercas en la base. Es en este elemento donde reposa la piedra que va a ser cortada.

Las 4 barras de perforación cuentan con rosca externa en un extremo, para el acople con la base a través de las tuercas, y rosca interna en el extremo contrario, Para la unión con la mesa superior a través de la tubería de perforación, esto además, para facilitar el montaje y desmontaje del dispositivo

Figura 12. Estructura del prototipo



3.1.2 Herramientas de corte: El sistema de corte es el encargado de mantener contacto con la roca con el objetivo de transmitirle la fuerza necesaria que induzca el esfuerzo mínimo para provocar finalmente la falla por fractura, dividiéndola en dos partes. Para efectos de análisis se divide en dos subsistemas: Herramienta superior y herramienta inferior.

La herramienta superior cuenta con un mecanismo de cuchillas adaptables (20 en total) que le permiten acomodarse a la rugosidad y forma de la roca, con variaciones hasta de 2 [cm] (figura 13). Cada una de las 20 secciones independientes cubre una longitud de 2.54 [cm], con lo que se obtiene finalmente un rango de trabajo de hasta 50 [cm], que es la longitud máxima que puede tener la roca en una de sus dimensiones.

Figura 13. Cuchillas adaptables



Fuente: *HYDRASPLIT. Stationary Stone Splitters.*
<<https://www.youtube.com/watch?v=bhzajo-fOIY>>

Esta configuración permite asegurar que exista un contacto colineal entre las dos cuchillas con el material a trabajar, para formar un plano de corte (figura 14); esta situación fuese complicada de lograr si el aparejo fuera enterizo, tal como la cuchilla inferior.

Figura 14. Plano de corte



Fuente: Mecánica de Rocas: fundamentos e ingeniería de Taludes, Pedro Ramírez Oyanguren – Leandro Alejano Monge, p.35

Cada una de las cuchillas independientes se posiciona verticalmente mediante unas cuñas, con las que tienen contacto directo y que modifican su profundidad a través de su movimiento horizontal. Cada cuña es empujada por un resorte solidario a un yugo accionado mediante una palanca, que desplaza todo el conjunto al mismo tiempo; esto le permite seguir avanzando a las cuchillas que aún no hayan tocado la roca, mientras que para las que si la han hecho, el desplazamiento del yugo se absorbe en la compresión del resorte al cual está conectado.

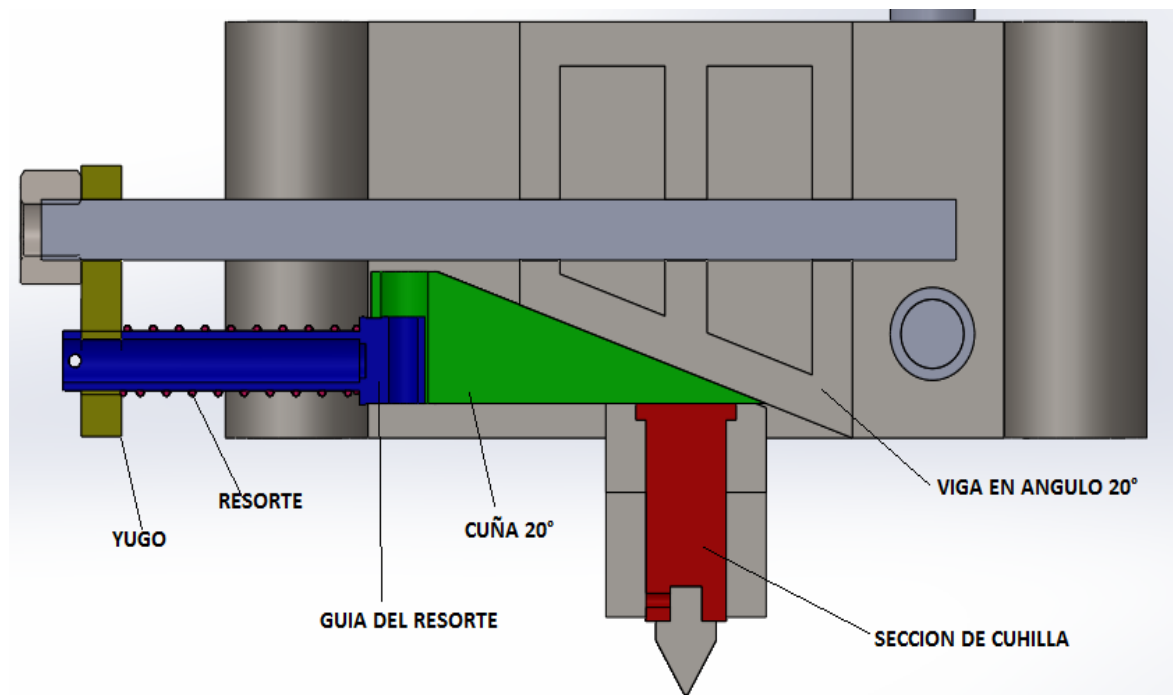
Las cuchillas se soportan mediante una caja metálica ensamblada a una pieza rectangular de perfil trapezoidal armada a base de láminas de acero estructural. Este perfil se ha diseñado para que tenga contacto con la cara más larga de la cuña y así brindarle el desplazamiento en dos dimensiones. El armazón cuenta además con tubería al carbono unida a este de la misma manera que se unen las barras de perforación a la mesa superior. Esta tubería limita el movimiento de la herramienta de corte superior en una sola dirección (movimiento vertical), que es

proporcionado a través de dos tornillos de potencia que forman parte de su sistema de posicionamiento.

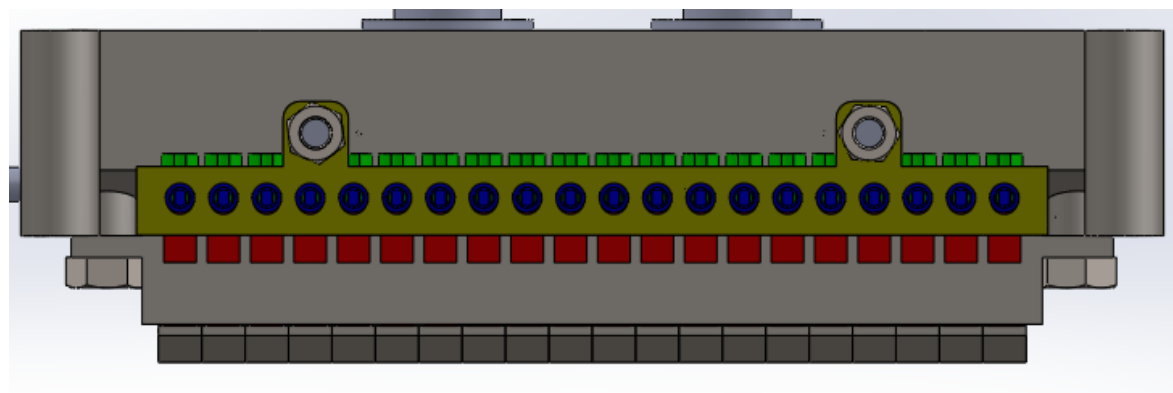
Cada uno de los elementos que componen este sistema, además de un esquema de desplazamiento, son ilustrados en la figura 15.

Figura 15. Herramienta de corte superior. a) Vista en sección b) Vista posterior. c) Esquema de desplazamientos.

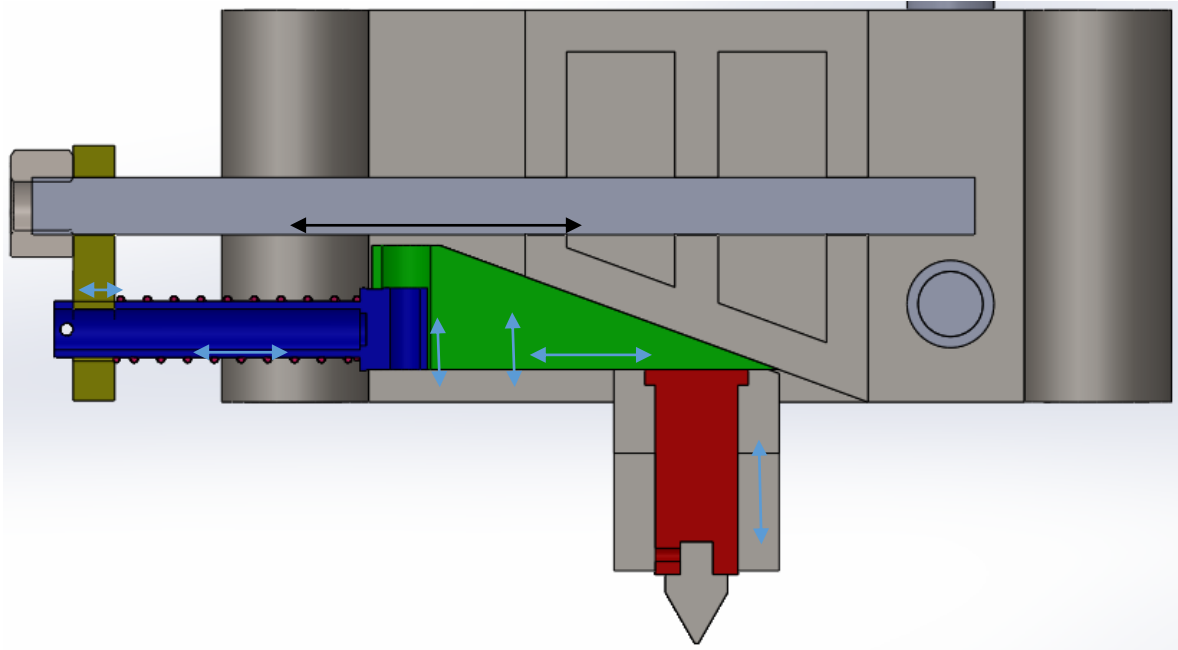
a)



b)



c)



La herramienta inferior presenta una configuración mucho más sencilla; está compuesta por un tramo de riel de tren al que se le han añadido dos perfiles rectangulares que forman un canal en donde se apoya una cuchilla enteriza ajustada a través de tornillos prisioneros. La cuchilla enteriza presenta el mismo perfil que las cuchillas superiores. La guía del conjunto se facilita de la misma manera que la herramienta superior.

3.1.3 Sistema de posicionamiento: Se tienen distintos sistemas de posicionamiento para cada una de las herramientas de corte. El sistema de posicionamiento de la cuchilla superior se encarga de proporcionar avance rápido en dirección vertical con el objetivo de minimizar el recorrido de la cuchilla inferior, de avance lento. Gracias al margen de posición con que se cuenta se pueden trabajar con distintos tamaños de roca.

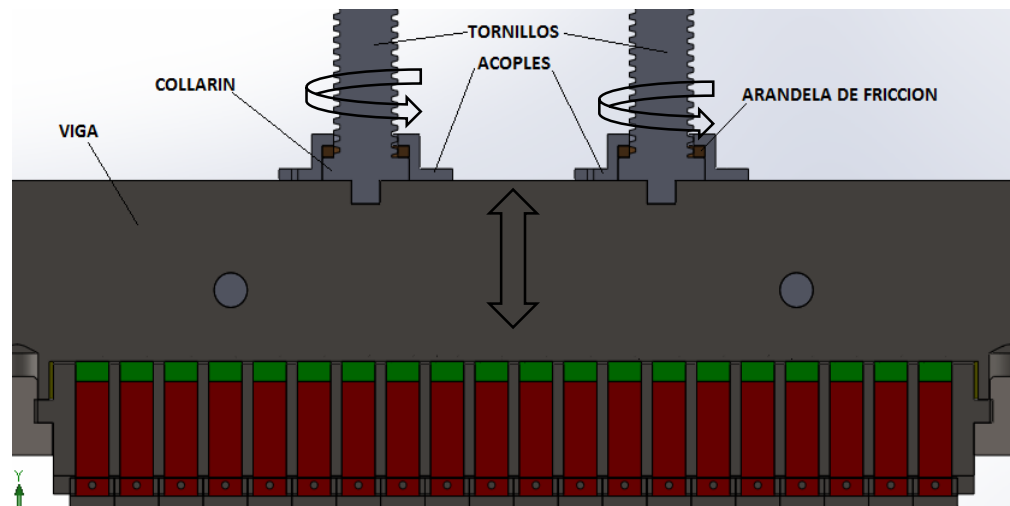
El posicionamiento superior consiste en dos tornillos de rosca acme, que se encuentran solidarios traslacionalmente con el armazón de perfil trapezoidal que

sostiene las cuchillas adaptables, es decir, que rotan sin necesidad de que este lo haga también, pero se desplazan verticalmente en igualdad de condiciones. Las tuercas que sostienen estos tornillos están ubicadas en la mesa superior que compone la estructura, tal y como se había mencionado. Esto permite brindar movimiento a los tornillos dejando las tuercas sin grados de libertad.

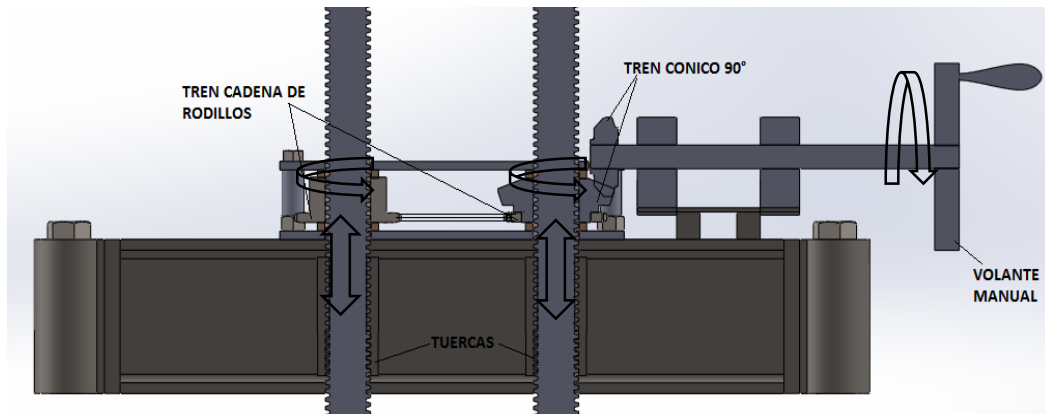
El movimiento de rotación se transmite a un solo tornillo mediante un tren de engranajes cónicos a 90°, este se sincroniza con su homólogo mediante una transmisión por cadena de relación 1:1 previamente tensionada para garantizar que ambos giren con la misma velocidad angular y con esto evitar que se atasque la herramienta de corte superior. Los engranajes se encuentran flotantes sobre los tornillos para que estos se puedan trasladar sin moverlos. El movimiento solidario en dirección angular se transmite por medio de una cuña soldada a los engranajes, con esto se logra que los tornillos además de girar se trasladen. Esta transmisión es movida de forma manual por medio de un volante en la parte superior del dispositivo. Todo el sistema se muestra en la figura 16.

Figura 16. Sistema de posicionamiento. a) Vista en sección del acople con la mesa superior. b) Vista en sección de la sincronización de los tornillos junto con su accionamiento

a)



b)



El sistema de posicionamiento de la herramienta inferior consiste simplemente en un acople solidario que tiene con el pistón del gato hidroneumático que brinda la fuerza al sistema. El desplazamiento vertical hacia arriba lo proporciona el empuje de este gato, mientras que el descenso se presenta por acción de la gravedad.

3.1.4 Sistema motriz: El sistema motriz del prototipo es el gato hidroneumático de botella (figura 8), el cual transforma la potencia humana, en caso de activarse manualmente, o una potencia neumática baja, cuando se acciona mediante la conexión a un compresor, en una potencia elevada caracterizada por ser de alta fuerza y baja velocidad.

Este elemento funciona mediante el principio de pascal, en el cual se postula que al aplicarse una fuerza hidráulica en un área pequeña conectada a un área mayor mediante un fluido hidráulico, logra multiplicarse sacrificando la velocidad de flujo. En este caso la diferencia de áreas es proporcionada por un embolo solidario a un vástago que finalmente aplica la fuerza. Matemáticamente se expresa como:

$$F_2 = \frac{A_2}{A_1} \times F_1 \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

Donde:

$F_2 = \text{Fuerza final}$

$F_1 = \text{Fuerza inicial}$

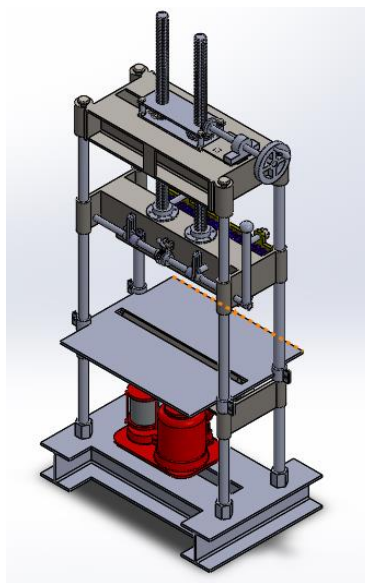
$\frac{A_2}{A_1} = \text{Ganancia de fuerza}$

La ganancia de fuerza es una constante que en la práctica tiene un valor superior a “100” dependiendo de las necesidades del sistema.

El accionamiento neumático lo realiza una bomba de pistón de diámetro significativamente menor con respecto al diámetro del cilindro de simple efecto del gato, al que se encuentra adjunto. La alimentación de aire comprimido a 150 [psi] es controlada por una válvula de accionamiento manual. Una válvula de seguridad especial de cartucho que se manipula manualmente desde el exterior del conjunto, actúa como una válvula de mariposa con la particularidad de que se abre a una determinada presión límite de operación. El depósito de aceite de este elemento se encuentra integrado dentro del caparazón en el que igualmente se contiene el embolo.

En la figura 17 se muestran todos los elementos ensamblados:

Figura 17. Prototipo de dispositivo para corte de piedra



3.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

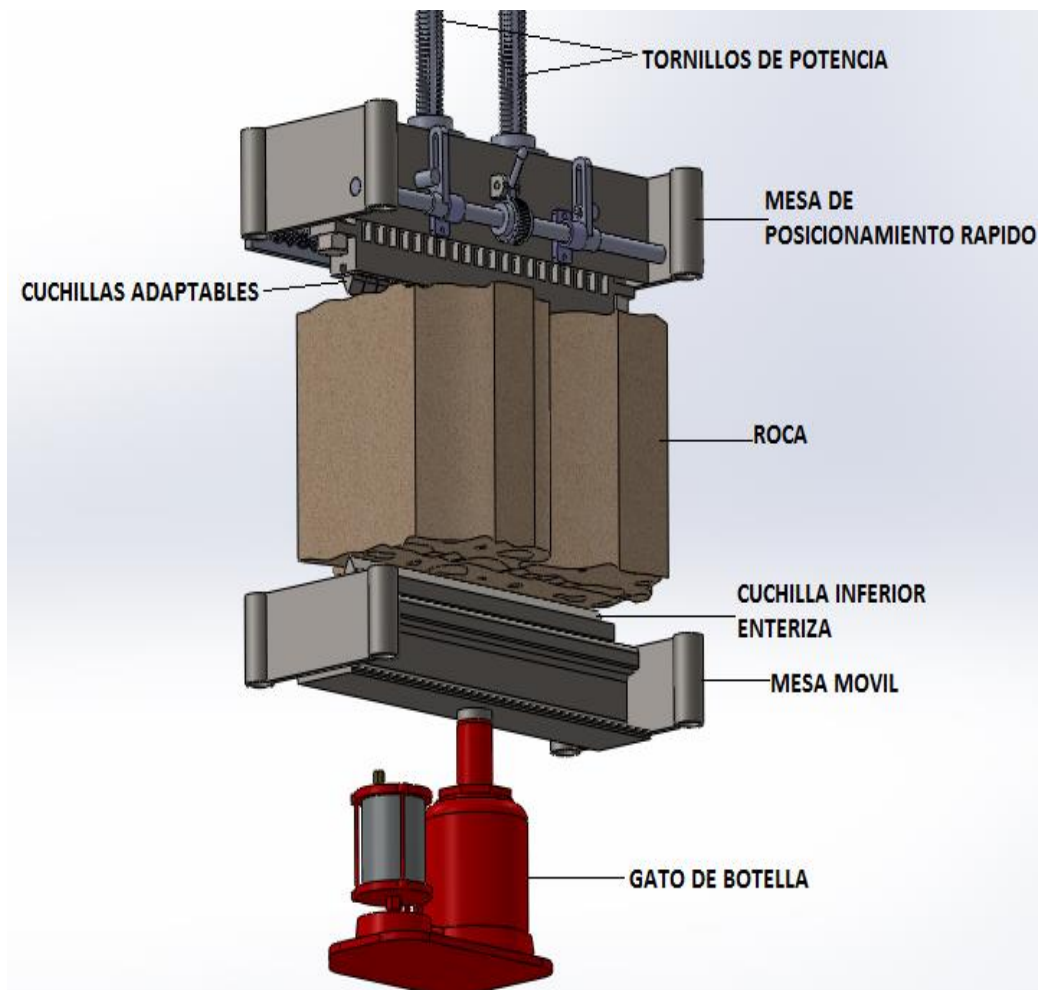
El principio de funcionamiento del prototipo se fundamenta en un mecanismo dual, que bien puede ser manual-hidráulico o neumático- hidráulico, comúnmente llamado “gato de botella”, el cual es capaz de transformar bajas potencias, como la que puede generar la acción del ser humano, en una elevada fuerza lineal que es aprovechada por la herramienta de corte inferior, que asciende verticalmente solidaria el vástago del elemento motriz.

La herramienta superior de posición variable es capaz de adaptarse rápidamente a la forma de la roca y a la rugosidad de la misma en un rango de hasta 2 [cm], mediante un mecanismo de cuchilla dividida en secciones independientes de 2.54 [cm]. Esta es accionada mediante dos tornillos de rosca acme soportados en la mesa superior de la estructura del equipo.

Ambas herramientas están separadas por una mesa fija en la cual se posiciona la roca a la cual se le desea dar específicamente forma rectangular con acabado rústico, que es el propósito final. La mesa fija cuenta con un agujero por donde puede pasar la cuchilla inferior para que tenga contacto con la piedra. Todos los elementos mencionados de muestran en conjunto en la figura 18.

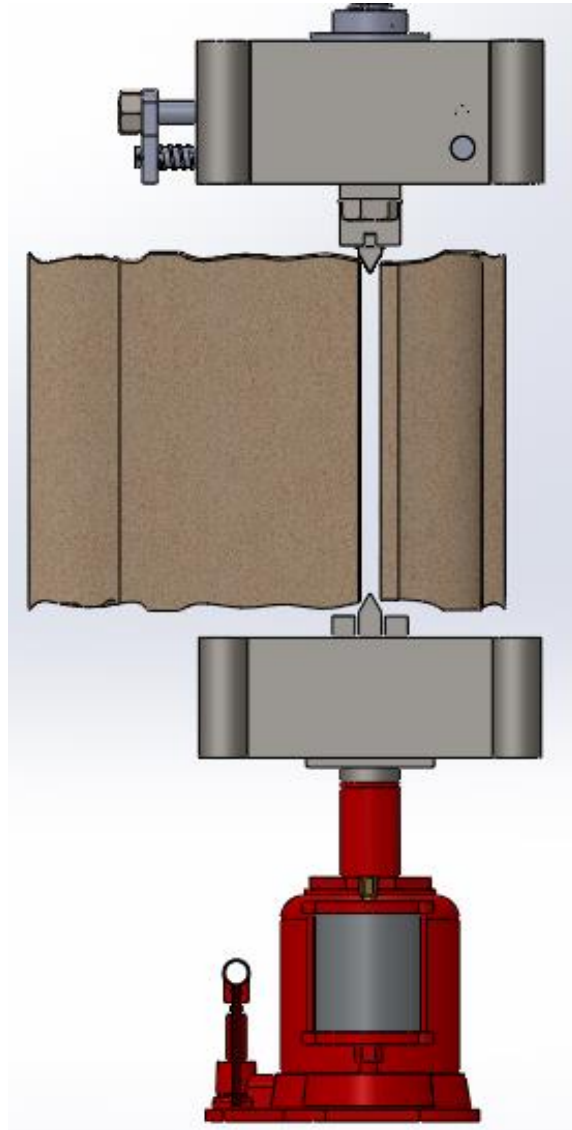
Una vez colocada la piedra y ajustada la posición de la herramienta superior, se acciona el gato de botella que ejerce presión al mismo tiempo sobre la base, donde se encuentra apoyado y sobre la piedra, empujando esta última sobre las cuchillas superiores, para que finalmente quede a compresión. La herramienta superior transmite este esfuerzo a la mesa superior, y esta a su vez a las barras, que también se encuentran ensambladas con la base. Al final las 4 barras no solamente quedan encargadas de unir todos los elementos, sino de soportar toda la carga que recae sobre el sistema, que las someten a esfuerzos tensionales.

Figura 18. Elementos principales involucrados en el proceso corte



En la figura 19 se hace énfasis en el momento en el que se acciona el gato de botella y se induce la fractura de la roca, provocada por la concentración de esfuerzo de compresión en un área muy pequeña de esta; área determinada por el contacto con las cuchillas. El retroceso del gato hidráulico se realiza por la acción de un resorte que viene incluido dentro de su fabricación, luego de que se hace la apertura manual de la válvula de seguridad. Esta última está incluida en la parte inferior de la unidad.

Figura 19. Funcionamiento después del corte.



En la figura 20 se observa un ejemplo típico sobre la forma y el tipo de acabado que se desea en el producto, mediante múltiples cortes realizados a un fragmento de piedra con formas irregulares. Finalmente se pueden obtener bloques y enchapes principalmente, que son utilizados para ornamentación; sin embargo, se destaca la posibilidad de fabricación de adoquines y la utilidad que tiene el dispositivo en la industria de la construcción, en donde se pueden trabajar de igual manera bloques y partes de hormigón.

Figura 20. Producto terminado



Fuente: BERCHE. <<http://materii-prime-semifabricate.hiperpublicitate.ro/piatra-cubica-din-piatra-naturala-tip-granit-culoare-gri-630512/>>

4. CÁLCULO Y DIMENSIONAMIENTO DEL DISPOSITIVO

4.1 CALCULO DE LA FUERZA DE CORTE REQUERIDA.

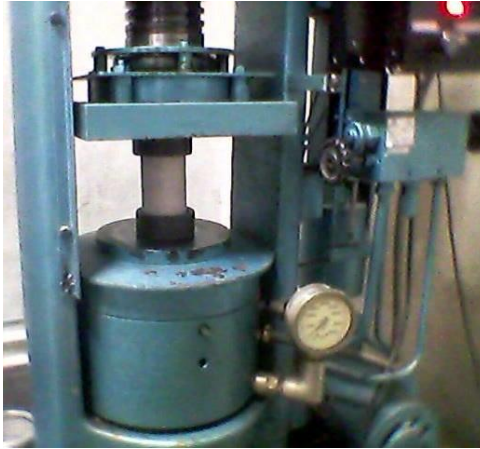
Inicialmente, se tiene como requerimiento determinar la fuerza de corte necesaria para fracturar la piedra, dentro de las condiciones geométricas establecidas entre los objetivos del proyecto. Teniendo en cuenta que no se tienen registros de datos de ensayos similares para el tipo de roca específica que se va a trabajar, la cual se explota en la región suroccidental de Santander, se deben realizar las pruebas correspondientes para determinar esta propiedad. Para tal fin se cuenta, dentro de los recursos, con el equipo para el ensayo de compresión uniaxial.

4.1.1 Ensayo de compresión uniaxial a probetas de roca : El ensayo de compresión uniaxial determina la resistencia máxima de una probeta de roca, sometida a esfuerzos de compresión. La probeta cilíndrica tiene una sección transversal de 7.1 [cm] de diámetro (figura 21). El ensayo se realiza en un equipo para compresión con capacidad de hasta 200 [Ton-f]. La máquina de ensayos se muestra en la figura 22.

Figura 21. Probeta de roca para ensayo a compresión



Figura 22. Máquina de ensayos a compresión



Los núcleos fueron tomados a partir de un fragmento de roca extraído de una de las canteras en las que se proyecta la explotación, mediante un taladro de broca hueca (figura 23) con diámetro interior determinado para el tamaño que se desea en la probeta.

Figura 23. Taladro para probetas de roca.



El ensayo de compresión se realizó a 5 probetas; los datos obtenidos se registran en la tabla 4:

Tabla 4. Resultados ensayo de compresión uniaxial.

Probeta	Área [cm ²]	Carga de rotura [Kg]	Esfuerzo de rotura [Psi]	Esfuerzo de rotura [Mpa]
1	44.18	105876	34235	239.7
2	44.18	94836.7	30467	214.7
3	44.18	103734	33326	234.8
4	44.18	96079.3	30867	217.5
5	44.18	98743.5	31724	223.5

En promedio se obtuvo un esfuerzo de compresión (δ) de 226 [Mpa].

Lamentablemente el ensayo de compresión uniaxial no es el adecuado para determinar la fuerza de corte necesaria para fracturar la roca a través de su área transversal. Si se aplica la compresión pura como modelo de falla se obtiene como requerimiento una fuerza pequeña debido que la cuchilla posee un área de contacto muy baja de aproximadamente 3 [cm²]. El esfuerzo de falla por compresión pura de la roca se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$F = \sigma * A \text{ (ecuacion 4.1)}$$

Donde:

F = Fuerza de corte a compresión

σ = esfuerzo de compresión

A = Area resistente

Resolviendo la ecuación 4.1 con $A= 3$ [cm²] y $\sigma=226$ [Mpa] se obtiene una fuerza de corte de 6780 [kg-f].

Sin embargo este modelo de corte no tiene en cuenta en ningún momento el área transversal de corte de la roca, y se podría concluir que en teoría se puede cortar un fragmento de longitud infinita, que no concuerda con la experiencia y la lógica.

A falta de un modelo de falla preciso para la roca, ya que es un material anisótropo, con amplios y complicados factores implicados en el proceso de falla, se realizó una rigurosa investigación de los más grandes proveedores de máquinas hidráulicas que cumplen con este propósito, con el fin de encontrar una correlación entre la fuerza aplicada y el área transversal expuesta al corte.

En la tabla 5, se enumeran los datos de área transversal vs fuerza de corte que los diferentes proveedores utilizan en sus máquinas.

Tabla 5. Datos de modelos de máquinas de los diferentes proveedores

PROVEEDOR	AREA [cm ²]	FUERZA [kg]
AMOB, MAQUINAS FERRAMENTAS S.A	4804,8	100000
	7722	200000
PARK INDUSTRIES S.A	3716,12	90000
	2787,09	70000
	4954,82	150000
	16103,2	300000
	22141,7	600000
	348,4	8000
	580,7	12000
	1045,2	20000
	1090,4	25000
BLOCK SHEAR, LLC.	1300	18500
PUNTO DE CONTROL	0	0

Realizando un tratamiento a los datos mediante una regresión lineal (figura 24), se obtiene un modelo para la fuerza de corte según el área del espécimen a cortar:

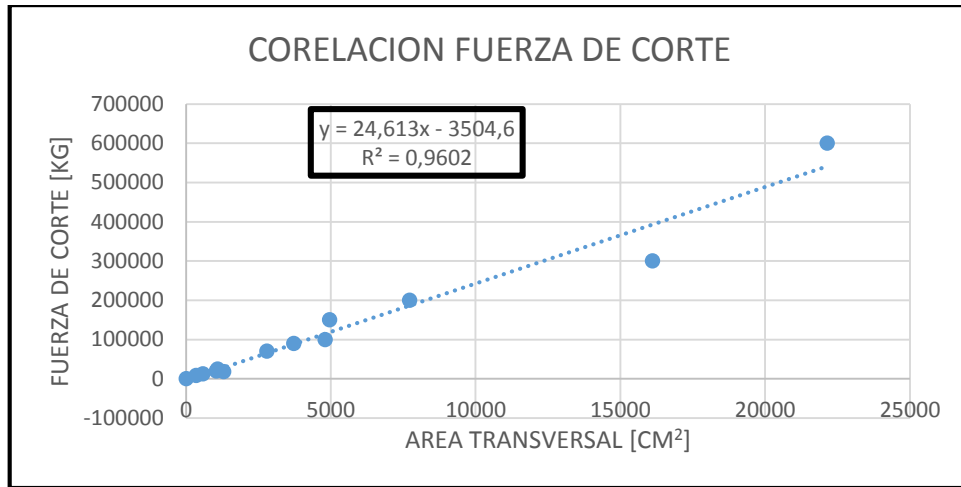
$$F = 24.613 * A - 3504.6 \text{ (ecuacion 4.2)}$$

Donde:

$F = \text{Fuerza de corte}$

$A = \text{Area transversal de la roca expuesta al corte [cm}^2\text{]}$

Figura 24. Regresión lineal de los datos de modelos de máquinas de los diferentes proveedores



De esta manera se obtiene una correlación para calcular la fuerza neta de corte con un factor de seguridad combinado de las tres empresas, que por confidencialidad comercial no se especifican en sus datos técnicos. Sin embargo se tiene la certeza que estas máquinas funcionan perfectamente, ya que han sido el resultado de años de pruebas y mejoras continuas para ofrecer las mejores características.

Resolviendo la ecuación 4.2 para obtener la fuerza de corte para las dimensiones propuestas (20cmx30cm) de la roca a cortar, con $A=600$ [cm²] se obtiene un valor de 11264 [kg-f]

Para estandarizar El dispositivo que va a generar la fuerza, se seleccionó con capacidad de 20000 [kg-f] de capacidad máxima, dándonos un mayor factor de seguridad, que el combinado de las empresas consultadas.

4.1.2 Factor de seguridad: El factor de seguridad N, en general para todo el dispositivo, se ha tomado de 1.5, teniendo como referencia el criterio de FAIRES¹, que establece que el coeficiente de seguridad basado en la resistencia a la fluencia para materiales dúctiles, (específicamente el acero), bajo carga

permanente varía entre 1.5 y 2. La carga se supone como permanente debido al bajo ciclaje que se presenta, además de una aplicación lenta de esfuerzos y la inexistencia de fluctuaciones bruscas.

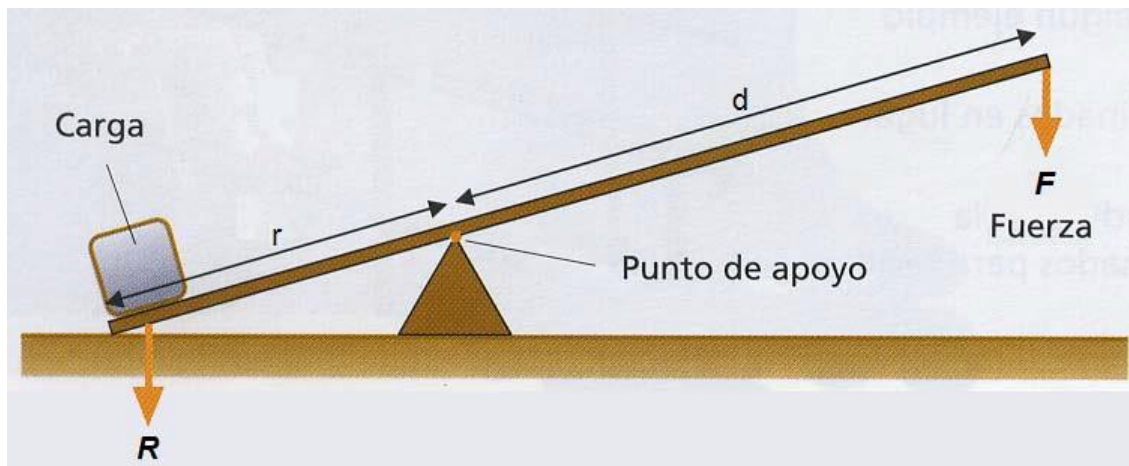
4.2 SELECCIÓN FUENTE DE POTENCIA

Se analizaron las distintas opciones con las que se cuenta en el mercado y se seleccionó de estas, la que cumple en mayor medida con la fuerza requerida para el sistema, que ha sido determinada previamente.

4.2.1 Mecanismo manual: Resulta difícil hablar de un mecanismo manual para alcanzar una fuerza de 20 [Ton], más aun si se tiene en cuenta que se necesita un dispositivo portable.

En la figura 25 se muestra un esquema de un sistema de palanca, típico mecanismo multiplicador de fuerza.

Figura 25. Palanca



Fuente: Blog. <<http://maribr98.blogspot.com/>>

Analizando esta figura, suponiendo que “r” tiene una distancia de 10 [cm] y que la fuerza “F” de una persona promedio es de 33 [Kg-f], La distancia “d” para generar la fuerza requerida “R” es:

$$d = \frac{R * r}{F} = \frac{20000[Kg - f] * 0.1[m]}{33[Kg - f]} = 60.6 [m] \quad (\text{ecuación 4.3})$$

Esta distancia no resulta práctica en la aplicación. Además, se tiene como inconveniente la trayectoria no lineal que genera este dispositivo, obligando a implementar un mecanismo que corrija este defecto.

4.2.2 Cilindro Neumático: Los rangos de presión disponibles en un compresor están comprendidos entre de 150 y 175 [psi]. Aplicando el principio de pascal se estima el diámetro del pistón necesario para suplir los requerimientos de fuerza, para efectos de cálculos se considera la mayor magnitud de presión disponible:

$$A_p = \frac{F_p}{P_p} = \frac{44000 [lb - f]}{175[psi]} = 251.4 [in^2] \quad (\text{ecuación 4.4})$$

Donde:

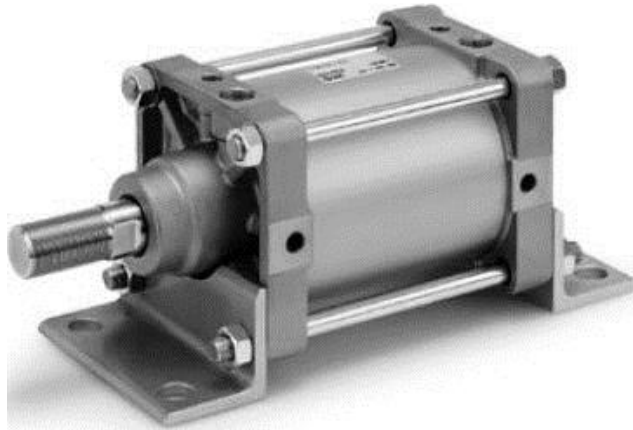
A_p = Área del pistón

F_p = Fuerza requerida

P_p = Presión sobre el pistón

Esto quiere decir que el diámetro del pistón debe ser de 17.9 [in], lo que resulta improbable. Por este motivo, se descarta este dispositivo.

Figura 26. Cilindro neumático



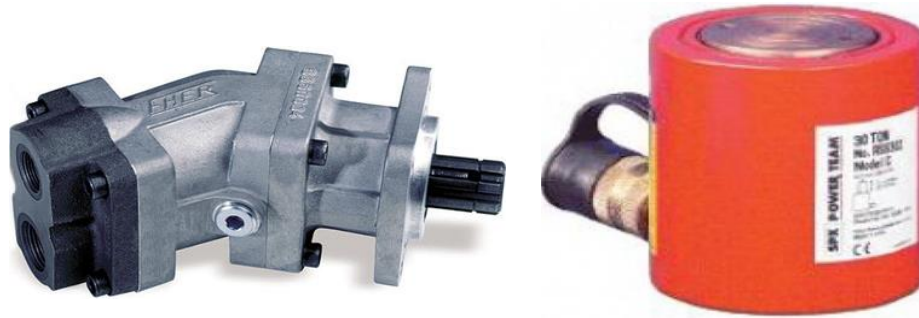
Fuente: Direct Industry. <<http://www.directindustry.es/prod/smc-france/cilindros-neumaticos-doble-efecto-16465-1035967.html>>

4.2.3 Cilindro Hidráulico: Los cilindros hidráulicos representan una buena opción para el prototipo, dado que estos elementos multiplicadores de fuerza son generalmente compactos, es decir, que además cumplen los requerimientos dimensionales. Existen varias configuraciones dependiendo del accionamiento de la unidad.

4.2.3.1 Bombas de alta velocidad: Las bombas de alta velocidad son movidas por motores de más de 600 [RPM] y alcanzan una presión de operación de hasta 5000 [psi]. Aplicando la ecuación 4.2 se obtiene que el diámetro del pistón mínimo necesario para esta configuración es de 3.35 [in]. Esto significa una reducción de más 5.353 veces con respecto al cilindro neumático.

La dificultad que presenta la adaptación de esta configuración radica su costo, ya que además del elevado consumo de corriente, se debe tener en cuenta que se necesitan diferentes accesorios que proporcionen control sobre la misma, ya que estos no vienen incorporados en su fabricación.

Figura 27. Bomba de pistones axiales y cilindro hidráulico



Fuente: Capris. Herramientas y maquinaria industrial.
<http://www.capris.cr/index.php?route=product/product&product_id=433281>

4.2.3.2 Bombas manuales

Las bombas manuales pueden ser accionadas por la acción de una palanca o a través de un piloto neumático, Estos equipos alcanzan presiones de hasta 10000 [psi], sacrificando velocidad por fuerza neta. Si se aplica la ecuación 4.2 se encuentra que se necesita un cilindro de 4.4 [in²], es decir, 2.367 [in], un valor significativamente menor en comparación de las configuraciones analizadas anteriormente.

Normalizando este resultado a un diámetro estándar se tendrá una magnitud de 2 3/8 [in]. Al igual que la configuración que incluye la bomba de alta velocidad, se necesita un número considerable de accesorios como racores, mangueras y válvulas de control, además del elevado costo de adquisición del elemento. Teniendo en cuenta lo anterior, se descarta esta opción por variables económicas.

Figura 28. Conjunto bomba manual y piloto automático



Fuente: Resroth. Bosch Group. <<http://pt.rs-online.com/web/p/bombas-de-mano-hidraulicas/1962577/>>

4.2.3.3 Cilindro hidráulico portable: También conocido como “gato de botella o bottle jacks”. Es un dispositivo compacto en el que se incorpora dentro de un manifold: La bomba, válvula de seguridad, deposito, válvulas de control y cilindro hidráulico. Este elemento según su tamaño proporciona rangos de fuerzas nominales que van desde 1000 [Kg-f] hasta 100.000 [Kg-f]. Pueden ser accionados de forma manual hasta con dos velocidades o con un piloto neumático conectado a un compresor de bajo consumo de potencia, menor a 5 [hp] (figura 8).

El dispositivo que se quiere construir, como ya se mencionó anteriormente, debe ser portable, de bajo costo y con el menor consumo de potencia posible. Teniendo en cuenta estos tres ítems se concluye que la última opción, el gato de botella hidroneumático, brinda los mejores indicadores de rendimiento, dando la posibilidad de accionamiento manual o con un piloto neumático. Además cuenta con la capacidad de trabajo en campo, ya que se puede conectar a un compresor movido por un motor de combustión interna, en caso de que no se cuente con

conexión eléctrica. La ventaja de adicionar este compresor, es que se gana velocidad de corte y se evita la fatiga del operario.

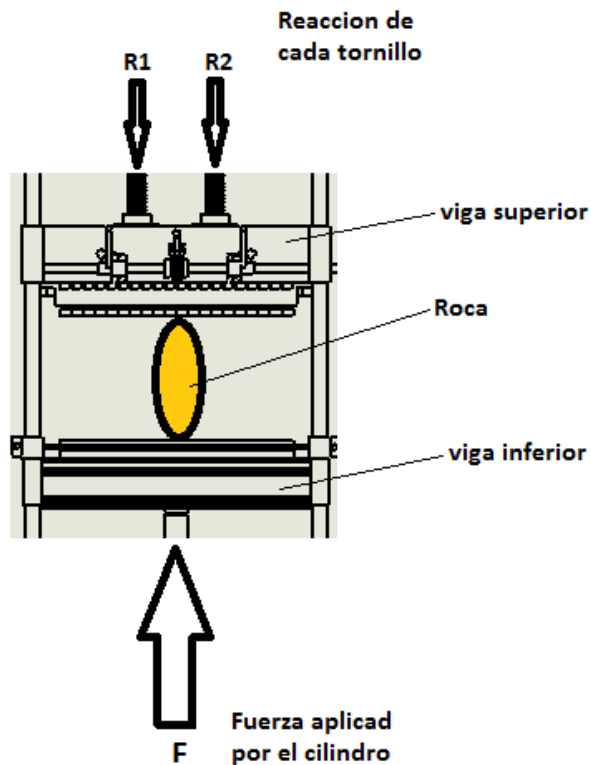
En conclusión se selecciona un gato de botella hidroneumático con capacidad de 20000 [Kg-f], accionado por palanca con la posibilidad de ser asistido por aire a una presión de servicio de 150-175 [psi.]

4.3 SELECCIÓN TORNILLOS DE POTENCIA.

Para seleccionar el tipo de tornillo que posicionará la viga superior donde se encuentran las cuchillas adaptables, primero se debe conocer qué fuerzas actúan sobre ellos. Estos tornillos están sujetos por las tuercas que componen la mesa superior y se encuentran solidarios traslacionalmente con la herramienta superior. Para efectos de cálculo se asume que la piedra está centrada en la mesa fija, es decir, que toda la fuerza que recibe los tornillos es vertical y que no se generan momentos sobre estos. Además se asume que el gato ejerce una fuerza puntual sobre el eje de simetría vertical y los tornillos se encuentran a distancias iguales de este eje.

La situación crítica en operación se alcanza cuando el cilindro hidráulico está aplicando la máxima fuerza que tiene disponible, es decir, 20000 [Kg-f]. En la figura 29 se muestra el diagrama de cuerpo libre durante este momento.

Figura 29. DCL Situación crítica del prototipo en operación



Por balance de fuerzas y momentos se tiene que:

$$R_1 = R_2 \quad (\text{Ecuación 4.5})$$

$$F = R_1 + R_2 = 20000 \text{ [Kg-f]} \quad (\text{Ecuación 4.6})$$

Donde:

$R_1 =$ Fuerza resistente del tornillo 1

$R_2 =$ Fuerza resistente del tornillo 2

$F =$ Fuerza aplicada por el cilindro

Resolviendo el sistema de ecuaciones se tiene que la fuerza resistida por cada uno de los tornillos es de 10000 [Kg-f]

Con el objetivo de reducir el precio de este componente se seleccionó un tornillo laminado en frío de acero SAE-ASI 1020 comercializado sobre la medida requerida. Para dimensionar el diámetro y número de hilos de la tuerca, se necesitan los valores de esfuerzos permisibles del material indicado. En el anexo C están contenidos estos datos.

La situación crítica del tornillo en operación se presenta cuando está actuando en su máxima extensión y con la máxima fuerza aplicada.

Primeramente se calcula el diámetro del tornillo analizándolo mediante compresión pura utilizando la ley de esfuerzos:

$$\sigma = \frac{F * N}{A} \quad (\text{ecuación 4.7})$$

Donde:

σ = *Esfuerzo permisible*

F = *Fuerza de compresión*

A = *Área donde se aplica el esfuerzo*

N = *Factor de seguridad*

El factor de seguridad ya se ha definido previamente como 1.5 para todo el dispositivo, de igual manera la fuerza máxima de operación se ha definido en 20 [Ton]. En el anexo C se encuentra el valor del esfuerzo permisible para el material seleccionado, $\sigma_y=29700$ [psi].

Reescribiendo la ecuación para calcular el área se tiene:

$$A = \frac{F * N}{\sigma_y} \quad (\text{Ecuación 4.8})$$

Con los datos ya preestablecidos encontramos que $A = 2,2222 \text{ [in}^2\text{]}$, lo que quiere decir que cada tornillo debe tener un área de $A = 1,1111 \text{ [in}^2\text{]}$. Calculando el diámetro de raíz del tornillo aplicando el área de una superficie circular:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \text{ (ecuación 4.9)}$$

Donde:

$A = \text{area de esfuerzos}$

$D = \text{Diámetro de raíz del tornillo}$

Se tiene entonces un valor $D = 1,190 \text{ [in]}$. Se escoge rosca cuadrada debido a que es el único tipo de rosca disponible en el mercado en barra laminada en frío (la rosca Acme se fabrica sobre medida y esto aumenta el costo del componente). Dado esto se estandariza el diámetro del tornillo para su compra; observando la figura 30 se tiene que $d \text{ [in]}$ estándar para nuestro caso es de 1.5 [in] con un diámetro de raíz de 1.250 [in] . Se hace escogido de esta manera teniendo como principio la preferencia a estar por encima de la medida calculada para mayor seguridad

Figura 30. Estándar roscas cuadradas

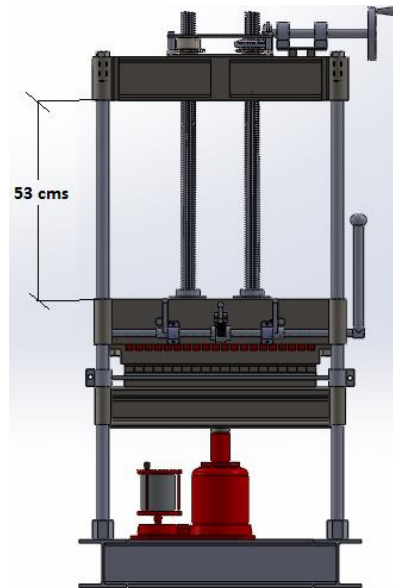
Diámetro mayor $d \text{ (in)}$	Diámetro medio $d_m \text{ (in)}$	Diámetro menor $d_r \text{ (in)}$	Paso (in)	Hilos por pulgada	Área de esfuerzo a tracción $A_t \text{ (in}^2\text{)}$
0.250	0.219	0.188	0.063	16	0.032
0.313	0.277	0.241	0.071	14	0.053
0.375	0.333	0.292	0.083	12	0.077
0.438	0.396	0.354	0.083	12	0.110
0.500	0.450	0.400	0.100	10	0.142
0.625	0.563	0.500	0.125	8	0.222
0.750	0.667	0.583	0.167	6	0.307
0.875	0.792	0.708	0.167	6	0.442
1.000	0.900	0.800	0.200	5	0.568
1.125	1.025	0.925	0.200	5	0.747
1.250	1.150	1.050	0.200	5	0.950
1.375	1.250	1.125	0.250	4	1.108
1.500	1.375	1.250	0.250	4	1.353
1.750	1.625	1.500	0.250	4	1.918
2.000	1.875	1.750	0.250	4	2.580
2.250	2.083	1.917	0.333	3	3.142
2.500	2.333	2.167	0.333	3	3.976
2.750	2.583	2.417	0.333	3	4.909
3.000	2.750	2.500	0.500	2	5.412
3.500	3.250	3.000	0.500	2	7.670
4.000	3.750	3.500	0.500	2	10.32
4.500	4.250	4.000	0.500	2	13.36
5.000	4.750	4.500	0.500	2	16.80

Fuente: Documento web. <<http://www.utp.edu.co/~lvanegas/dis1/TablasTornillos.pdf>>

De esta imagen se obtiene además el paso de 4 [hilos por pulgada].

Se debe comprobar si el tornillo actúa como columna o como miembro a compresión pura, para lo cual se necesita tener la mayor longitud que el tornillo puede tener cuando se le aplique la carga máxima. En la figura 31 se observa que esta longitud es $L= 53$ [cm] o $L=20.9$ [in]

Figura 31. Máxima extensión de los tornillos de potencia



Para comprobar lo planteado anteriormente se calcula la relación de esbeltez y se compara con el valor límite C_c . la relación de esbeltez viene dada por:

$$RE = \frac{K * L}{r} \text{ (ecuación 4.10)}$$

Donde:

$RE =$ Relación de esbeltez

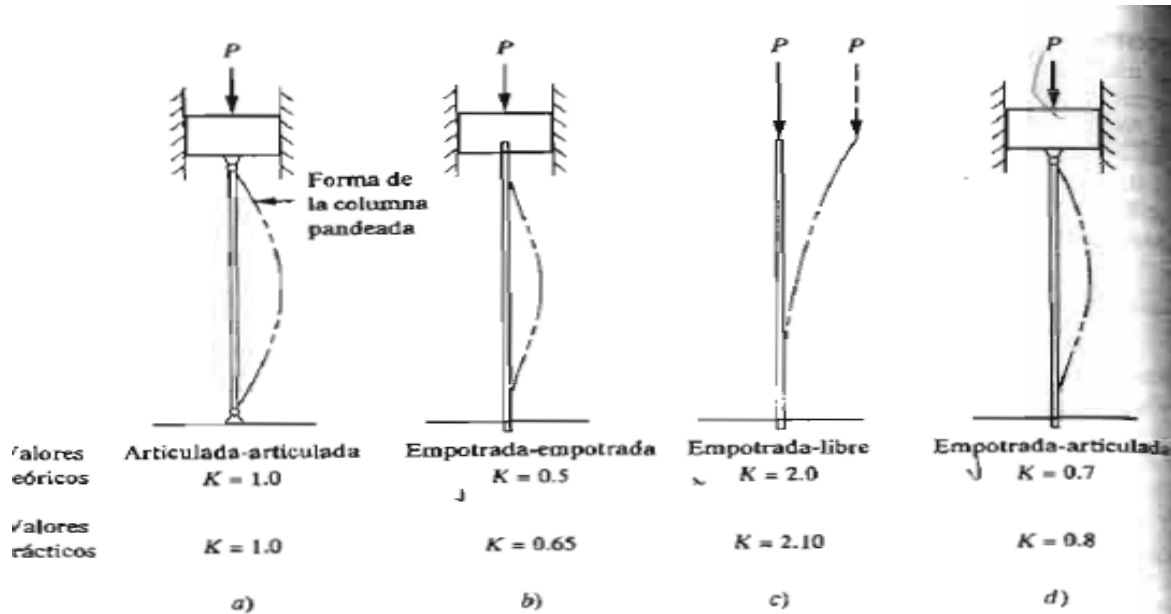
$K =$ Constante que depende del tipo de fijación de los extremos de la columna

$L =$ longitud del tornillo

$r =$ radio mínimo de la columna

Para encontrar el valor de la constante “K” se referencia la figura 32, de donde se concluye que este equivale a “2” puesto que el tornillo se considera empotrado e un extremo y libre en el otro.

Figura 32. Valores constante K para columnas



Fuente: Robert L. Mott. Diseño de elementos de máquinas. p. 234.

Se reemplazan los valores en la ecuación 4.10 y se encuentra que:

$$RE = \frac{2 * 2.09[in]}{0.625 [in]} = 66.88$$

Posteriormente se calcula la relación de esbeltez de transición C_c :

$$C_c = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * E}{\sigma_y}} \quad (\text{ecuación 4.11})$$

Donde:

C_c = Relación de esbeltez de transición

E = Módulo de elasticidad del material

$\sigma = \text{Esfuerzo límite del material}$

El módulo de elasticidad E para el acero SAE-ASI 1020 se toma del anexo C y se data un valor de $30E^6$ [psi]. El valor del esfuerzo ya es conocido. Reemplazando estos valores se tiene:

$$C_c = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * 30E6}{29700}} = 141.2$$

Al establecer la comparación $C_c > RE$, por lo tanto los tornillos se comportan como columna corta. Se emplea entonces el criterio de J.B Johnson para determinar la fuerza crítica:

Como $C_c > RE$ es una columna corta y se emplea el criterio de J.B. Johnson donde la fuerza crítica está dada por:

$$P_{cr} = A * \sigma_y * \left[1 - \frac{\sigma_y * \left(\frac{KL}{r}\right)^2}{4 * \pi^2 * E} \right] \quad (\text{ecuación 4.12})$$

Donde:

$A = \text{Area transversal resistente previamente estandarizada [in}^2\text{]}$

El área estandarizada se toma de la figura 34, $A=1.227$ [in²]. El resto de los valores ya han sido determinados anteriormente.

Resolviendo se encuentra que $P_{cr}=32355$ [lb-f]. Como la fuerza máxima que llegará a soportar cada tornillo es de 22000 [lb-f] se concluye que los tornillos soportan la carga en condiciones críticas.

Para Terminar con el diseño de los tornillos se verifica que tanto la tuerca como los filetes del tornillo no fallen ni por cortante ni por flexión.

Se calculó el esfuerzo producido en los filetes y se comparó con el esfuerzo de fluencia del material tanto de la tuerca como del tornillo que por practicidad se tomaron iguales. El procedimiento se detalla a continuación.

Tabla 6. Dimensiones del a rosca

<i>Datos de la rosca</i>	
Diámetro [in]	1,5
Diámetro raíz [in]	1,25
Longitud tuerca [in]	1,32
Paso [in]	0,25
Nf de la tuerca	5,28
Sy [psi]	29700
carga [lb-f]	22000

Se calcula el factor de seguridad por cortante aplicando teoría de falla de von mises y por flexión aplicando la teoría de máximo esfuerzo permisible:

Tabla 7. Calculo del factor de seguridad de la rosca por cortante

Cortante $Sy = 3 \cdot F \cdot N / 2 \cdot A$		
	Área resistente	factor de seguridad real [N]
Tuerca	3,110	2,799
Tornillo	2,592	2,333

Tabla 8. Calculo del factor de seguridad de la rosca por flexión

Flexion $Sy = M \cdot C \cdot N / I$		
	esfuerzo flexión	factor de seguridad real [N]
Tuerca	19594,908	1,516
Tornillo	19594,908	1,516

Se puede observar que tanto la tuerca como el tornillo resisten la carga aplicada con un factor de seguridad admisible, que para ambos casos es mayor de 1.5, valor que se tiene establecido como límite.

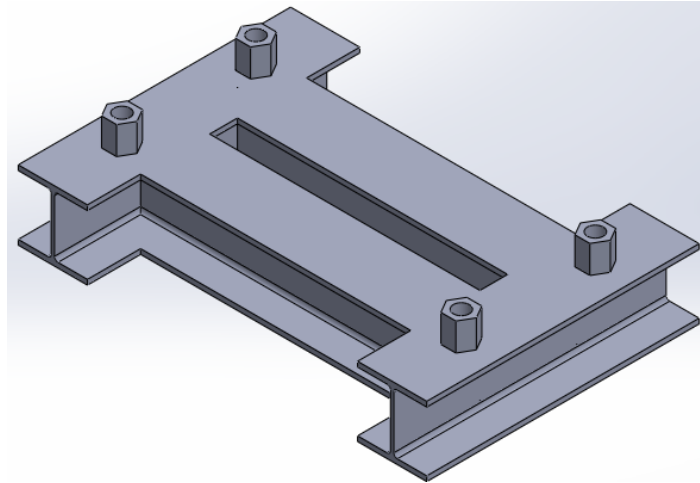
En conclusión, se seleccionan dos tornillos de 1.5 [in] de diámetro con su respectiva tuerca con una longitud de 75 [cm].

4.4 DIMENSIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA

La estructura del dispositivo está conformada por cuatro partes principales: base, mesa fija, mesa superior y barras. Estas partes se simularon mediante CAD-CAE, concretamente el paquete Solidworks, utilizando la herramienta de análisis mediante elementos finitos incluido en este programa, debido a la complejidad de su geometría.

4.4.1 Dimensionamiento de la base: La base se diseñó teniendo en cuenta la facilidad de manufactura y los materiales disponibles en el mercado local (figura 33). Se realizó el modelamiento mediante la CAD-CAE mencionado, el cual muestra como resultado un factor de seguridad dependiendo de la fuerza aplicada, que finalmente se utiliza como juicio de análisis. El criterio de falla para todas las piezas es el de cortadura máxima o tresca, nombre que le otorga el paquete de diseño.

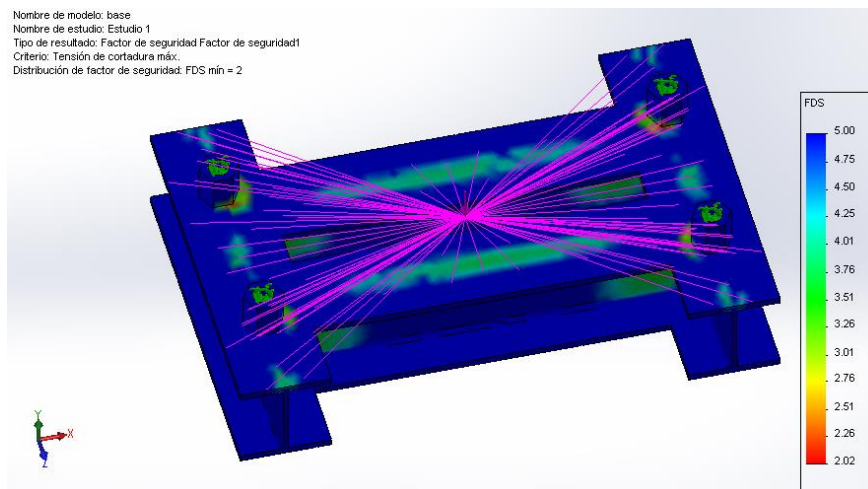
Figura 33. Modelo CAD de la base



Se utilizó para su construcción una viga en perfil W5*16, es decir 5 [in] de ancho y 16 lb por pie de densidad lineal (anexo D), fabricadas en acero ASTM A36, más conocido como acero estructural, de fácil adquisición en el mercado local (anexo E).

Para efectos de la simulación se simplifica la fuerza del cilindro hidráulico como puntual en el centro de la base con una magnitud de 44000 [lb-f] y se toma como partes fijas los puntos donde van roscados los cuatro paraes. De esta manera se obtienen los siguientes resultados (figura 34):

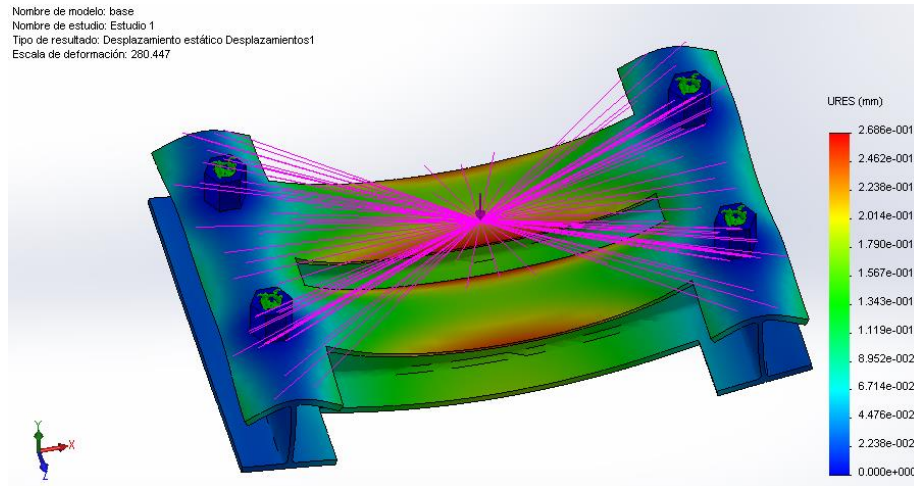
Figura 34. Factor de seguridad de la base



Se observa que el factor de seguridad mínimo para esta pieza es de 2, es decir, que cumple con el requerimiento del factor de seguridad general de 1,5.

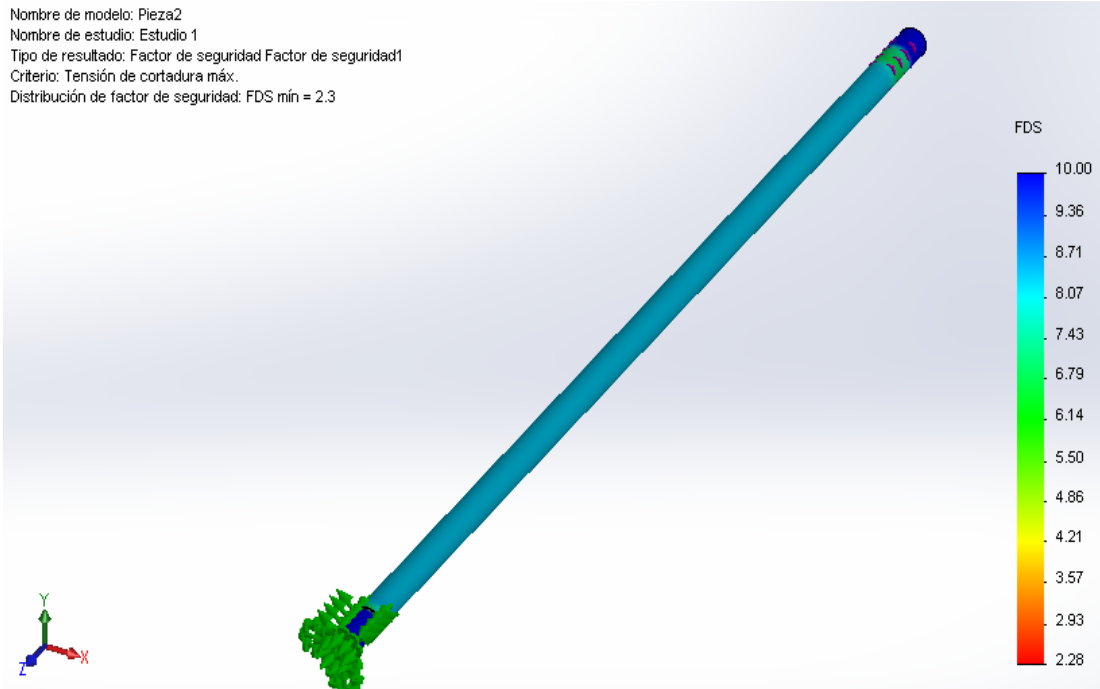
La deformación presentada en plena carga es de 0,26 mm, lo cual nos indica una gran rigidez en la base (figura 35).

Figura 35. Deformación de la base



4.4.2 Dimensionamiento de las barras: Suponiendo que las barras están simétricas respecto al punto donde se aplica la carga del cilindro hidráulico en la base, cada uno de ellas soporta exactamente $\frac{1}{4}$ de la fuerza total ejercida por este. Lo que quiere decir que la carga de diseño para cada una es de 11.000 lb. El material a utilizar es un acero AISI SAE 1045 (anexo F), con un diámetro de 1.25 [in], valor determinado en base a los requerimientos de rigidez y a los parámetros de fijación, puesto que es necesario maquinar las roscas internas que permitan la unión con la mesa superior. Para simular este componente se deja fija la parte inferior externa y se aplica la fuerza en la parte superior interna. Con estos datos de entrada se obtuvieron los siguientes resultados (figura 36).

Figura 36. Factor de seguridad de las barras



Se obtiene un factor de seguridad mínimo de 2.3 en el cuerpo de la barra. Posteriormente se verifica el factor de seguridad tanto para la rosca externa como para la interna.

Para verificar la resistencia de las roscas triangulares, se aplica el mismo método utilizado para el cálculo de los tornillos de potencia con su tuerca, sólo que en esta ocasión se tiene rosca triangular. Para este caso, se toma como tornillo el extremo de la barra roscado exteriormente y como tuerca el que está roscado interiormente. Siendo la rosca externa de diámetro estándar igual a 1.25 [in] y la interna con diámetro estándar de 0.75 [in]

Figura 37. Rosca estándar UNF

Tamaño	Diámetro mayor (nominal) d (in)	ROSCA BASTA (UNC)			ROSCA FINA (UNF)			Ancho aproximado entre caras A_T (in)	
		Número de hilos por pulgada	Diámetro menor d_r (in)	Área de esfuerzo a tracción A_t (in ²)	Número de hilos por pulgada	Diámetro menor d_r (in)	Área de esfuerzo a tracción A_t (in ²)		
								Cabeza	Tuerca
0	0.0600	-	-	-	80	0.0438	0.0018		
1	0.0730	64	0.0527	0.0026	72	0.0550	0.0028		
2	0.0860	56	0.0628	0.0037	64	0.0657	0.0039		
3	0.0990	48	0.0719	0.0049	56	0.0758	0.0052		
4	0.1120	40	0.0795	0.0060	48	0.0849	0.0066		
5	0.1250	40	0.0925	0.0080	44	0.0955	0.0083		
6	0.1380	32	0.0974	0.0091	40	0.1055	0.0101		
8	0.1640	32	0.1234	0.0140	36	0.1279	0.0147		
10	0.1900	24	0.1359	0.0175	32	0.1494	0.0200		
12	0.2160	24	0.1619	0.0242	28	0.1696	0.0258		
¼	0.2500	20	0.1850	0.0318	28	0.2036	0.0364	7/16	7/16
5/16	0.3125	18	0.2403	0.0524	24	0.2584	0.0581	½	½
3/8	0.3750	16	0.2938	0.0775	24	0.3209	0.0878	9/16	9/16
7/16	0.4375	14	0.3447	0.1063	20	0.3725	0.1187	5/8	11/16
½	0.5000	13	0.4001	0.1419	20	0.4350	0.1600	¾	¾
9/16	0.5625	12	0.4542	0.1819	18	0.4903	0.2030	13/16	7/8
5/8	0.6250	11	0.5069	0.2260	18	0.5528	0.2560	15/16	15/16
¾	0.7500	10	0.6201	0.3345	16	0.6688	0.3730	1 1/8	1 1/8
7/8	0.8750	9	0.7307	0.4617	14	0.7822	0.5095	1 5/16	1 5/16
1	1.0000	8	0.8376	0.6057	12	0.8917	0.6630	1 ½	1 ½
1 1/8	1.1250	7	0.9394	0.7633	12	1.0167	0.8557	1 11/16	1 11/16
1 ¼	1.2500	7	1.0644	0.9691	12	1.1417	1.0729	1 7/8	1 7/8
1 3/8	1.3750	6	1.1585	1.1549	12	1.2667	1.3147	2 1/16	2 1/16
1 ½	1.5000	6	1.2835	1.4053	12	1.3917	1.5810	2 ¼	2 ¼
1 ¾	1.7500	5	1.4902	1.8995				2 5/8	2 5/8
2	2.0000	4.5	1.7113	2.4982				3	3
2 ¼	2.2500	4.5	1.9613	3.2477				3 3/8	3 3/8
2 ½	2.5000	4	2.1752	3.9988				3 ¾	3 ¾
2 ¾	2.7500	4	2.4252	4.9340				4 1/8	4 1/8
3	3.0000	4	2.6752	5.9674				4 ½	4 ½
3 ¼	3.2500	4	2.9252	7.0989				4 7/8	
3 ½	3.5000	4	3.1752	8.3286				5 ¼	
3 ¾	3.7500	4	3.4252	9.6565				5 5/8	
4	4.0000	4	3.6752	11.083				6	

Fuente: EGA Master S.A. Diseño y fabricación de equipos y herramientas de mano. < <http://www.egamaster.com/es/tornillos-tuercas-y-roscas/roscas.html> >

La “tuerca” tiene una longitud de 1.4 [in] y el “tornillo” de 1.5 [in]. Las roscas triangulares son más sensibles al esfuerzo cortante, por tal motivo se verifica su resistencia.

Para el “tornillo”:

$$S_y = \frac{3 * F * N}{2 * A_{ab}} \quad (\text{ecuación 4.13})$$

Donde:

$S_y =$ Esfuerzo de fluencia

$F =$ Carga aplicada

$N =$ Factor de seguridad

$A_{ab} =$ Área resistente al esfuerzo cortante

El área resistente al esfuerzo cortante se calcula de la siguiente manera:

$$A_{ab} = \pi * d_r * W_i * L_t \text{ (ecuación 4.14)}$$

Donde:

$d_r =$ Diámetro de raíz

$W_i =$ Factor geométrico

$L_t =$ Longitud total

El factor geométrico para la rosca triangular es de $W_i=0,8$. Resolviendo la ecuación 4.14 se tiene que A_{ab} es de 3.745 [in²]. Con este valor y el S_y del acero SAE 1045, se reordena la ecuación 4.13 y se encuentra que $N=10,2$, un factor de seguridad confiable. Para la “tuerca” se utiliza igualmente la ecuación 4.13 para calcular el factor de seguridad N , pero en este caso el área A_{ab} se calcula de la siguiente manera:

$$A_{abTu} = \pi * d * W_o * L_t \text{ (ecuación 4.15)}$$

Donde:

$d =$ Diámetro

$W_o =$ Factor geométrico

$L_t =$ Longitud total

W_o es igual a 0.88 para este caso, luego $A_{abTu} = 2.4882$ [in²]. Resolviendo el factor de seguridad se tiene que $N=6,67$. Esto nos indica que ambas uniones roscadas soporten con una alta confiabilidad la carga máxima.

De igual manera, el tornillo que sujeta cada barra con la mesa superior debe resistir esta carga. Por seguridad se selecciona un tornillo SAE grado 8, con un diámetro estándar de $\frac{3}{4}$ [in], el cual tiene una resistencia a la fluencia mínima de 130000 [psi] (figura 42).

Calculando el tornillo por criterio de esfuerzo axial se tiene:

$$S_y = \frac{F * N}{A} \quad (\text{ecuación 4.7})$$

A es el área resistente del tornillo. Resolviendo para el factor de seguridad se tiene que es igual a 3,9.

En lo que tiene que ver con esfuerzo cortante, Norton² establece que para roscas UNS o ISO, con $d < 1$ in, en las que el perno y la tuerca son del mismo material, La condición $L_T \geq 0.5d * N$ garantizará que la resistencia al barrido sea mayor que la resistencia a tracción.

Como la longitud total del tornillo L_T es 1,5 [in] y el diámetro del mismo es 0,75 [in] es factor de seguridad es de 2,22 que cumple con las condiciones de diseño.

Figura 38. Resistencia de diferentes grados de tornillos SAE

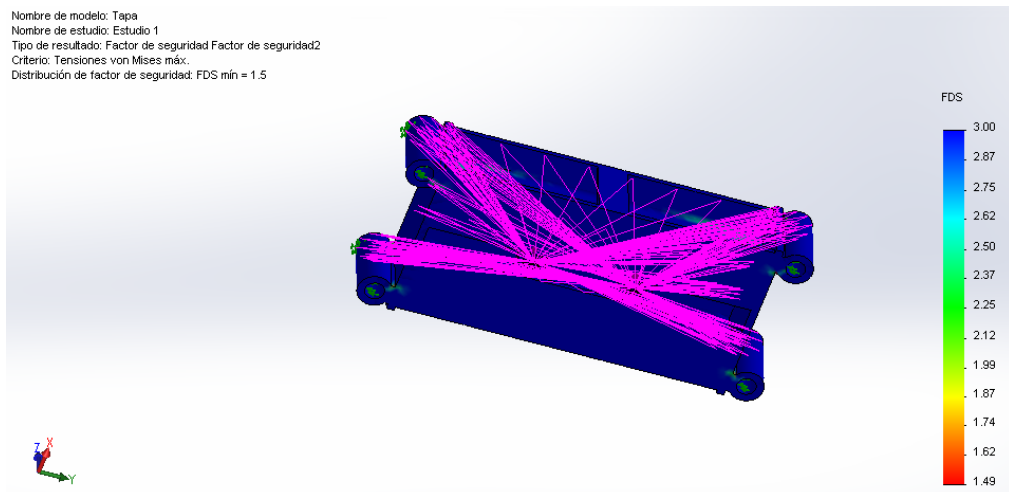
Grado SAE	Intervalo de tamaños (inclusive) (in)	Resistencia límite mínima a la tracción S_p (ksi)	Resistencia de fluencia mínima a la tracción S_y (ksi)	Resistencia última mínima a la tracción S_u (ksi)	Características del acero
1	$\frac{1}{4}$ a $1\frac{1}{2}$	33	36	60	Medio o bajo carbono
2	$\frac{1}{4}$ a $\frac{3}{4}$	55	57	74	Medio o bajo carbono
	$\frac{7}{8}$ a $1\frac{1}{2}$	33	36	60	
4	$\frac{1}{4}$ a $1\frac{1}{2}$	65	100	115	Medio carbono estirado en frío
5	$\frac{1}{4}$ a 1	85	92	120	Medio carbono templado y revenido
	$1\frac{1}{8}$ a $1\frac{1}{2}$	74	81	105	
5.2	$\frac{1}{4}$ a 1	85	92	120	Martensítico de bajo carbono, templado y revenido
7	$\frac{1}{4}$ a $1\frac{1}{2}$	105	115	133	Aleado de medio carbono, templado y revenido
8	$\frac{1}{4}$ a $1\frac{1}{2}$	120	130	150	Aleado de medio carbono, templado y revenido
8.2	$\frac{1}{4}$ a 1	120	130	150	Martensítico de bajo carbono, templado y revenido

Fuente: Documento web. < <http://www.utp.edu.co/~lvanegas/dis1/Cap8.pdf> >

4.4.3 Dimensionamiento de la mesa superior.: Para modelar este componente se tomó como referencia las guías donde se alojan las barras y se fijaron las caras internas donde estas se apoyan. Se adicionaron las fuerzas que se le transfieren por medio de los dos tornillos de potencia. El material aplicado fue acero A36, aunque las guías se hicieron de tubería de perforación AISI 1045, lo que le da soporte extra a los puntos más críticos, los cuales se encuentran en la unión de estas con las viga de perfil W.

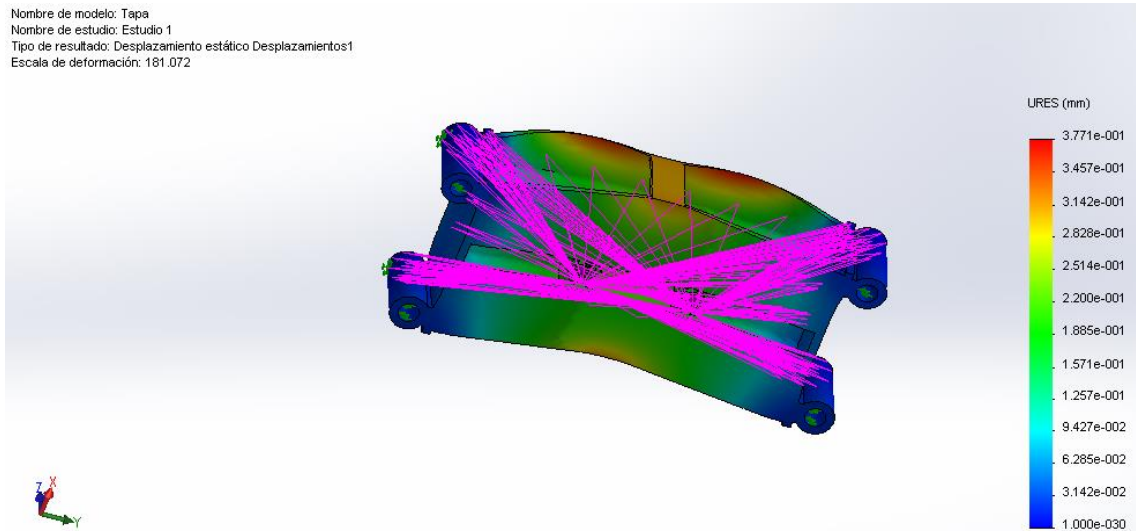
Como resultado se obtiene un factor de seguridad de 1.5, que coincide exactamente con el factor de seguridad que se está manejado para toda la máquina (figura 39).

Figura 39. Factor de seguridad mesa superior



En cuanto a lo que respecta la rigidez, se obtiene un excelente resultado ya que solo se deforma 0.35 [mm] (figura 40). Sumando la deformación total de las piezas de la estructura anteriormente analizadas se tiene una deformación de menos de 1 [mm], apenas percibida por el ojo humano

Figura 40. Deformación total de la mesa superior

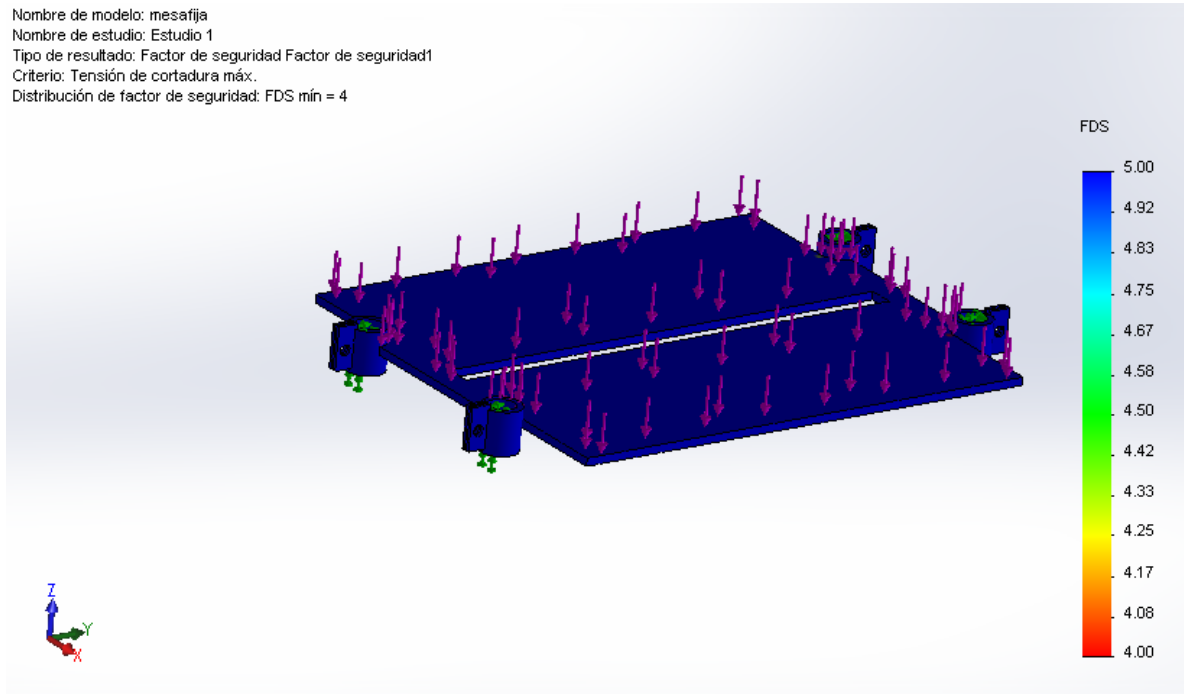


4.4.4 Dimensionamiento de la mesa fija: La meja fija se encuentra anclada mediante 4 abrazaderas en cada una de los barras y con una ranura en la parte central de la misma para dejar pasar la cuchilla inferior, esta solo debe soportar el peso de la roca, que con las dimensiones propuestas es de aproximadamente 70 Kg, sin embargo, se pueden colocar piedras más pesadas, lo que hace que deba soportar más carga. En general una persona promedio es capaz de levantar 50Kg, suponiendo que el material de trabajo más grande sea levantado por dos personas, se supone una carga total de 100 Kg. En la simulación se evaluó este componente con una carga distribuida equivalente a estos 100 [Kg].

En la figura 41 se observa que un factor de seguridad de 5 nos da una alta confiabilidad para esta pieza.

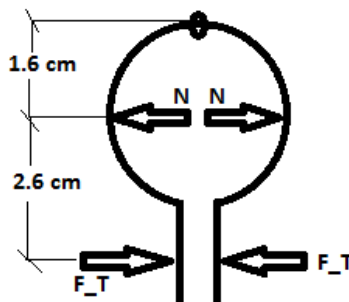
Figura 41. Factor de seguridad mesa fija

Nombre de modelo: mesafija
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensión de cortadura máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS min = 4



Por simetría, cada una de las abrazaderas debe soportar 25 Kg, mediante fricción estática. Luego se debe calcular el par de apriete del tornillo que cumpla con esta condición.

Figura 42. Diagrama de cuerpo libre de la abrazadera



El coeficiente de rozamiento para el cálculo de la fricción estática se toma de la figura 43, donde se datan para diferentes materiales en contacto, que para nuestro caso es acero-acero.

Figura 43. Coeficiente de fricción estática entre distintos materiales en contacto

COEFICIENTES DE ROZAMIENTO		
Materiales en contacto	Fricción estática	Fricción cinética
Hielo // Hielo	0,1	0,03
Vidrio // Vidrio	0,9	0,4
Madera // Cuero	0,4	0,3
Madera // Piedra	0,7	0,3
Madera // Madera	0,4	0,3
Acero // Acero	0,74	0,57
Acero // Hielo	0,03	0,02
Acero // Latón	0,5	0,4
Acero // Teflón	0,04	0,04
Teflón // Teflón	0,04	0,04
Caucho // Cemento (seco)	1	0,8
Caucho // Cemento (húmedo)	0,3	0,25
Cobre // Hierro (fundido)	1,1	0,3
Esqui (encerado) // Nieve (0°C)	0,1	0,05
Articulaciones humanas	0,1	0,003

Fuente: *La física con Félix. Página web.* <
javascript:try{if(document.body.innerHTML){var a=document.getElement}>

Se toma el valor medio del coeficiente estático registrado, para ser un poco más conservador con el diseño. Luego $\mu=0,37$.

La fuerza normal se establece como:

$$N = \frac{P}{\mu} \text{ (ecuación 4.16)}$$

Donde:

$N =$ fuerza normal

$P =$ Fuerza de rozamiento

$\mu =$ coeficiente de fricción

La fuerza de rozamiento se establece en 25 [kg], que es el peso soportado por cada abrazadera. Con este dato y con el valor del coeficiente de fricción se calcula la fuerza normal utilizando la ecuación 4.15. N tiene un valor de 67.57 [kg]

Se hace una sumatoria de momentos alrededor del punto “o” del diagrama de cuerpo libre observado en la figura 46 y se tiene:

$$2.6 * F = N * 1.6 \text{ (ecuación 4.17)}$$

Donde:

F = Fuerza de apriete del tornillo

N = Fuerza normal

Resolviendo, se tiene que F es igual a 41,58 [kg]. Para calcular entonces el torque de apriete requerido se utiliza la siguiente expresión:

$$T = K * d * F \text{ (ecuación 4.18)}$$

Donde:

K = valor adimensional del tornillo a girar

d = Diámetro del tornillo

F = Fuerza de apriete

El valor de K para tornillos sin lubricar es de 0,3. El diámetro del tornillo a utilizar para el apriete es de 1,27 [cm]. Entonces, resolviendo la ecuación 4.18 se tiene que el torque de apriete respectivo es de 15,84 [kg*cm].

4.5 DIMENSIONAMIENTO DE LA VIGA DE LA CUCHILLA INFERIOR

Debido que esta viga solo sostiene la cuchilla enteriza inferior y es accionada directamente por el cilindro hidráulico, se hace necesario que esta sea de un material altamente rígido y resistente. El elemento que mejor proporciona estas dos características es el acero para riel de tren junto con su perfil, con un alto grado de rigidez y resistencia. Las propiedades y el perfil del riel de tren conseguido fácilmente en el mercado local se muestran en el anexo G.

Para simular este componente se aplica una fuerza distribuida que simula el contacto con la cuchilla inferior en la operación en el área respectiva y se fija en la parte inferior, donde hace contacto el cilindro hidráulico y en las guías que se desplazan sobre las barras. La fuerza aplicada sobre este elemento es la máxima posible por el gato, es decir, 44000 [lb-f]. Con estas magnitudes se realiza la simulación CAE de la viga que muestra un factor de seguridad de 2.25 (figura 44) y una deformación de tan solo 0,32 [mm] (figura 45).

Figura 44. Factor de seguridad de la viga de la herramienta inferior

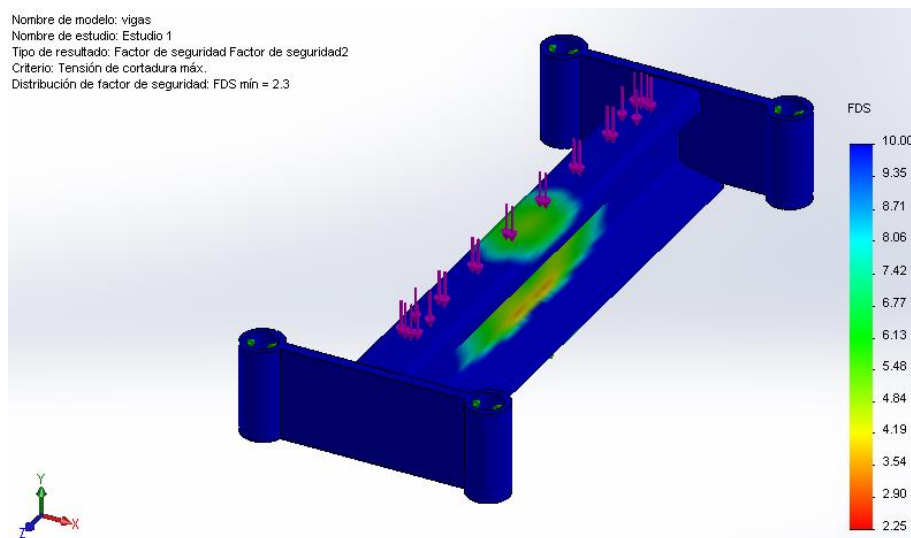
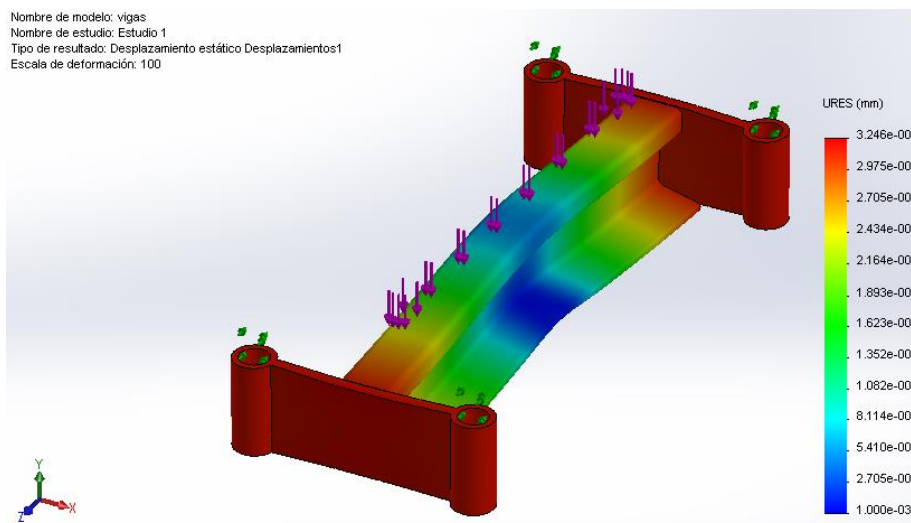


Figura 45. Deformación de la viga de la cuchilla inferior

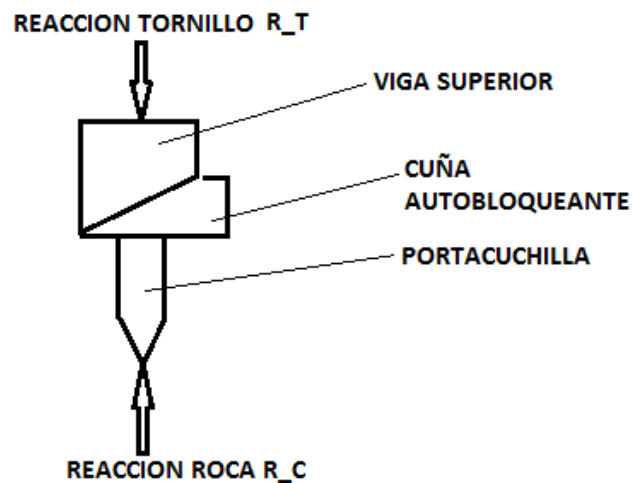


4.6 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE LA HERRAMIENTA SUPERIOR

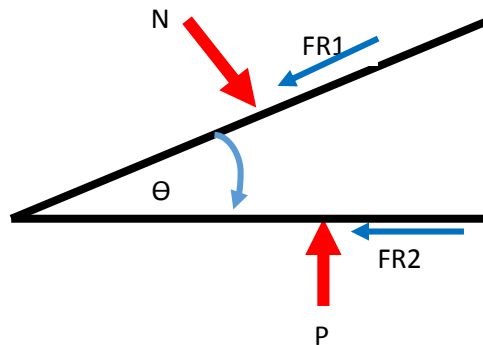
Inicialmente se debe calcular el ángulo que va a tener el armazón, puesto que las cuñas que realizan el contacto entre el porta cuchillas y este elemento debe ser auto bloqueante, es decir, que al aplicar la fuerza permanezca en su sitio (figura 46).

Figura 46. Diagrama de cuerpo libre. a) Sistema de la herramienta superior.
b) cuña

a)



b)



Como los materiales en contacto son Acero-Acero, se asume un coeficiente de fricción estático igual a la mitad del que se presentó anteriormente en la figura 47 que es de $0.74/2 = 0.37$. A partir de este valor se encuentra cuál es el ángulo crítico para que la cuña sea auto bloqueante, esto mediante sumatoria de fuerzas en equilibrio de la figura 50.b):

$$P = N \cos \theta + FR_1 \operatorname{Sen} \theta \quad (\text{ecuación 4.19})$$

$$FR_1 = \mu N \quad (\text{ecuación 4.20})$$

$$FR_2 = \mu P \quad (\text{ecuación 4.21})$$

$$N \operatorname{sen} \theta = FR_1 \cos \theta + FR_2 \quad (\text{ecuación 4.22})$$

Resolviendo este sistema de ecuaciones con $\mu = 0.37$ se encuentra el ángulo crítico “ Θ ”.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{2 * \mu}{1 - \mu^2} \quad (\text{ecuación 4.23})$$

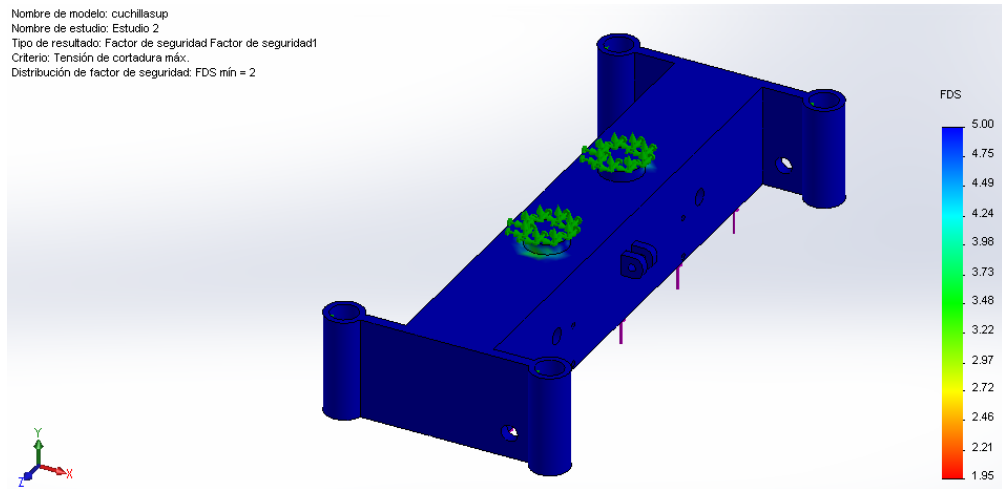
Se obtiene un valor de 40.6° , lo que quiere decir que una cuña que tenga 40° o menos de inclinación no saldrá disparada en la operación del equipo, sin embargo, para tener un diseño conservador se construye una cuña con una inclinación de 20° .

Una vez sustentada la inclinación del armazón, se procede a simular con CAE esta pieza, colocando las restricciones pertinentes, como son: la fijación sobre los puntos de contacto de los tornillos, y la referencia de las guías que van sobre las barras.

La fuerza se aplicó en la cara inclinada pero con dirección vertical, con una magnitud de 44.000 lb-f; la componente horizontal se toma como despreciable por la baja magnitud del ángulo de inclinación. El material seleccionado fue el ASTM A36 que se mencionó con anterioridad. Con estas entradas se obtuvo que se

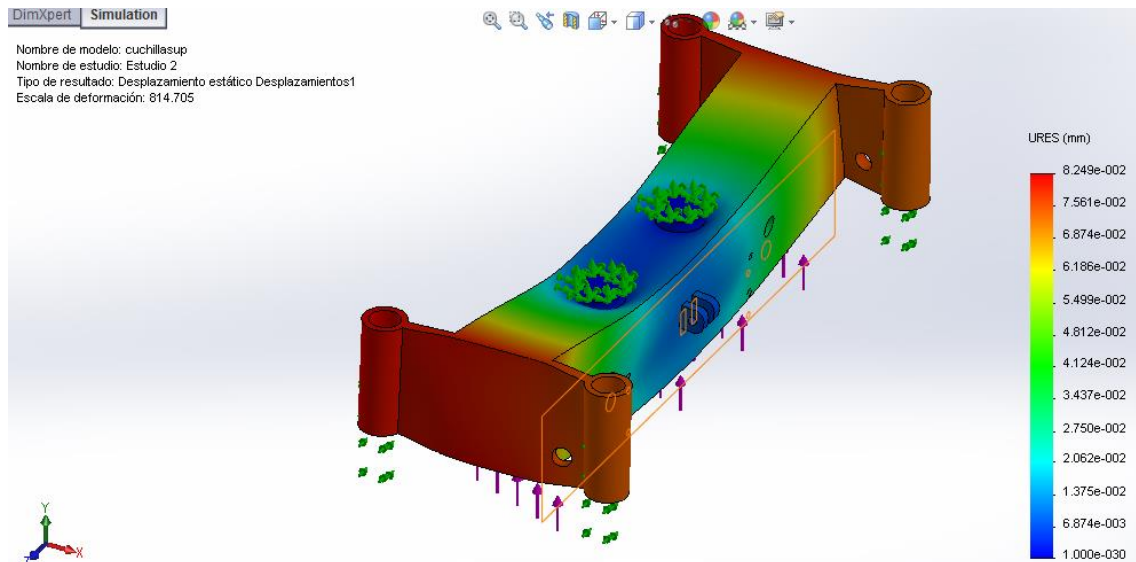
obtuvo un factor de seguridad de 1,95, que cumple con los requerimientos (figura 47).

Figura 47. Factor de seguridad del armazón de la herramienta superior



En cuanto a rigidez, se observa que tan solo se deforma 0.08 [mm], lo cual es un excelente valor (figura 48).

Figura 48. Deformación del armazón de la herramienta superior



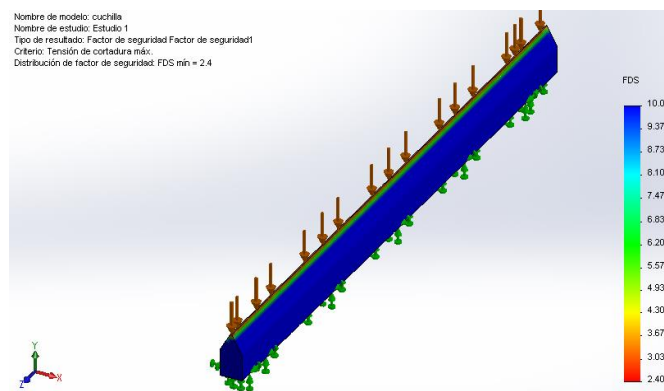
4.7 DIMENSIONAMIENTO DE LAS CUCHILLAS

Las cuchillas deben ser lo suficientemente fuertes para soportar la alta concentración de esfuerzo debido a su geometría triangular y a la vez, ser lo suficientemente duras para soportar la abrasión a la que estarán expuestas en la operación. Debido a las extremas condiciones, lo adecuado es seleccionar materiales de alta dureza como el carburo de tungsteno, sin embargo, este tipo de material solo se trabaja por sinterización, lo cual eleva demasiado el costo de la pieza. Por lo tanto, se ve la necesidad de escoger un material similar pero con prestaciones más bajas y más fácil de conseguir en el mercado local.

La mejor opción es el acero anti desgaste FORA 450 disponible en la Compañía General de Aceros, el cual tiene un alto límite de fluencia y que se presta para tratamientos térmicos como el cementado, que le proporciona una dureza superficial de hasta 60 HRC. En el anexo H se pueden observar las propiedades de este material, en las que destacan el límite elástico de 1200 [Mpa] que equivale a 174000 [psi].

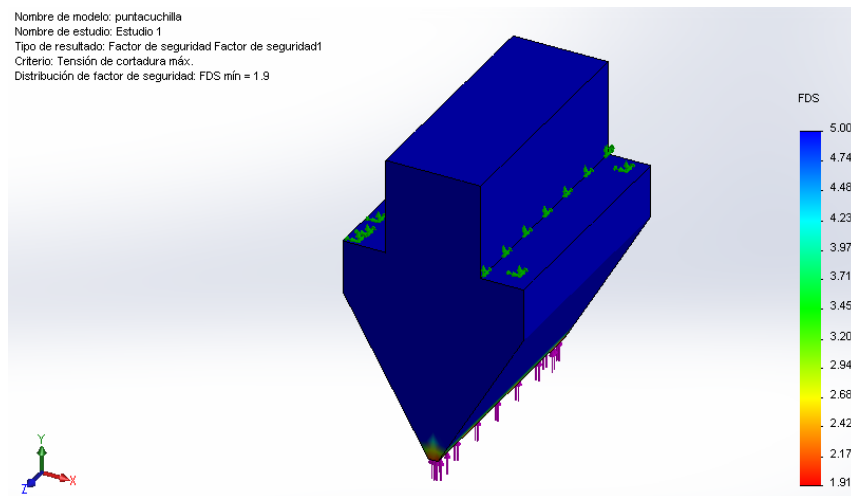
Para el análisis de la cuchilla inferior se coloca la fuerza como si fuese distribuida en la arista de la cuchilla y la pieza se fija en la cara del otro extremo para realizar la simulación por CAE con lo que se tiene un factor de seguridad de 2.40 (figura 49)

Figura 49. Factor e seguridad de la cuchilla inferior



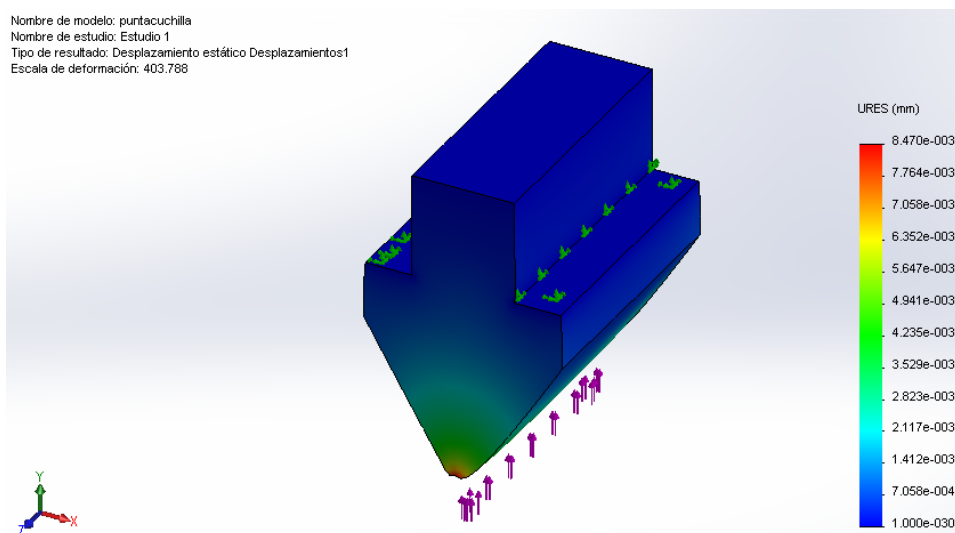
Para simular las cuchillas adaptables se ha asignado una cantidad proporcional de fuerza a cada segmento de cuchilla asumiendo que todas estas tienen contacto con la roca, que es el caso en donde soportarían mayores esfuerzos. Con estas consideraciones se realiza la simulación CAE y se obtiene un factor de seguridad de 1,91 (figura 50).

Figura 50. Factor de seguridad de las cuchillas adaptables



En lo que se refiere a la rigidez de la cuchilla, se observa una deformación de 0,0084 [mm], lo cual nos da un alto grado de confiabilidad de este componente.

Figura 51. Deformación de las cuchillas adaptables

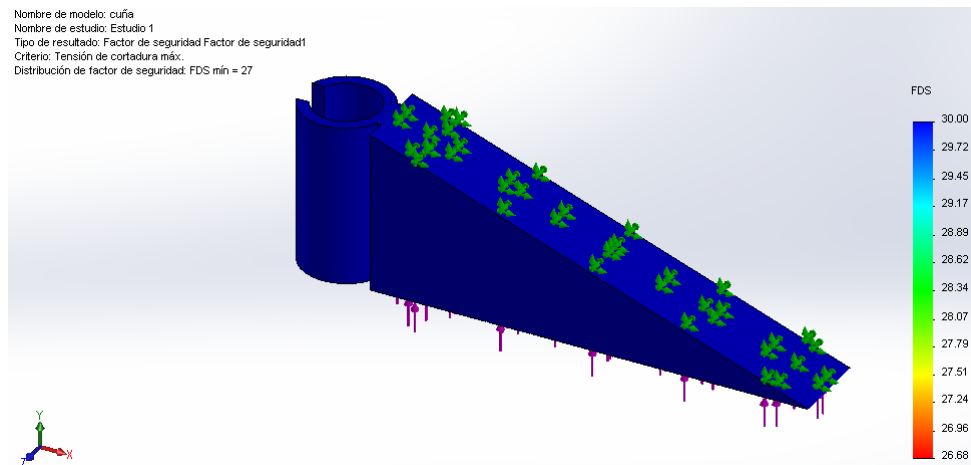


4.8 DIMENSIONAMIENTO DE LA CUÑA Y EL PORTA CUCHILLA.

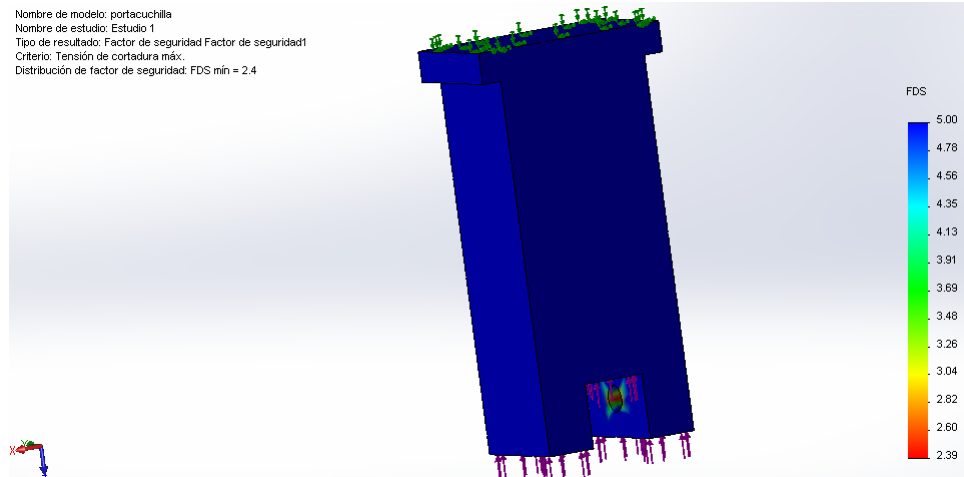
Estas dos piezas son piezas ejecutan la tarea de transición de los esfuerzos producidos en las cuchillas y transmitirlos al almacén. Únicamente deben soportar el flujo de esfuerzo. Los resultados del CAD de la cuña y el porta cuchillas se muestra en la figura 52:

Figura 52. Factor de seguridad. a) cuña. b) cuchilla

a)



b)



De la figura anterior se puede concluir que estos dos componentes no fallan por compresión, asegurando factores de seguridad de 26 y 2.39 respectivamente

4.9 DIMENSIONAMIENTO DE LA MANIVELA DE LA SINCRONIZACIÓN.

Como ya se explicó anteriormente la cuchilla superior es móvil para ajustar el espesor de la roca a cortar, pero el peso de esta está soportado por los tornillos de potencia los cuales giran por acción manual del operario mediante una transmisión de engranajes cónicos sincronizados por una cadena de rodillos.

La mesa superior junto con todos los componentes instalados tiene un peso de alrededor de 70 [kg] y adicionando la fricción de todos los componentes se completa un peso de 100 Kg a ser levantado.

Por simetría cada tornillo soporta entonces 50 [kg]. Con esta consigna y asumiendo una fuerza de una persona promedio de 33 [kg-f], se calcula la longitud mínima de la manivela superior.

Inicialmente se calcula el torque de subida del tornillo que es el más crítico:

$$T_s = F * \frac{d_m}{2} * \frac{\tan \lambda + \mu}{1 - \mu * \tan \lambda} \text{ (ecuación 4.24)}$$

$$d_m = \frac{d_e + d_r}{2} \text{ (ecuación 4.25)}$$

$$\tan \lambda = \frac{n * p}{\pi * d_m} \text{ (ecuación 4.26)}$$

Donde:

λ = *Ángulo de helice*

T_s = *Torque de subida*

n = *Número de entradas*

Todos estos datos se mencionaron en apartados anteriores, incluyendo $\mu = 0,37$. Específicamente en la figura 34. Resolviendo se tiene que:

$$d_m = 1.375 \text{ [in]}$$

$$\tan \lambda = 0.057875 \quad \lambda = 3.312^\circ$$

$$T_s = 33.1 \text{ lb} - \text{in} = 0.382 \text{ [kg} - \text{m]}$$

Como son dos tornillos de potencia, el engranaje cónico soporta la suma de los torques de cada uno, es decir, que en total el torque a vencer del engranaje cónico que se conecta con este es de: $T_1 = 0.764 \text{ [kg} - \text{m]}$.

La relación de engranajes cónicos según el número de dientes de cada uno es de $i = 1.6$, luego el torque en el eje del piñón cónico más pequeño es de:

$$T_2 = \frac{T_1}{i} = 0.4775 \text{ [kg} - \text{m]} \text{ (ecuación 4.27)}$$

De esta manera solo falta hallar la longitud de manivela para accionar manualmente:

$$L = \frac{T_2}{F} \text{ (ecuación 4.28)}$$

Donde

$F =$ Fuerza promedio de una persona adulta

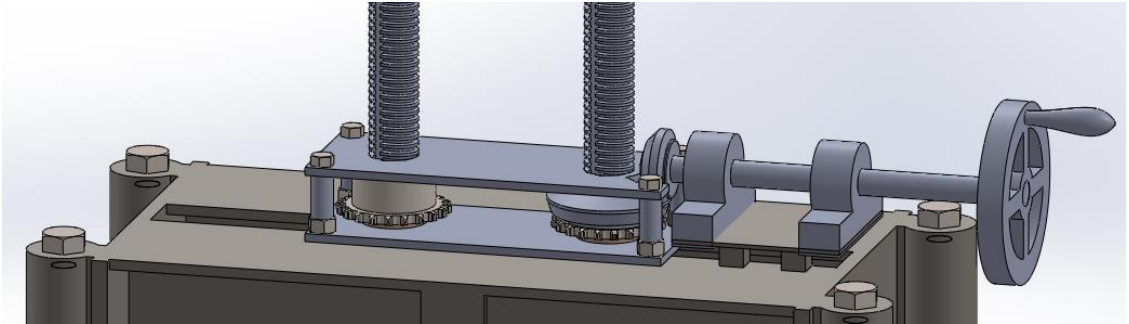
$T_s =$ Torque se la manivela

$L =$ Longitud de la manivela

El valor de F se establece en 33 [kg-f] para un diseño conservador. Resolviendo la ecuación 4.25 se tiene que es igual a 0,015 [m]. Es decir, que colocando una palanca de 1.5 [cm] se podría elevar la herramienta superior; pero debido a la incomodidad que esto representaría no es una magnitud aceptable. En cambio, se

establece que la longitud de la manivela es de 20 [cm] que cumple igualmente con los requerimientos y es mucho más ergonómico y estético (figura 53).

Figura 53. Transmisión superior



5. MANUFACTURA

La construcción de cada uno de los componentes del equipo se llevó a cabo conjuntamente en el taller de la escuela de ingeniería de la Universidad Industrial de Santander, localizado en el aula 104, y en la Metalizadora Santander, ubicada en la carrera 14 # 16-30 en el barrio Gaitán de la ciudad de Bucaramanga. Siendo en este último donde se fabricaron las piezas de mayor complejidad.

Una vez realizado el diseño del prototipo, se realizó el diseño de los procesos para su manufactura, en los que se tuvo como prioridad la disponibilidad de equipos y personal de la UIS, tratando de maximizar los procesos realizables en estos.

A continuación se describe el proceso de manufactura de cada uno de los sistemas que componen la máquina cortadora de piedra. Todas las operaciones realizadas en su mayoría contaron con la colaboración y supervisión de los autores del proyecto.

Se debe tener en cuenta que todos los procesos de soldadura fueron realizados utilizando el equipo de soldadura por arco que se tiene disponible en el aula 104, mostrado en la figura 58. Los electrodos revestidos que se utilizaron son de la marca WEST ARCO, todos de calibre 1/8, dependiendo del lugar donde estos se iban a utilizar se utilizaban tipo E7018 o E6013.

Figura 54. Equipo de soldadura



Fuente: Universidad Distrital. < <http://www.udistrital.edu.co:8080/web/laboratorio-mecanica/equipo-de-soldadura-tipo-transformador-de-ac.-para-soldadura-por-arco-electrico-marca-lincoln>. >

5.1 MANUFACTURA DE LA ESTRUCTURA

Como ya se había mencionado, la estructura del equipo se divide en 4 componentes: Base, mesa superior, mesa fija y barras.

5.1.1 Manufactura de la base: La base está conformada por vigas de perfil “W” ensambladas. Estas vigas fueron adquiridas en el depósito Aratoca, ubicado en la calle 18 con carrera 13 en la ciudad de Bucaramanga. Posteriormente se procedió a cortar 4 tramos en la sierra mecánica de la Escuela de ingeniería mecánica, dando las dimensiones finales (figura 55). La configuración de este elemento obligó a cortar las aletas en ambos extremos de un par de estas vigas, dejando el alma intacta para que se pudieran encajar unas dentro de las otras y así poder lograr la configuración geométrica establecida. Una vez puesta en su lugar, se procedió a soldar con electrodos E7018 en cada una de los lugares donde se presentaba el contacto.

Las tuercas que componen la pieza fueron compradas en la empresa Tornillos y Partes S.A con dirección calle 18 # 13-50 de Bucaramanga. Para ensamblarlas se procedió a colocarlas en la posición correcta y soldar utilizando el mismo método y electrodo con el que se soldaron las vigas.

Figura 55. Sierra mecánica UIS

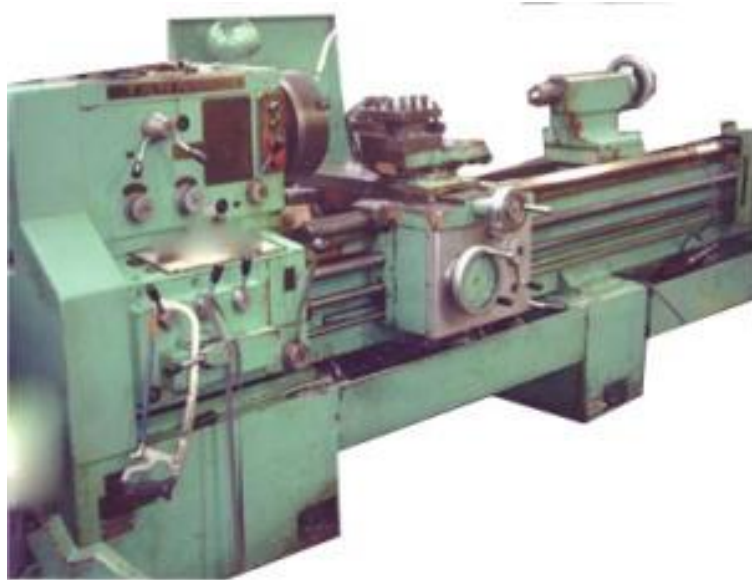


5.1.2 Manufactura mesa superior: La mesa superior presenta un armado similar al de la base. Dos vigas de perfil “W” previamente cortadas en la sierra mecánica se unen mediante un par de láminas de acero estructural soldadas con electrodos E7018 en sus extremos, tomando una forma rectangular. Previamente, las tuercas del tornillo de potencia han sido unidas a través un par de secciones rectangulares de lámina estructural, que no son más que dos piezas soportadas dentro del alma de las vigas que actúan como aletas de soporte. Es unión se hace por medio de soldadura con electrodo E7018.

Los 4 tramos de tubería de perforación fueron adquiridos con las dimensiones requeridas de longitud, por lo que no se hizo necesario procesos de corte. Pero ante la necesidad de reducir el diámetro interior para permitir el paso de las barras de perfil circular, se procedió a realizar un proceso de cilindrado utilizando un torno convencional de la empresa Metalizadora del oriente (figura 56). Este torno presenta las siguientes características:

- Distancia entre puntos: 5 [m]
- Volteo: \varnothing 52 [cm]
- Husillo: \varnothing 2.5 [in]

Figura 56. Torno convencional



Fuente: Metalizadora del oriente LMTDA. <
<http://www.metalizadora.com/maquinaria.html> >

Los tramos de tubería fueron colocados en posición y soldados utilizando el mismo electrodo que se dispuso para los demás elementos del conjunto. Además, en este proceso se unieron las arandelas, las cuales actúan como tope límite cuando se hace el ensamble con las barras.

5.1.3 Mesa Fija: La mesa fija es una sección rectangular de lámina estructural a la que se le han añadido 4 abrazaderas del mismo material por medio de soldadura E7018. La sección de lámina, fue solicitada incluida la forma requerida al depósito ORLANDO, ubicado en la carrera 13 # 24-13 en Bucaramanga, por lo que no hubo necesidad de procedimientos posteriores.

Las 4 abrazaderas se fabricaron a partir de 4 tubos comprados con las dimensiones previamente establecidas en la empresa IMR de Bucaramanga, a los cuales se les hizo una ranura con segueta manual para soldar con electrodo E6013 dos secciones cuadradas de lámina estructural previamente taladradas con diámetro de broca de $\frac{1}{2}$ [in] para permitir el paso del tornillo que finalmente hace el apriete contra las barras cuando se rosca en una tuerca soldada en la cara posterior.

Las operaciones de taladrados fueron hechas en la escuela de ingeniería mecánica UIS utilizando un taladro vertical (figura 57)

Figura 57. Taladro vertical



Fuente: Metalizadora del Oriente. <<http://www.metalizadora.com/maquinaria.html> >

5.1.4 Barras: Las 4 barras de perfil circular fueron solicitadas a medida a la empresa RODAMIENTOS Y ACEROS de la ciudad de Bucaramanga. Posteriormente se procedió a hacerse un proceso de roscado interno en uno de sus extremos y un roscado externo en el extremo opuesto utilizando en ambos casos el torno convencional (figura 60). Para los casos de roscado interno se utilizaron machos una vez realizados los agujeros correspondientes.

5.2 MANUFACTURA DE LOS SISTEMAS DE HERRAMENTAS DE CORTE

5.2.1 Manufactura de la herramienta superior: La herramienta superior tiene un considerable número de componentes elaborados mediante diferentes procesos, por lo que se considera el sistema más difícil de fabricar dentro del prototipo.

La primera pieza maquinada en este sistema fue el armazón de perfil trapezoidal. Para ello se hizo compra de 5 secciones rectangulares de lámina estructural, cada una de distinta medida. La configuración de esta “caja” consiste en una placa base, en la cual van apoyadas 3 placas más que actúan como columnas sosteniendo una placa diagonal que cierra el trapecio. Para que la placa diagonal pueda apoyarse sin problema fue necesario maquinar cada una de las tres placas columna en una de sus aristas para formar un chaflán de 20°, ángulo necesario para el contacto con la cuña. Este procedimiento se hizo en la empresa Metalizadora del Oriente Ltda en la maquina cepilladora (figura 58).

Una vez armado el armazón mediante soldadura de arco con electrodo revestido E7018, se procede a utilizar este mismo procedimiento para unir las láminas posteriores con los tubos de acero al carbono, comprados a medida en el depósito ORLANDO y la empresa IMR respectivamente. Se realizó una ranura utilizando la segueta manual en cada uno de los tubos para la facilidad de desplazamiento a través de las barras.

Figura 58. Máquina cepilladora



Fuente: Metalizadora del Oriente. < <http://www.metalizadora.com/maquinaria.html> >

Una vez tenido el armazón, se elaboró la “caja” que sostiene cada una de las cuchillas adaptables. Para tal fin se compraron dos láminas rectangulares, las cuales fueron trabajadas para realizar ranuras en las cuales encajan cada una de las láminas de forma trapezoidal que forman el canal de las herramientas de corte. Tales ranuras se realizaron en la UIS con la fresadora convencional.

Un registro de este proceso se muestra en la figura 59.

Figura 59. Fresadora convencional UIS



Figura 60. Fresado de la caja de las cuchillas adaptables



Las láminas de forma trapezoidal se armaron realizando cortes diagonales a un fleje de acero estructural. Teniendo las láminas ranuradas y los flejes recortados se procede a ensamblar mediante soldadura E7018. De manera adicional se soldó a la caja una lámina horizontal para el sostén de las cuñas.

Las cuñas fueron compradas a medida en el depósito ORLANDO, al igual que el yugo. Los tubos de acople de las cuñas y las barras tirantes a medida se adquirieron por compra en la empresa IMR. El método de unión de la cuña con los tubos de acople consiste en dos tubos de distinto diámetro, suficiente para que uno se desplace libremente dentro del otro. El tubo más grande se soldó a la cuña con electrodo E6013, mientras que el más pequeño se le soldó al elemento restante utilizando la misma soldadura. Cabe mencionar que todos los tubos, tirantes y acopladores, fueron trabajados con broca de 1/8 [in] con el taladro vertical del taller de la escuela de ingeniería mecánica para posteriormente poder ensamblarlos con el yugo a través de pines.

Los porta-cuchillas se hicieron a partir de láminas de acero estructural que se recortaron a través de segueta manual para dar las dimensiones exteriores finales. Una canal fue realizado en cada uno de estos elementos utilizando la fresadora

convencional de Metalizadora del Oriente, posteriormente se taladraron ranuras de 1/8 [in] en la UIS utilizando el taladro vertical para finalmente roscar estos agujeros con machos suministrados por la misma universidad.

El proceso de elaboración de las cuchillas adaptables requirió el uso de la maquina cepilladora de la empresa Metalizadora, ya que se hizo necesario desbastar y posteriormente dar filo a una lámina de material FORA 450 comprada en la Compañía General de Aceros de Bucaramanga. También se hizo necesario utilizar una vez más la máquina fresadora de esta misma empresa para hacer dos operaciones de desbaste en ambas aristas de la cara no filosa de la cuchilla para dejar en medio, la saliente que encajará con el porta-cuchillas. Finalmente se procede a cortar la herramienta enteriza para formar varias de estas, de menor longitud.

5.2.2 Manufactura de la herramienta inferior: La cuchilla de este sistema se fabrica de la misma manera y con los mismos equipos que su contraparte superior, con la diferencia de que no se realiza el desbaste en las aristas y el corte en varias partes, debido a que esta es enteriza y se apoya en un riel de tren, adecuado mediante soldadura de electrodo E6013, con barras rectangulares cortadas a medida. El riel de tren fue adquirido en el depósito Aratocha y provisto con el mismo sistema que cuenta el armazón de la herramienta superior para el desplazamiento a través de las barras.

5.3 MANUFACTURA DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO DE LA HERRAMIENTA SUPERIOR

Aunque este es un sistema complejo en su funcionamiento, no lo es en su elaboración. El mecanismo cuenta principalmente con dos tornillos de potencia comprados a medida en Tornillos 7777777 en la ciudad de Bogotá. Este par de

tornillos cuenta con un acople de solidaridad traslacional con el sistema de herramienta superior.

Este acople consiste en un “sombrero” armado con soldadura E6013 mediante la unión de un tubo y una lámina de forma circular. Para evitar el desgaste del tornillo se añade en el ensamble una arandela de bronce cilindrada y rectificada en la Metalizadora Santander utilizando el torno convencional.

Para el acople con la mesa superior ya se cuentan con las tuercas soldadas en ella. Pero, para poder accionar los elementos roscados, se hizo compra de un par de engranajes cónicos, un piñón y una cadena en uno de los depósitos de la zona centro de la ciudad de Bucaramanga. Uno de los engranajes y el piñón fueron ranurados, al igual que los tornillos, pero cada uno con distintos métodos.

Para las ranuras de los tornillos de potencia se utilizó la máquina fresadora de la Metalizadora; en cuanto al cuñero del engranaje cónico y del piñón, el método utilizado fue el de cepillado interior con el equipo respectivo de la misma empresa. Se le llama cuñero debido a que posteriormente una cuña fue soldada con electrodo E6013.

Finalmente se arma una pequeña base por medio de láminas rectangulares soldadas con electrodos E6013, donde se protegen los engranajes y la cadena.

En lo que respecta al resto de los elementos, estos fueron comprados a medida en diferentes empresas. Las barras para el accionamiento fueron adquiridas en IMR Bucaramanga y las chumaceras en Rodamientos y aceros. Todos estos elementos se acoplan por tornillos prisioneros.

El gato hidroneumático fue adquirido a través de Importaciones Intertran de la ciudad de Bogotá.

Vale la pena resaltar que al momento de perfeccionar las superficies de todos los elementos, bien sea mediante desbaste o corte, y darle acabado a los filetes de soldadura, se utilizó pulidora de disco (figura 61).

Figura 61. Pulidora de disco



Fuente: Electro Reparaciones la Mejor. Reparación y mantenimiento de equipos industriales. < <http://www.repuestosherramientas.com/> >

6. PRESUPUESTO

Tabla 9. Presupuesto detallado

CANTIDA D	ITEM	VALOR
1	CILINDRO HIDRONEUMATICO 20 TONELADAS	330.000
2	TORNILLOS DE POTENCIA Φ 1.5[in] * 75 [CM] DE LARGO	180.000
2	TUERCAS PARA LOS TORNILLOS DE POTENCIA	50.000
4	BARRAS DE ACERO SAE 1045 Φ 1.25 [in] * 1.25 [m] DE LARGO	140.000
4	TUERCAS Φ 1.25 [IN] * 2 [in] LARGO	40.000
2	VIGA PERFIL W5*16 * 50 [cm]	90.000
2	VIGA PERFIL W5*16 *55 [cm]	100.000
2	VIGA PERFIL W5*16*75 [cm]	135.000
1	PERFIL RIEL DE TREN ASCE 25 * 53 [cm]	45.000
2	LAMINA ACERO ANTIDESGASTE $\frac{3}{4}$ [in] * 53*4 [cm]	65.000
4	TUBERIA DE PERFORACION DE 2.5 [in] *12 [cm]	30.000
1	SPROKET No 40 Z=20 * 2 HILOS	10.000
1	CADENA No 40 *50 [cm]	25.000
1	JUEGO DE ENGRANJES CONICOS A 90° MODULO 3, i=1.6	30.000
1	BARRA ACERO SAE 1020 Φ 20[mm] *65 [cm]	10.000
2	CHUMACERAS Φ 22[mm]	25.000
20	RESORTES Φ 17.2 [mm] Φ ALAMBRE 1.6[mm] * 80 [mm] LARGO	60.000
	TOTAL TUBERIA AL CARBON DE $\frac{1}{2}$ [in] CEDULA 40	15.000
	TOTAL TUBERIA AL CARBON DE $\frac{3}{8}$ [in] CEDULA 40	20.000
	TOTAL TUBERIA AL CARBON DE $\frac{1}{4}$ [in] CEDULA 40	10.000
	TOTAL TUBERIA AL CARBON 1 $\frac{1}{4}$ [in] CEDULA 80	25.000
	TOTAL LAMINA HR ACERO A36 $\frac{3}{4}$ [in]	50.000
	TOTAL LAMINA HR ACERO A36 $\frac{1}{2}$ [in]	100.000
	TOTAL LAMINA HR ACERO A36 $\frac{3}{8}$ [in]	120.000

	TOTAL LAMINA HR ACERO A36 ¼ [in]	30.000
	TOTAL TORNILLERIA	60.000
7	KILOS DE SOLDADURA E7018 WEST ARCO	60.000
3	KILOS DE SOLDADURA E6013 WEST ARCO	20.000
1	TRATAMIENTO TERMICO CEMENTADO+ TEMPLADO + REVENIDO	50.000
	TOTAL TPINTURA	30.000
	TOTAL MAQUINADOS	250.000
	TOTAL MANUFACTURA (CORTE, SOLDADURA Y EMSAMBLAJE)	650.000
	INSUMOS VARIOS Y ACARREOS	200.000
	IMPREVISTOS	150.000
	TOTAL	3'205.000

6.1 ANALISIS DE COSTOS DE LA MAQUINA

Para realizar este análisis se contó el costo de los materiales que se necesitan para la construcción de la máquina. En la tabla 8 se estimó el precio de cada uno de los materiales de materiales junto con la mano de obra.

A este valor es necesario agregar el costo del diseño, como también el valor del transporte de cada uno de los autores del proyecto, estimado en \$2.000.000, por lo tanto la construcción de la máquina tiene un costo total de: $3.20500 + 2.000.00 = \$5.205.000$.

Para saber si se justifica en términos de inversión la construcción de la máquina, para obtener un beneficio, se realiza un análisis en las ingresos que traerá la venta del producto trabajado en el prototipo, para esto es necesario conocer la producción del dispositivo y adicionalmente el costo de operación y mantenimiento del mismo.

En los objetivos se establece una velocidad de trabajado de un corte por minuto. Como lo que se quiere es obtener bloques rectangulares, esto conlleva a realizar

mínimo 4 cortes, dependiendo la forma de la roca; por lo cual, elaborar un bloque demanda mínimo 4 minutos. Adicionando el tiempo para acomodar la piedra sobre el prototipo que se supone de aproximadamente de 1 minuto, en total se tendría un tiempo de 5 minutos por bloque.

Adicionalmente se consideran los costos de mantener dos empleados con el salario mínimo legal vigente, uno para operar el dispositivo y otro para las labores de acercamiento de la materia prima

En el mercado local se estima que le metro cuadrado de este producto se encuentra en un precio promedio de \$60.000 COP. Se asume que el lugar de explotación es propio, es decir el costo de la materia prima es cero (0) pesos.

Suponiendo que se elaboran en promedio bloques de 15 [cm] de ancho * 25[cm] de largo sin importar el espesor y 1 bloque cada 5 minutos, en un turno de 8 horas diarias se tendría:

$$A_{diaria} = \frac{60}{\text{tiempo por bloque}} * \text{areabloque} * \text{No de horas al dia} \quad (\text{ecuación 6.1})$$

$$A_{diaria} = \frac{60}{5} * 0.15 * 0.25 * 8 = 3.6 \left[\frac{m^2}{\text{dia}} \right]$$

El costo de los dos empleados diarios más el mantenimiento del equipo se estima en \$ 65.000 COP, luego la ganancia diaria seria:

$$\text{Ganacia diaria} = \text{costo } m^2 * \left[\frac{m^2}{\text{dia}} \right] - \text{costos diarios} \quad (\text{ecuación 6.2})$$

$$\text{ganancia neta} = 60.000 * 3.6 - 65000 = 151.000 \text{ COP}$$

Se estima una ganancia neta diaria de \$ 151.000 COP. Con esta esta estimación el retorno de la inversión se lograría en:

$$\text{retorno inversion} = \frac{\text{costo maquina}}{\text{ganancia netadiaria}} = \frac{5205000}{151000} = 35 \text{ dias (ecuación 6.3)}$$

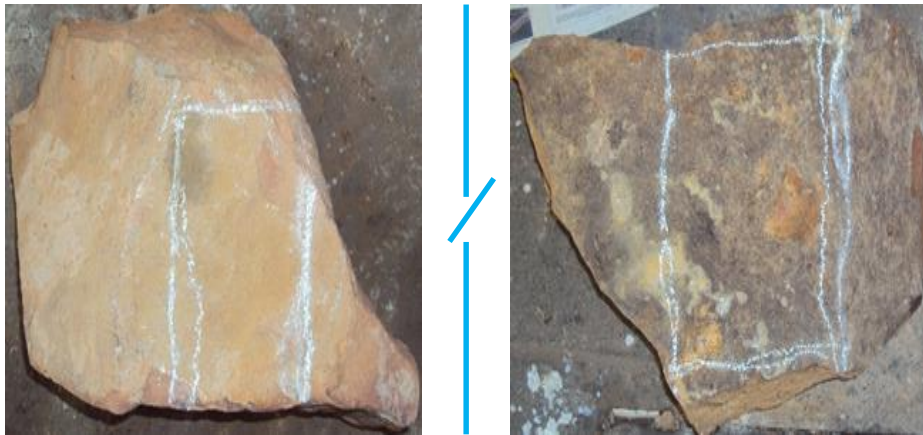
Con estas estimaciones se lograría el retorno de la inversión en 35 días laborados, quedando un largo tiempo de vida útil de la maquina como ganancias generales del proyecto.

7. PRUEBAS Y RESULTADOS

El objetivo de la prueba es verificar que el dispositivo efectivamente es capaz de cortar la roca, de la forma descrita en los capítulos anteriores, proporcionando un acabado rustico. Además se comprueba el correcto funcionamiento y se cuantifica su productividad.

Para realizar esta prueba se recurrió al accionamiento manual. En la figura 62 se aprecian las rocas que se utilizaron para probar los puntos anteriormente mencionados.

Figura 62. Rocas para realizar pruebas del prototipo.



Estas rocas tienen espesores de 15 [cm] y 10 [cm] respectivamente en las cuales se realizaron cortes con longitudes de 17, 10 y 26, 16 [cm].

En la figura 63 se ilustra el montaje antes de cortar la roca.

Figura 63. Montaje antes de cortar la roca.



El corte final obtenido, se muestra en la figura 64:

Figura 64. Corte realizado con el dispositivo.



Como se puede observar el corte es bastante limpio y recto, y esto era el objetivo principal del dispositivo.

Adicionalmente se realizaron pruebas con concreto obteniéndose los siguientes resultados:

Figura 65. Corte realizado a bloque de concreto



En la figura 69 se observa que el corte sobre concreto es igualmente bueno, lo cual indica que el dispositivo es utilizable para el trabajo de láminas de concreto y la elaboración de bloques de concreto abujardado

Durante las pruebas se comprobó que el tiempo mínimo requerido para cortar la roca es de 1 minuto, debido a que se tiene que hacer una aproximación de la cuchilla superior, el ajuste de las cuñas y posteriormente el accionamiento repetido del gato mediante palanca.

De igual manera se observó que el material tiende a salir disparado una vez se realiza la fractura debido a la liberación repentina de esfuerzos que sufre el sistema, por lo cual se hace énfasis en la seguridad del operario y en el especial cuidado que hay que tener con personas ajenas a la operación.

CONCLUSIONES

- El prototipo de dispositivo para corte de piedra contribuye en la misión de la Universidad Industrial de Santander al desarrollo tecnológico del país ya que es una gran herramienta que permite el trabajado de este material para elaborar principalmente bloques, adoquines y enchapes de acabado rústico a un bajo costo de producción, puesto que la máquina se opera manualmente.
- El prototipo permite realizar máximo un corte por minuto a fragmentos de piedra de hasta 40x15(altura)x30 [cm] con superficies irregulares con variaciones de hasta 2 [cm] aplicando una fuerza máxima de 20 Toneladas.
- El prototipo permite igualmente el trabajado de materiales que presenten menos resistencia a la compresión que la piedra, como es el caso del concreto y hormigón armado. Es por eso que con esta herramienta se pueden hacer además procesos de abujardado y corte de ladrillos.
- El esfuerzo de compresión de la piedra a cortar determinado por medio de una máquina de ensayos de compresión uniaxial es de 226 Mega Pascales, por lo tanto es material escogido para la cuchilla es el acero For 450.
- La construcción del prototipo se logró con procesos de manufactura sencillos, utilizando los equipos más comunes en las empresas especializadas, con lo cual se redujo en gran medida el costo total del equipo. Además se seleccionaron materiales de gran disponibilidad en el mercado.
- La herramienta utilizada para el diseño asistido por computador CAD, fue muy útil en piezas que tenían una geometría compleja o no simétrica.

RECOMENDACIONES

- Realice el armado del prototipo siguiendo a detalle el manual de ensamble presentado en el anexo A.
- Opere y mantenga el equipo siguiendo el plan de mantenimiento y operación del mismo presentado en el anexo B.
- Opere el equipo utilizando implementos de seguridad como casco, careta y guates.
- Opere el equipo en zona amplia de trabajo para evitar inconvenientes con personas ajenas a la producción. Además asegúrese de que el dispositivo este ubicado en un terreno plano y estable.
- Siempre ubique el material a trabajar en una posición centrada con respecto a las cuchillas.
- Evite lubricar los porta cuchillas o la caja de soporte de las cuchillas adaptables para evitar inconvenientes en la operación.
- No esponga el prototipo a precipitaciones atmosféricas y manténgalo siempre en ambientes secos.

BIBLIOGRAFÍA

AMOB. Máquinas Herramientas. Portugal. [18 de enero de 2014]. Available from World Wide Web.

<<http://www.amob.pt/es/division-piedra>>

BLOCK SHEAR, LLC. Línea de herramientas Hidráulicas Portables. México. [18 de enero de 2014]. Available from World Wide Web.

< <http://www.blockshear.com/espanol/index.html>>

[1] **FAIRES, V. M.** . Diseño de Elementos de Máquinas. México: Editorial Limusa, 1995. 4ª edición. p.24.

MOTT, Robert L. . Diseño de Elementos de Máquinas. México: Prentice Hill Hispanoamericana S.A., 1995. 2ª edición.

[2] **NORTON, Robert L.** . Diseño de Máquinas. México: ed. Prentice-Hall (Pearson), 1999.

PARK INDUSTRIES. Diseño y construcción de cortadores hidráulicos. Estados Unidos [18 de enero de 2014]. Available from World Wide Web.

<<http://www.parkindustries.com/products-solutions/architecturalfabrication/splitters/>>

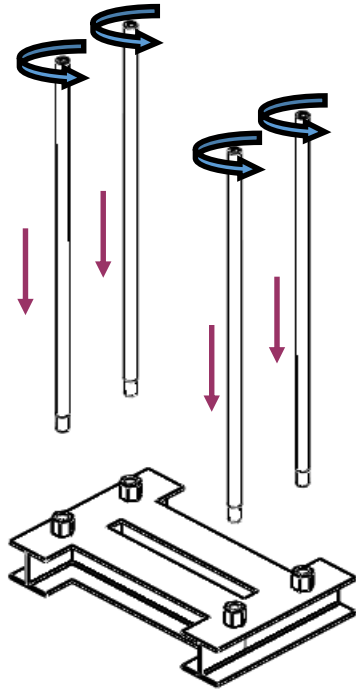
VANEGAS USECHE, Libardo. Diseño de tornillos. Universidad tecnológica de Pereira [15 de febrero de 2014]. Available from World Wide Web.

<<http://www.utp.edu.co/~lvanegas/dis1/TablasTornillos.pdf>>

ANEXOS

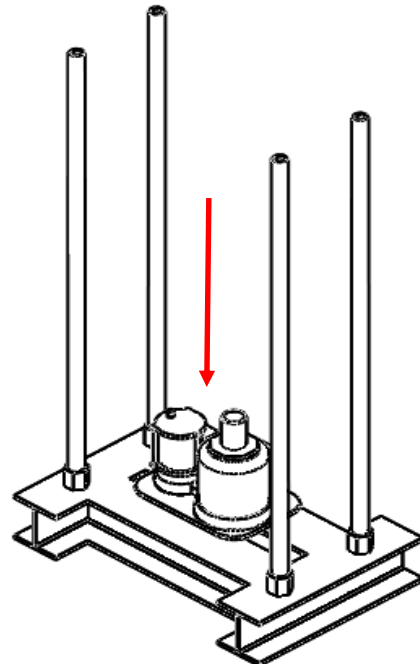
ANEXO A. MANUAL DE ENSAMBLE

Antes de ensamblar el prototipo abra y compruebe el embalaje y verifique que ningún elemento haya sufrido daños durante su transporte:

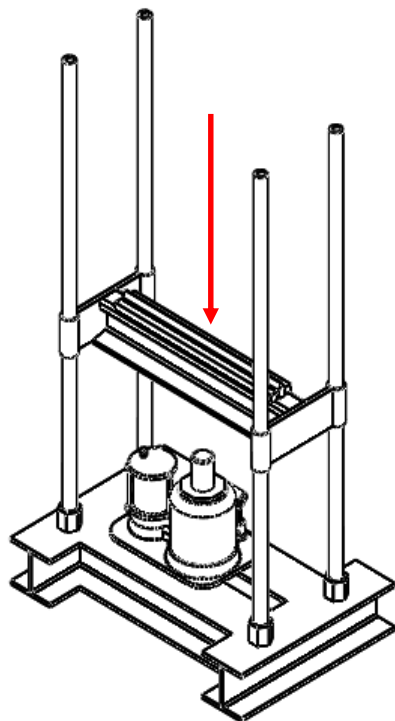
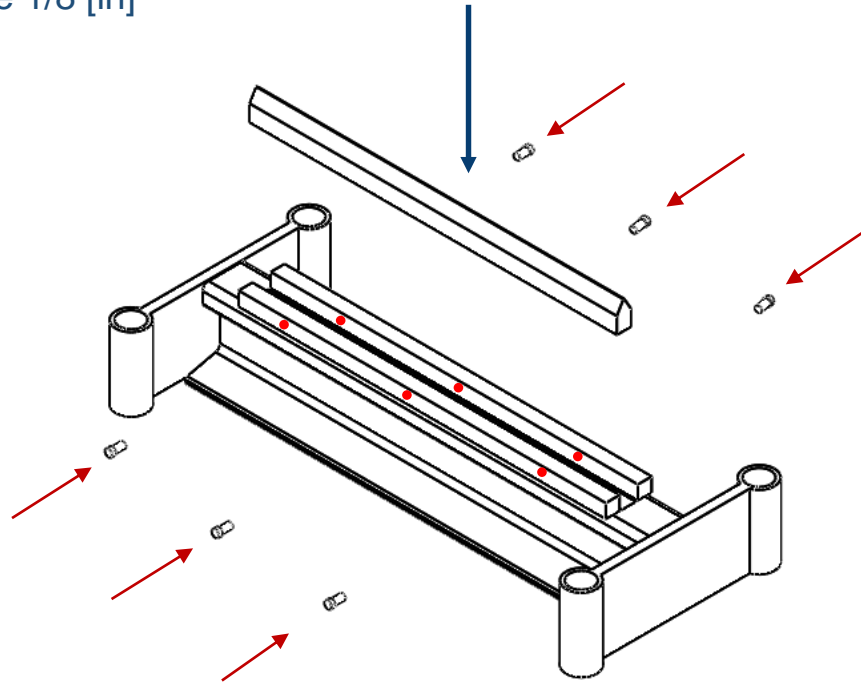


1. Inserte las barras roscadas sobre la base

2. Apoye el gato hidroneumático sobre la base

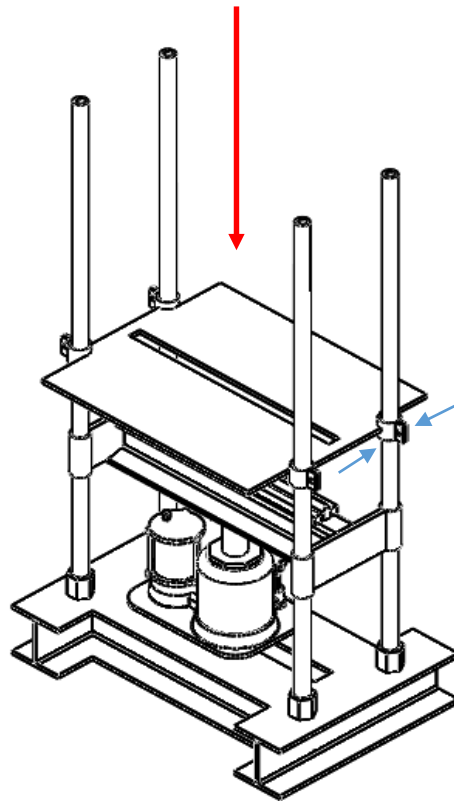


3. Ensamble la cuchilla inferior al riel de tren por medio de los tornillos prisioneros de 1/8 [in]

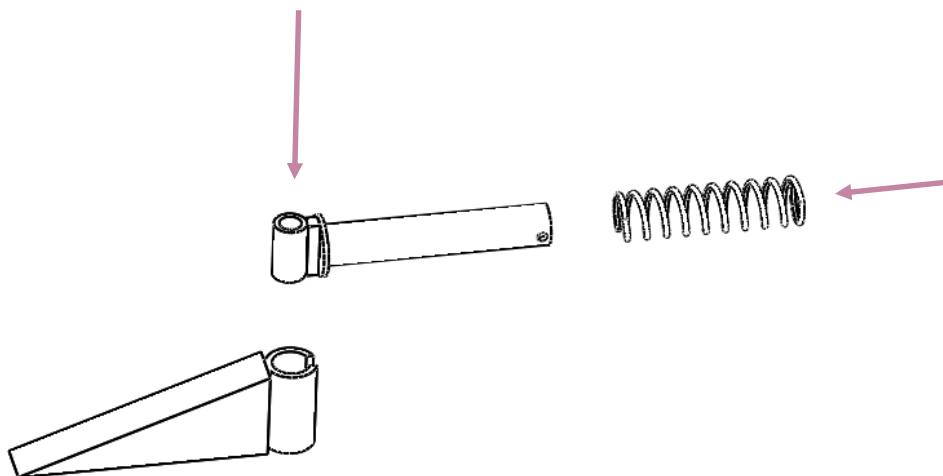


4. Introduzca el sistema de la herramienta inferior, guiándolas a través de las barras

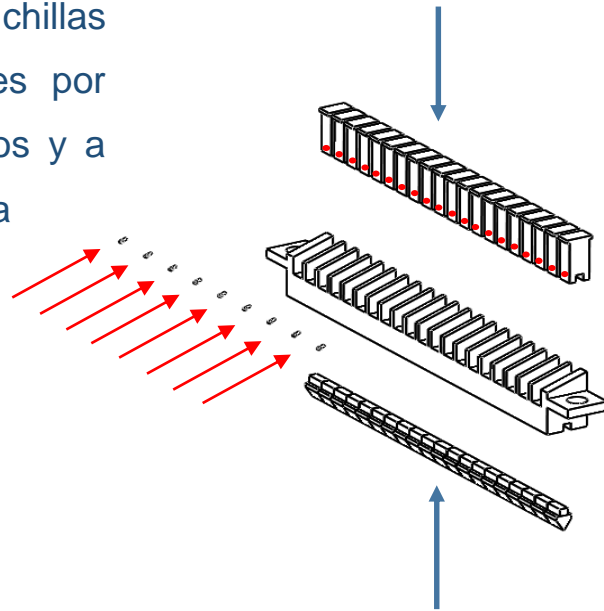
5. Encaje la mesa fija y apriete las abrazaderas



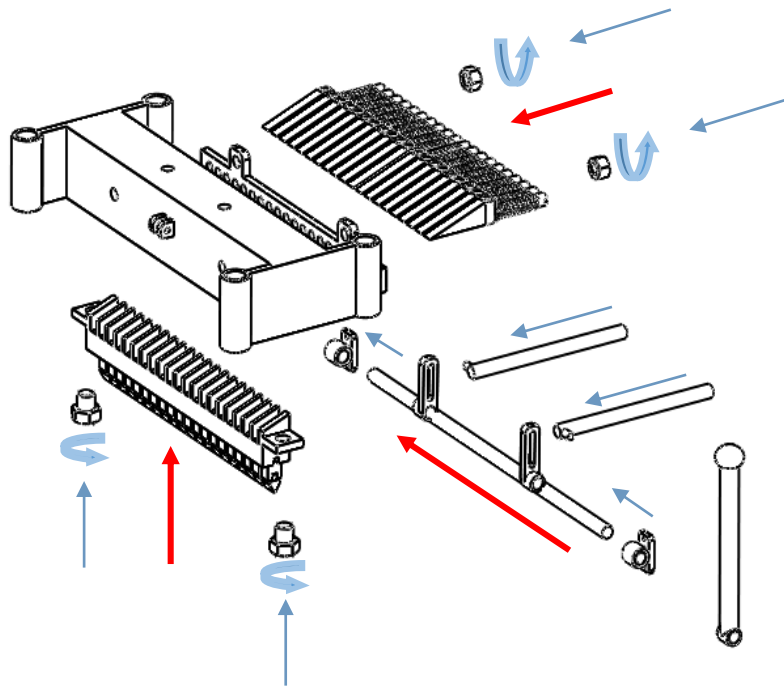
6. Ensamble las cuñas con la tubería de acople y los resortes

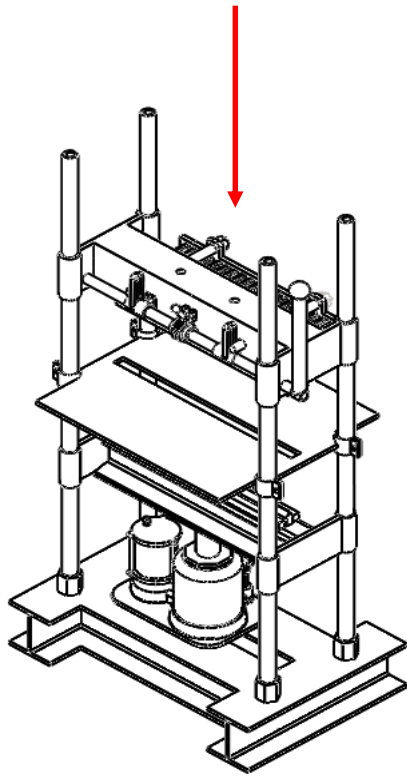


7. Ensamble el porta cuchillas con las cuchillas adaptables por medio de tornillos prisioneros y a través de la caja contenedora



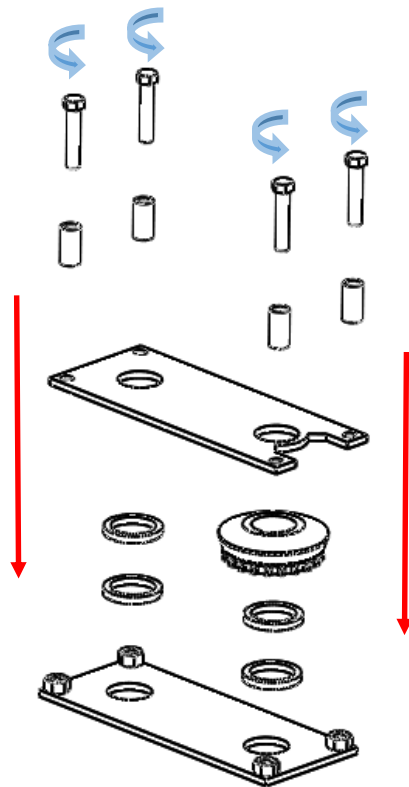
8. Acople al armazón de acero, el sistema de ajuste de las cuñas junto con el conjunto porta cuchillas y el conjunto de barras tirantes.

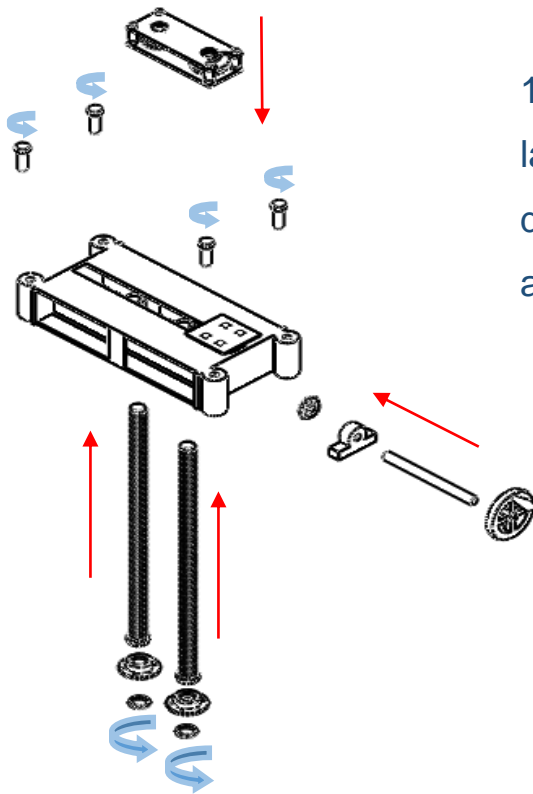




9. Encaje el conjunto completo de la herramienta superior a través de las 4 barras.

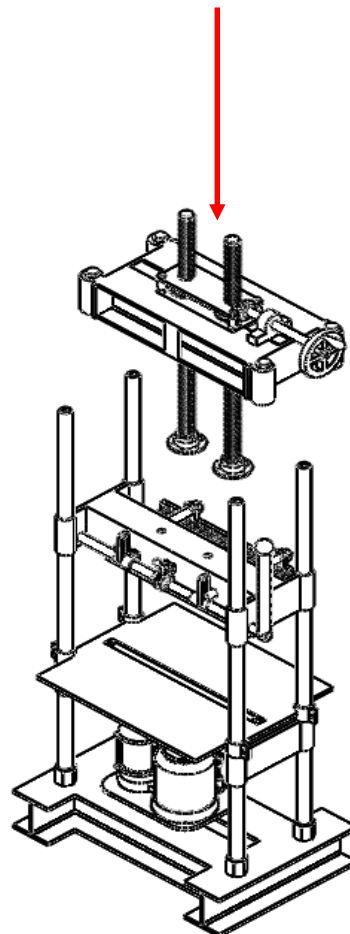
10. Arme el conjunto de la caja accionadora de los tornillos de potencia.



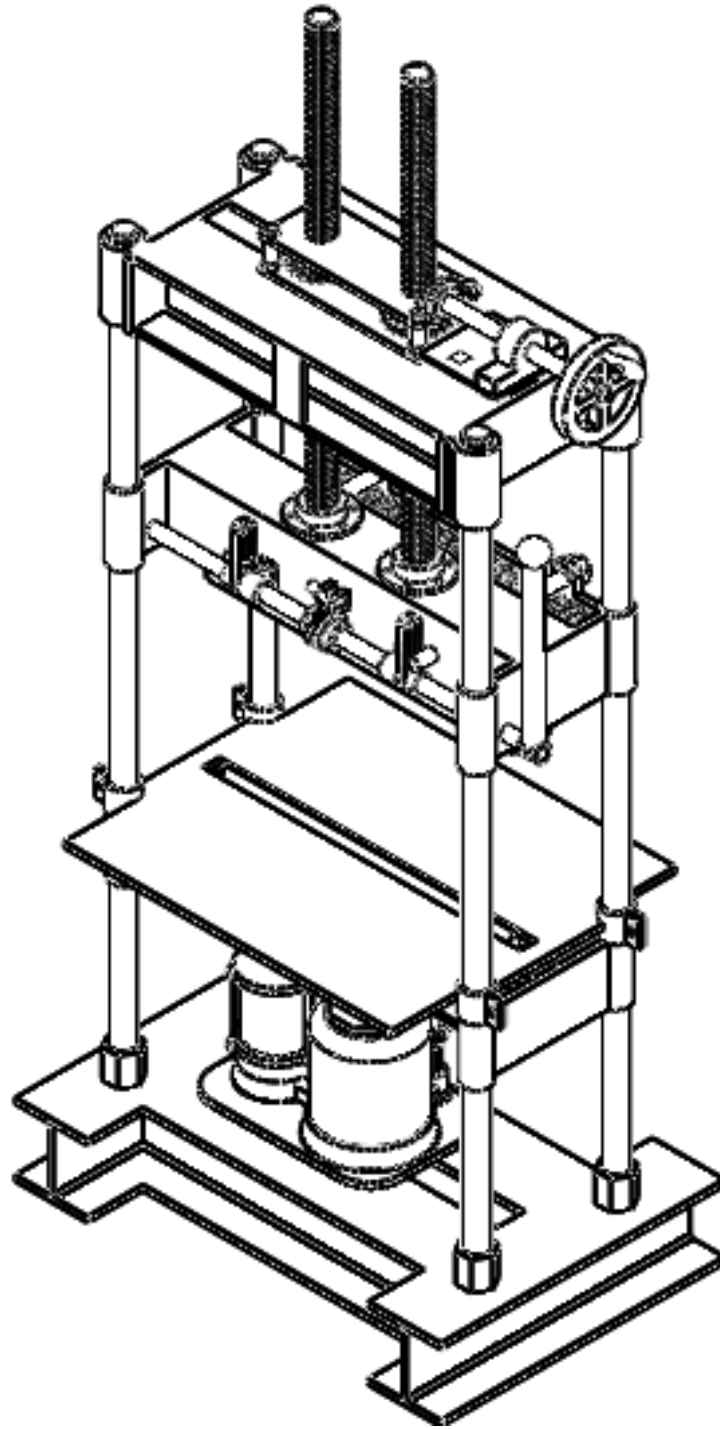


11. Añada a la mesa superior la caja ya armada, los tornillos de potencia con su respectivo acople conjunto accionador.

12. Acople el conjunto completo de la mesa superior, con sistema de posicionamiento de las cuchillas adaptables ya



13. Esquema del prototipo ensamblado



ANEXO B. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Operación

Antes de utilizar el prototipo por primera vez verifique que todas las piezas se encuentran perfectamente instaladas, esto es, que no presenten juegos de movimiento.

Asegúrese de que la superficie del lugar donde se encuentra la máquina es firme y horizontal, y que proporciona una iluminación suficiente.

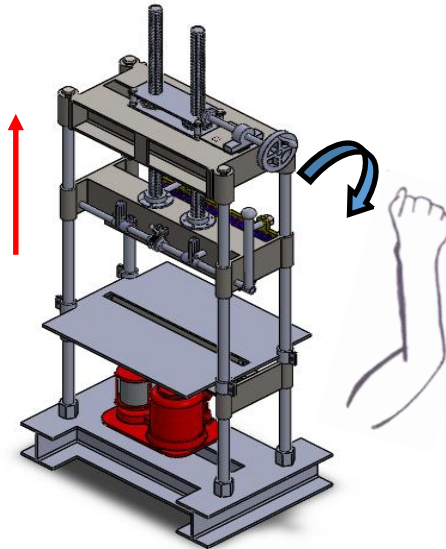
Para utilizar el dispositivo, se debe drenar el circuito hidráulico a fin de eliminar el aire que pueda haber en el sistema de válvulas de la unidad hidráulica, en caso de que la operación sea asistida por un compresor, en caso contrario, cuando la operación sea manual, se debe abrir la válvula de alivio del gato en sentido anti horario, a continuación bombee numerosas veces y seguidamente, gire de nuevo las válvulas de alivio en sentido horario para cerrarlas.

Asegúrese de que la mesa fija esté en posición correcta y ajústela firmemente cerrando las abrazaderas. Una vez hecho esto se puede colocar el material de trabajo en la mesa con seguridad.

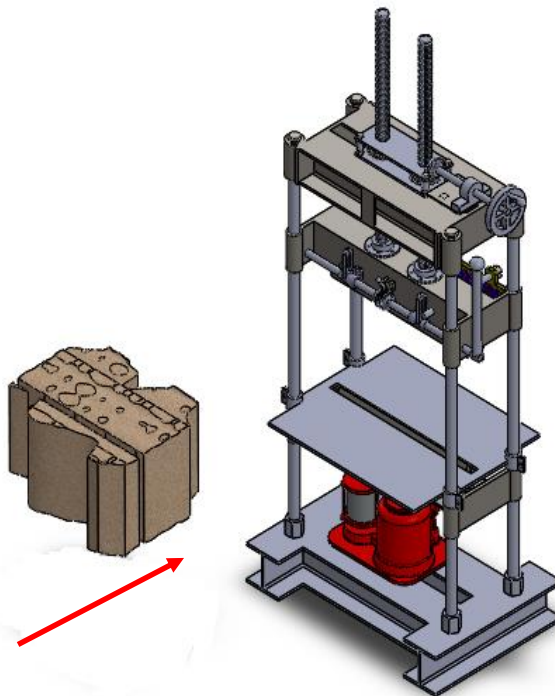
Después de utilizar el prototipo, mantenga el pistón del gato hidroneumático completamente retraído.

A continuación se describen uno a uno los pasos a seguir para la operación del equipo, siga cada uno de estos para obtener un corte óptimo y el máximo desempeño del dispositivo. Recuerde el uso de implementos de seguridad como cascos, botas, guantes y gafas para un trabajo sin precedentes del operador.

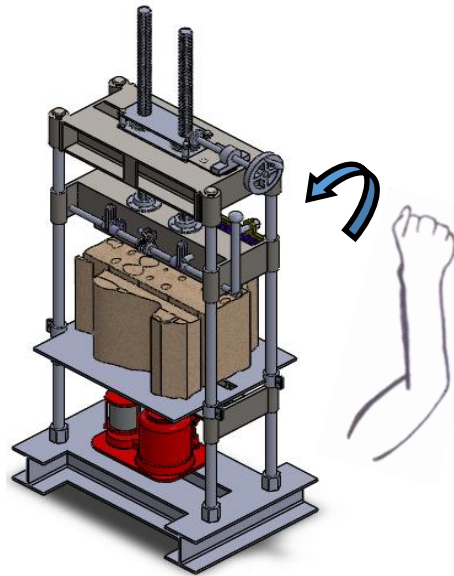
1. Levante el conjunto de la herramienta superior accionando la manivela para acrecentar el espacio disponible para colocar la piedra que se va a trabajar.



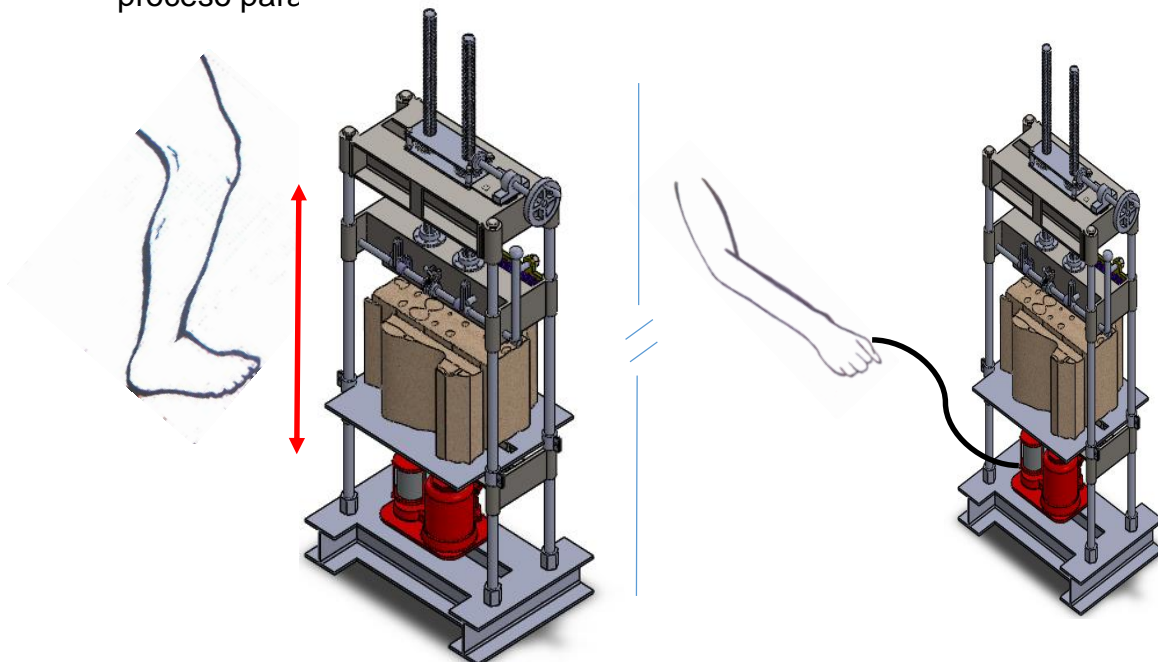
2. Coloque la piedra que va a ser cortada, procurando centrarla respecto a las cuchillas, para evitar sobreesfuerzos en las barras por la generación de momentos.



3. Accione la manivela en sentido contrario para acomodar la herramienta superior sobre la piedra, y que esta se acomode a la forma de la misma.



4. Opere el gato hidroneumático bien sea de manera manual a través de pedalazos o automática activando el paso de aire en la válvula conectada al compresor, hasta que se fracture la piedra. Despresurice el gato y repita el proceso para



Siempre que se termine de utilizar el equipo en un día laboral, se retraer completamente el husillo del gato y posicionar las cuchillas conjuntamente para evitar riegos de accidente. Demás procure proteger todo el conjunto por medio de una cubierta.

Mantenimiento

Para obtener el rendimiento máximo de una máquina durante toda su vida útil se hace necesario, además de una correcta operación, elaborar un adecuado plan de mantenimiento preventivo que ayude a mantener el equipo en perfectas condiciones de trabajo.

Atienda las instrucciones descritas a continuación para un corte óptimo:

Inspección visual

Realice una inspección visual al prototipo todos los días al empezar la rutina de trabajo, teniendo en cuenta que no deben haber piezas fisuradas ni elementos sueltos. Verifique que el gato hidroneumático se encuentre en posición adecuada y que se apoye perfectamente sin sobre la base y la herramienta de trabajo inferior. Verifique además de los tornillos puedan girar correctamente sobre las tuercas y sobre la mesa de trabajo superior.

También es importante inspeccionar las cuchillas adaptables y cerciorarse de que se encuentren bien sujetas a los porta cuchillas para evitar que estas salgan disparadas a gran velocidad en el proceso de corte. De la misma manera se debe realizar este procedimiento a la herramienta inferior.

Para finalizar se debe comprobar el desplazamiento de todos los sistemas móviles sobre las barras y en caso de ser necesario, lubricar con grasa multifunción comercial.

Mantenimiento general del prototipo

- 1) Lubrique los ejes y mueva las piezas a intervalos regulares todos los días
- 2) Todos los elementos del prototipo se deben mantener limpios y protegidos de condiciones agresivas en todo momento.
- 3) Limpie el contacto de las cuñas con las barras de acople, así como la caja de soporte de las cuchillas adaptables cada 100 horas de trabajo
- 4) Verifique el estado y limpie los filetes de los tornillos y tuercas cada 500 horas de trabajo. Verifique de igual manera el estado de las arandelas y guasas de estos tornillos y reemplácelos en caso de ser necesario.
- 5) Lubrique la cadenas y los piñones del sistema de posicionamiento cada 600 horas de trabajo
- 6) Lubrique las chumaceras con aceite cada 1000 horas de trabajo
- 7) Limpie y lubrique los tornillos de potencia cada 3000 horas de trabajo

Mantenimiento general del gato hidroneumático

- 1) Diariamente despresurice y vuelva a presurizar el gato para comprobar que esté en óptimas condiciones. En caso de asistir neumáticamente purgue el circuito interno.

- 2) Engrase periódicamente las piezas sometidas a rozamiento (embolo).

- 3) Verifique el nivel de aceite y repóngalo de ser necesario. El nivel viene dado por el rebosamiento del aceite, por el propio orificio de llenado, manteniendo el gato en posición vertical y el embolo recogido. El exceso de aceite puede impedir el buen funcionamiento del gato. Utilice el aceite tipo HL o HM de grado ISO de viscosidad cinemática de 30 CST a 40°C y viscosidad Engler de 3 a 50°C.

Herramientas a utilizar

- Llave Bristol de 3/16" y 1/8"
- Llave fija y estrella de 1/2" y 3/4"
- Llave expansiva
- Llave Craftsman
- Armadora de cadenas
- Aceite HL o HM grado ISO de 30 CST a 40°C
- Grasa multifunción comercial

ANEXO C. PROPIEDADES ACERO AISI-SAE 1020

ACERO ASI-SAE 1020 (UNS G10200)

1. Descripción: acero de mayor fortaleza que el 1018 y menos fácil de conformar. Responde bien al trabajo en frío y al tratamiento térmico de cementación. La soldabilidad es adecuada. Por su alta tenacidad y baja resistencia mecánica es adecuado para elementos de maquinaria.

2. Normas involucradas: ASTM A108

3. Propiedades mecánicas: Dureza 111 HB
Esfuerzo de fluencia 205 MPa (29700 PSI)
Esfuerzo máximo 380 MPa (55100 PSI)
Elongación 25%
Reducción de área 50%
Módulo de elasticidad 205 GPa (29700 KSI)
Maquinabilidad 72% (AISI 1212 = 100%)

4. Propiedades físicas: Densidad 7.87 g/cm³ (0.284 lb/in³)

5. Propiedades químicas: 0.18 – 0.23 % C
0.30 – 0.60 % Mn
0.04 % P máx
0.05 % S máx

6. Usos: se utiliza mucho en la condición de cementado donde la resistencia al desgaste y el tener un núcleo tenaz es importante. Se puede utilizar completamente endurecido mientras se trate de secciones muy delgadas. Se puede utilizar para ejes de secciones grandes y que no estén muy esforzados. Otros usos incluyen engranes ligeramente esforzados con endurecimiento superficial, pines endurecidos superficialmente, piñones, cadenas, tornillos, componentes de maquinaria, prensas y levas.

7. Tratamientos térmicos: se puede cementar para aumentarle la resistencia al desgaste y su dureza mientras que el núcleo se mantiene tenaz. Se puede recocer a 870 °C y su dureza puede alcanzar los 111 HB, mientras que con normalizado alcanza los 131 HB.

NOTA:

Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumple el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.

ANEXO D. PROPIEDADES ACERO ASTM A36

ASTM A36



Estado de Suministro

Laminado.

Tolerancia

ASTM A6.

Características

Acero estructural de buena soldabilidad, adecuado para la fabricación de vigas soldadas para edificios, estructuras remachadas, y atornilladas, bases de columnas, piezas para puentes y depósitos de combustibles.

Aplicaciones

Construcción de puentes, estanques, estructuras para industrias, edificios, torres y aplicaciones estructurales en general.

Composición Química (Valores Típicos)

%C	%Mn	%Si	%P	%S
≤ 0,26	0,80 -1,20	≤ 0,40	≤ 0,04	≤ 0,05

Propiedades Mecánicas

Esfuerzo Fluencia		Esfuerzo Tracción (Kg/mm ²)		Elongación
(Kg/mm ²)	MPa	(Kg/mm ²)	MPa	%
25,5 (mín)	250 (mín.)	40,8 (mín)	400 (mín.)	20 (mín.)

ANEXO E. DIMENSIONES VIGA W5*16

PERFIL H AMERICANO DE ALA ANCHA - WF
ASTM A 6/A 6M - 07
Dimensiones y propiedades para el diseño

Tabla
1-a

Designación	Altura		Ala		Distancia				Área		Peso		Superficie		Eje Y-Y				Eje X-X		Inercia Tors.								
	h	t	b	t	r	h	d	Pmín	Pmáx	mm ²	kg/m	lbs/ft	A _y	A _x	L _y	W _y	I _y	L _x	W _x	I _x	W _{yc}	W _{xc}	I _{yc}	I _{xc}					
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	x10 ³			m ² /m	m ² /ft	mm'	mm ³	mm ³	mm'	mm ³	x10 ³	mm ³	mm ³	x10 ³	mm ⁴	mm ⁴	x10 ⁶	mm ⁴	mm ⁴	x10 ⁶
W 4 x 13	106	7.1	103	8.8	6	88.4	76.4	-	-	24.7	19.3	13	0.599	30.902	476	89.79	4.39	161	31.19	2.55	103.3	47.9	6.52						
W 5 x 16	127	6.1	127	9.1	8	108.8	92.8	60	70	30.3	23.8	16	0.736	30.946	886	139.50	5.41	311	48.98	3.20	157.2	74.7	8.10						
W 5 x 19	131	6.9	128	10.9	8	109.2	93.2	62	70	36.0	28.1	19	0.746	26.423	1,099	167.70	5.53	381	59.60	3.26	190.9	90.9	13.33						
W 6 x 9	150	4.3	100	5.5	6	139	127	-	-	17.3	13.5	9	0.681	50.193	686	91.40	6.29	92	18.36	2.30	102.4	28.3	1.74						
W 6 x 12	153	5.8	102	7.1	6	138.4	126.4	-	-	22.8	18.0	12	0.692	38.596	916	122.10	6.33	126	25.37	2.36	138.6	39.3	3.86						
W 6 x 16	160	6.6	102	10.3	6	139.4	127.4	-	-	30.5	24.0	16	0.704	29.404	1,342	167.80	6.63	183	35.80	2.45	191.5	55.2	9.35						
W 6 x 15	152	5.8	152	6.6	6	138.8	126.8	70	82	28.4	22.5	15	0.690	39.893	1,206	158.60	6.51	387	50.87	3.68	176.1	77.6	4.34						
W 6 x 20	157	6.6	153	9.3	6	138.4	126.4	72	84	37.9	29.8	20	0.902	30.333	1,714	218.40	6.73	556	72.62	3.83	243.9	110.5	10.16						
W 6 x 25	162	8.1	154	11.6	6	138.8	126.8	74	84	47.3	37.1	25	0.913	24.613	2,220	274.10	6.85	707	91.79	3.86	309.9	140.0	19.51						

ANEXO F. PROPIEDADES ACERO AISI 1045

ACERO AISI-SAE 1045 (UNS G10450)

1. Descripción: es un acero utilizado cuando la resistencia y dureza son necesarios en condición de suministro. Este acero medio carbono puede ser forjado con martillo. Responde al tratamiento térmico y al endurecimiento por llama o inducción, pero no es recomendado para cementación o cianurado. Cuando se hacen prácticas de soldadura adecuadas, presenta soldabilidad adecuada. Por su dureza y tenacidad es adecuado para la fabricación de componentes de maquinaria.

2. Normas involucradas: ASTM A108

3. Propiedades mecánicas: Dureza 163 HB (84 HRb)
Esfuerzo de fluencia 310 MPa (45000 PSI)
Esfuerzo máximo 565 MPa (81900 PSI)
Elongación 16% (en 50 mm)
Reducción de área (40%)
Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)
Maquinabilidad 57% (AISI 1212 = 100%)

4. Propiedades físicas: Densidad 7.87 g/cm³ (0.284 lb/in³)

5. Propiedades químicas: 0.43 – 0.50 % C
0.60 – 0.90 % Mn
0.04 % P máx
0.05 % S máx

6. Usos: los usos principales para este acero es piñones, cuñas, ejes, tornillos, partes de maquinaria, herramientas agrícolas y remaches.

7. Tratamientos térmicos: se da normalizado a 900°C y recocido a 790°C

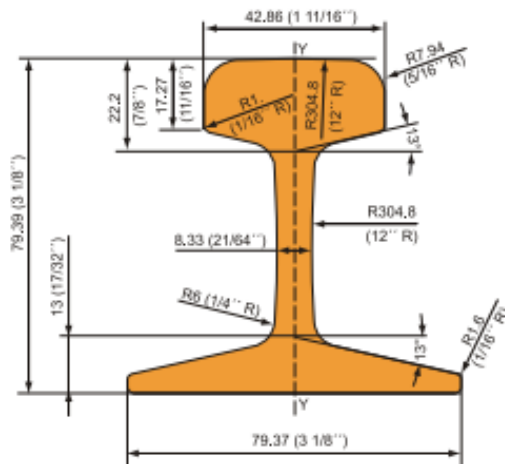
NOTA:

Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumple el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.

ANEXO G. PROPIEDADES MECÁNICAS Y PERFIL DEL ACERO PARA RIEL DE TREN

TIPO DE TRILHO TIPO DE RIEL	DUREZA BRINELL DUREZA BRINELL (HB)	TENSÃO DE TRAÇÃO RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Rm (KSI)	LIMITE DE ESCOAMENTO LIMITE ELÁSTICO Re (KSI)	ALONGAMENTO ELONGACIÓN (%)
Normal/Standard Normal/Standard	Min. 310	Min. 74.0	Min. 142.5	Min. 10
Intermediário Intermediario	Min. 325	Min. 80.0	Min. 147.0	Min. 8
Alta Resistência (boleto tratado termicamente) Alta Resistencia (hongo endurecido)	Min. 370	Min. 120.0	Min. 171.0	Min. 10

NOTA: A COMERCIAL FORTE também oferece trilhos com composição e/ou dureza Brinell de acordo com a necessidade do cliente.
 NOTA: COMERCIAL FORTE ofrece también rieles con composición química y/o dureza Brinell según la necesidad del cliente.



Peso teórico	➤	14.88 kg/m (30.0 lb/yda)
Área (A)	➤	19.35 cm ² (3.0 pol. ²)
Momento de inércia (I _x)	➤	170.7 cm ⁴ (4.1 pol. ⁴)
Módulo de resistência (W) Boleto:	➤	41.8 cm ³ (2.55 pol. ³)
Peso teórico	➤	14.88 kg/m (30.0 lb/yda)
Sección (S)	➤	19.35 cm ² (3.0 pulg. ²)
Momento de inércia (I _x)	➤	170.7 cm ⁴ (4.1 pulg. ⁴)
Módulo resistente (W) hongo:	➤	41.8 cm ³ (2.55 pulg. ³)

ANEXO H. PROPIEDADES MECÁNICAS ACERO FORA 450

FORA 400/450

Fora 400 y Fora 450 son aceros especiales de grano fino con durezas típicas entre 400 y 450 HB. Su alta dureza, tenacidad y límite elástico, lo hacen un material de muy buena resistencia a las deformaciones plásticas y al desgaste abrasivo por deslizamiento e impacto.

Fora 400 es una muy buena solución cuando se requiere moderada resistencia al desgaste por deslizamiento o por impacto; y una adecuada facilidad de conformado en frío.

Fora 450 es óptima cuando se requiere máxima resistencia al desgaste por deslizamiento e impacto, con relativa facilidad de transformación en frío y una muy buena soldabilidad.

Las siguientes tablas muestran la composición química, dureza, resistencia mecánica y aptitud para la soldadura de Fora 400 y Fora 450.

a. Composición química Fora 450

C	Mn	P	S	Cr	Mo	B	Ni
0.18	1.45	0.02	0.003	0.8	0.20	0.003	0.12

Valores máximos garantizados (% en peso)

b. Composición química Fora 400

Espesor de la lámina	C	Mn	P	S	Cr
Menor o igual a 20mm	0.15	1.40	0.02	0.003	0.4
Mayor a 20mm	0.12	1.40	0.02	0.003	0.8

Valores máximos garantizados (% en peso)

c. Propiedades mecánicas

	Límite elástico aparente	Resistencia a la tracción	% Elongación	Dureza nominal (HB)
Fora 400	1100 N/mm ²	1350 N/mm ²	13%	360-440
Fora 450	1200 N/mm ²	1400 N/mm ²	8%	410-490

ANEXO I. PLANOS

NUMERO	NOMBRE	CANTIDAD
1	BASE	1
2	CILINDRO HIDRAULICO	1
3	MESA FLA	1
4	TORNILLO 1/2 IN * 1.5 [IN]	4
5	TUERCA 1/2 IN	4
6	BARBAS	4
7	APARTELA DE FRICCION	2
8	ACOPLE SAMANCON-TORNILLO	2
9	TORNILLO 3/8 [IN] * 1 [IN]	8
10	TORNILLO 3/4 [IN] * 2 [IN] GRADO 8	4
11	MESA SUPERIOR Y TRANSMISION DE SINCRONIZACION	1
12	TORNILLO DE POTRACA 1.5 [IN]	2
13	ARMAZON Y SISTEMA DE CUCHILLAS INDEPENDIBLES	1
14	CUCHILLA INFERIOR	1
15	VIGA INFERIOR	1

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

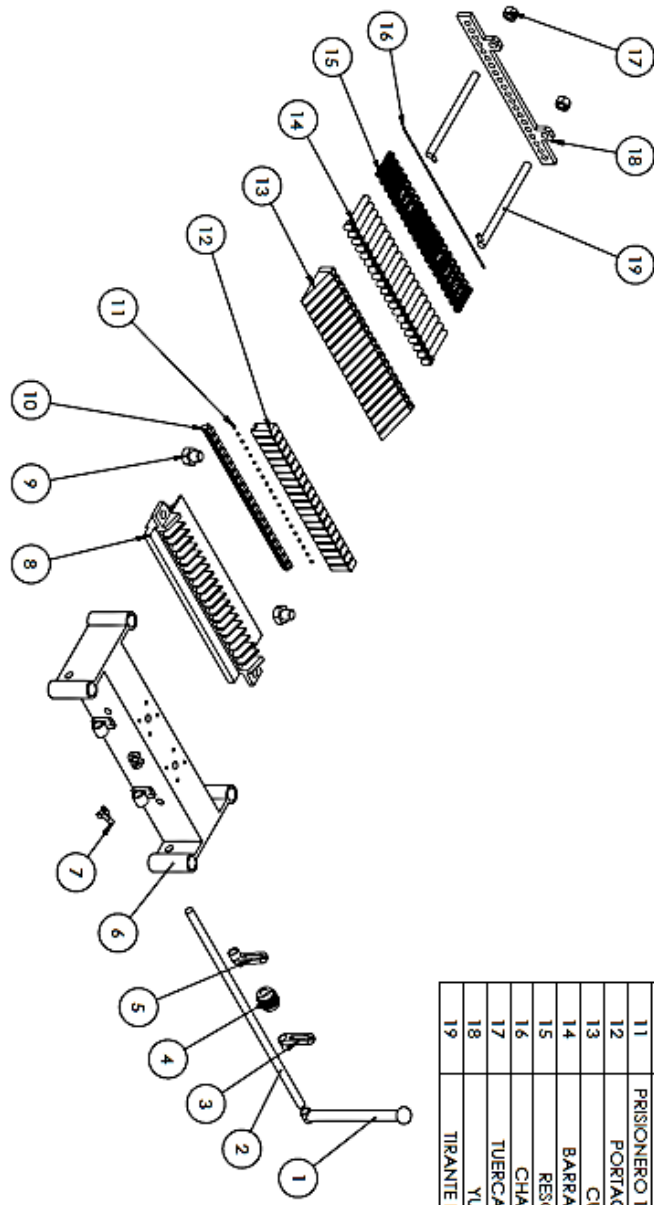
REVISÓ: JABID QUIROGA MENDEZ

ELABORADO: EDGAR HERNAN CARDENAS

LUIS ANGEL VELOSA

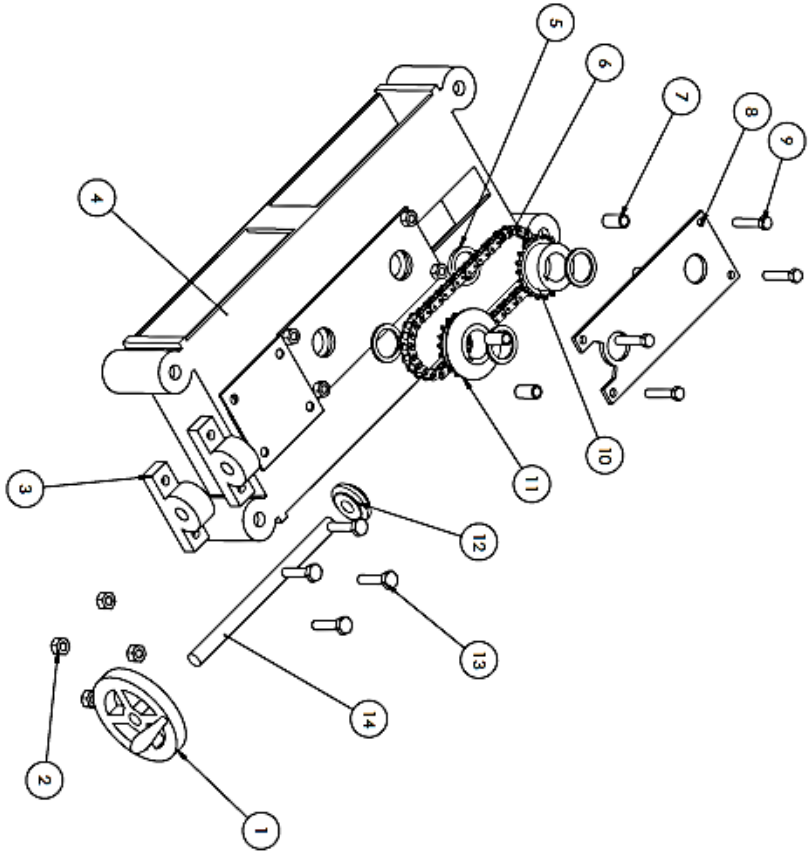
EXPLOSION GENERAL

PLANO NO. 1



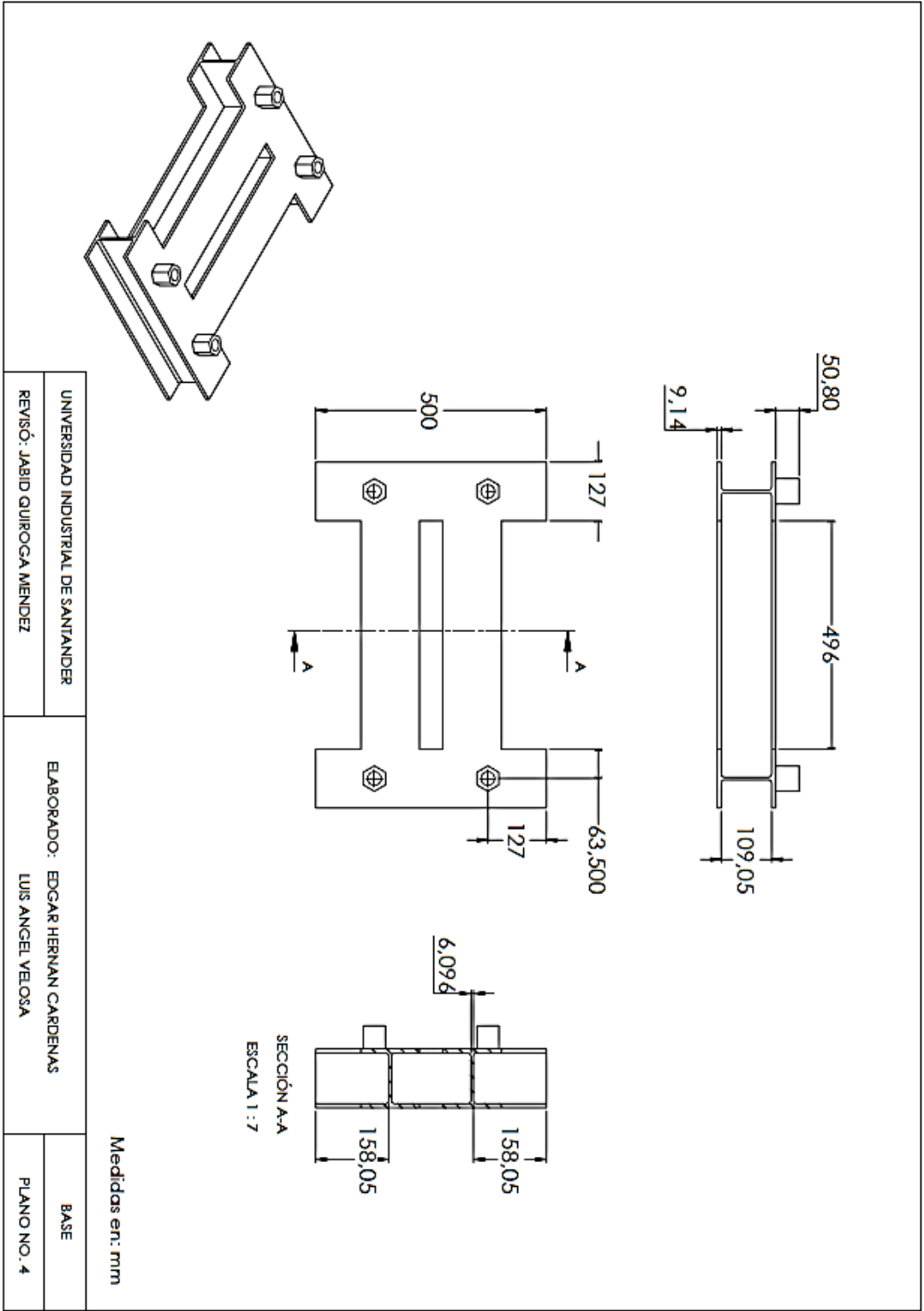
NUMERO	NOMBRE	CANTIDAD
1	PALANCA	1
2	EJE	1
3	BIELA	1
4	TRINGUETE	1
5	BIELA	1
6	ARMAZON	1
7	TRINGUETE	1
8	GUARDACUCHILLA	1
9	TORNILLO 3/4 [IN]*2[IN]	2
10	VIDIA ACERO ANTIDEGASTE	20
11	PRISIONERO 1/4 [IN] *1/4 [IN]	20
12	PORTACUCHILLA	20
13	CUNA	20
14	BARRA TIRANTE	20
15	RESORTES	20
16	CHAVETAS	20
17	TUERCAS 3/4 [IN]	2
18	YUGO	1
19	TIRANTE DEL YUGO	2

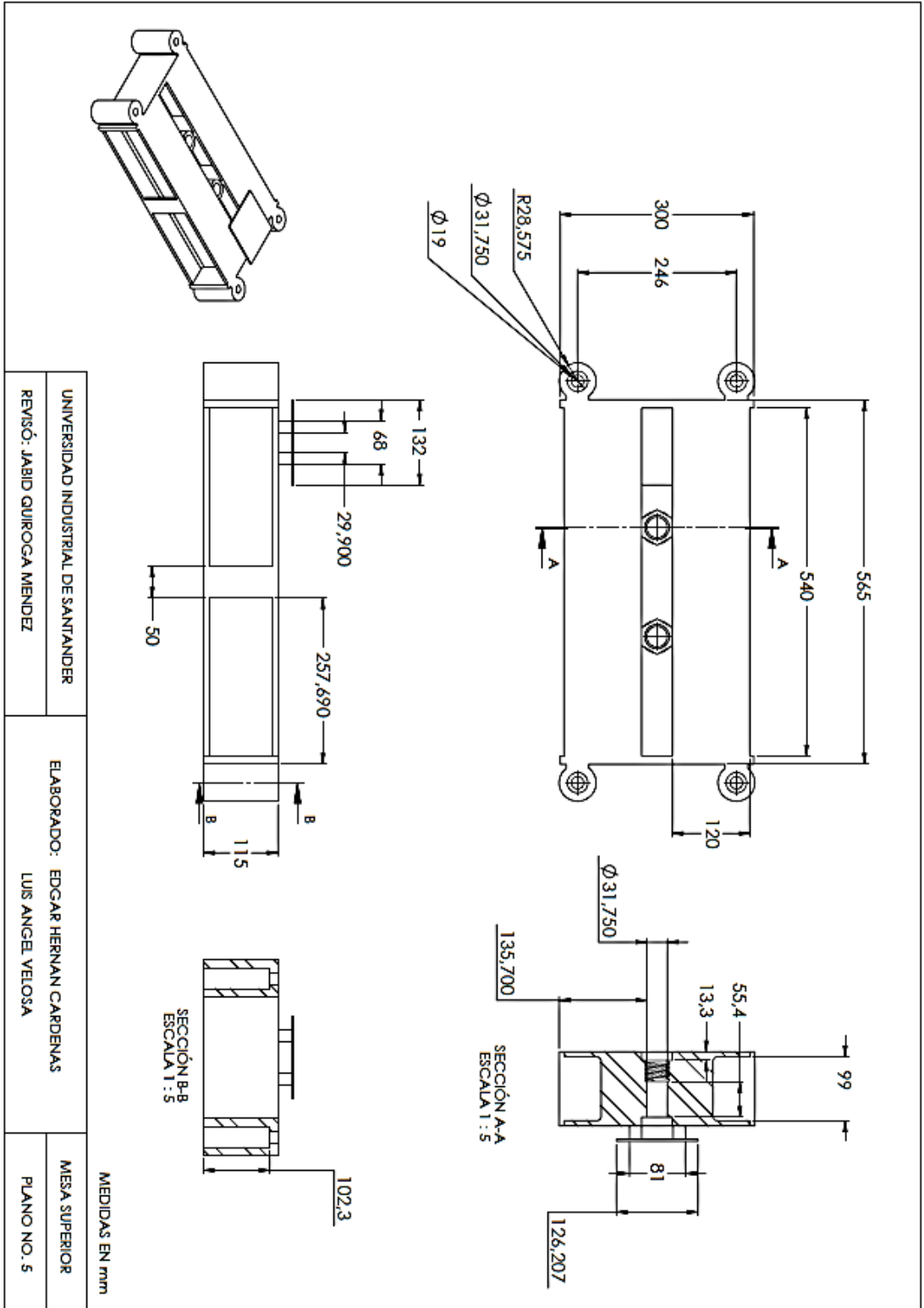
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER REVISÓ: JABID QUIROGA MENDEZ	ELABORADO: EDGAR HERNAN CARDENAS LUIS ANGEL VELOSA	EXPLOSION 2 PLANO NO. 2
---	---	----------------------------

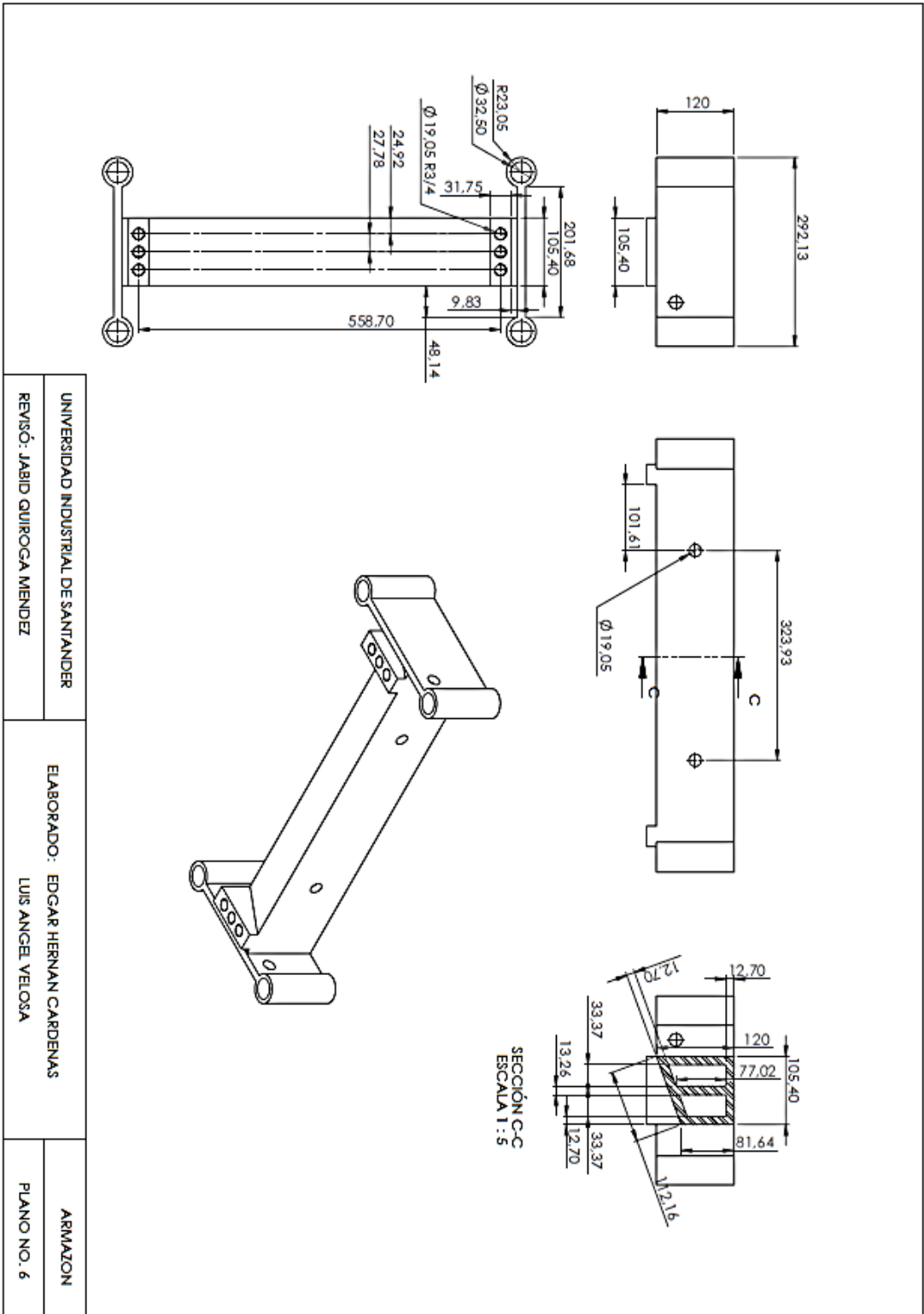


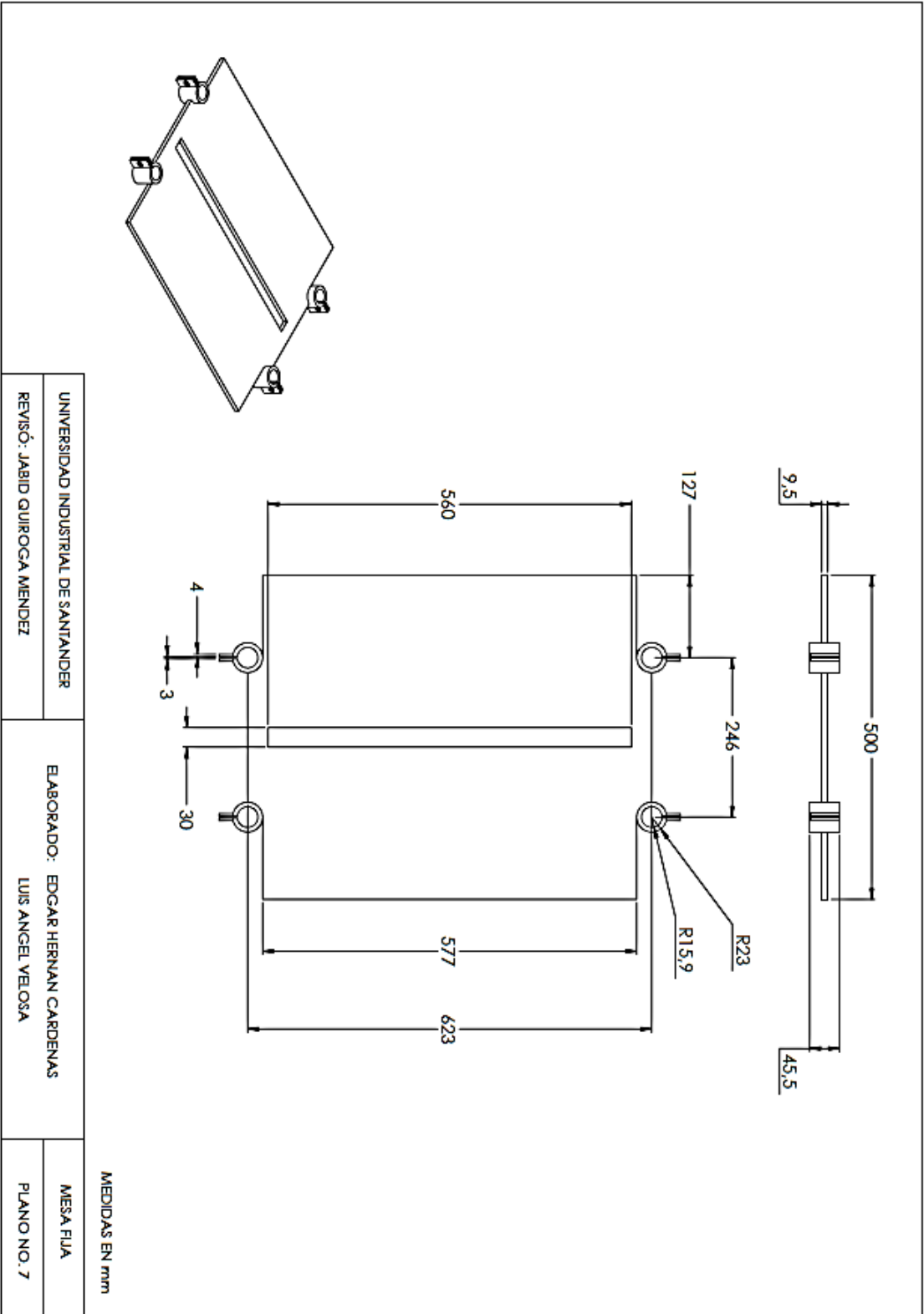
NUMERO	NOMBRE	CANTIDAD
1	VOLANTE	1
2	TUERCA 1/2 [IN]	4
3	CHUMACERA 22 [mm] TIPO Y	2
4	MESA SUPERIOR	1
5	ARANDELA DE FRICCION	4
6	CADENA DE RODILLOS No 40	1
7	SEPARADOR	4
8	TAPA DE LA CALA	1
9	TORNILLO 1/2 [IN] * 2 [IN]	4
10	SPROKET	1
11	ENGRANAJE CONICO	1
12	PIÑON CONICO	1
13	TORNILLO 1/2 [IN] * 1.5 [IN]	4
14	EJE DE 22 [mm]	1

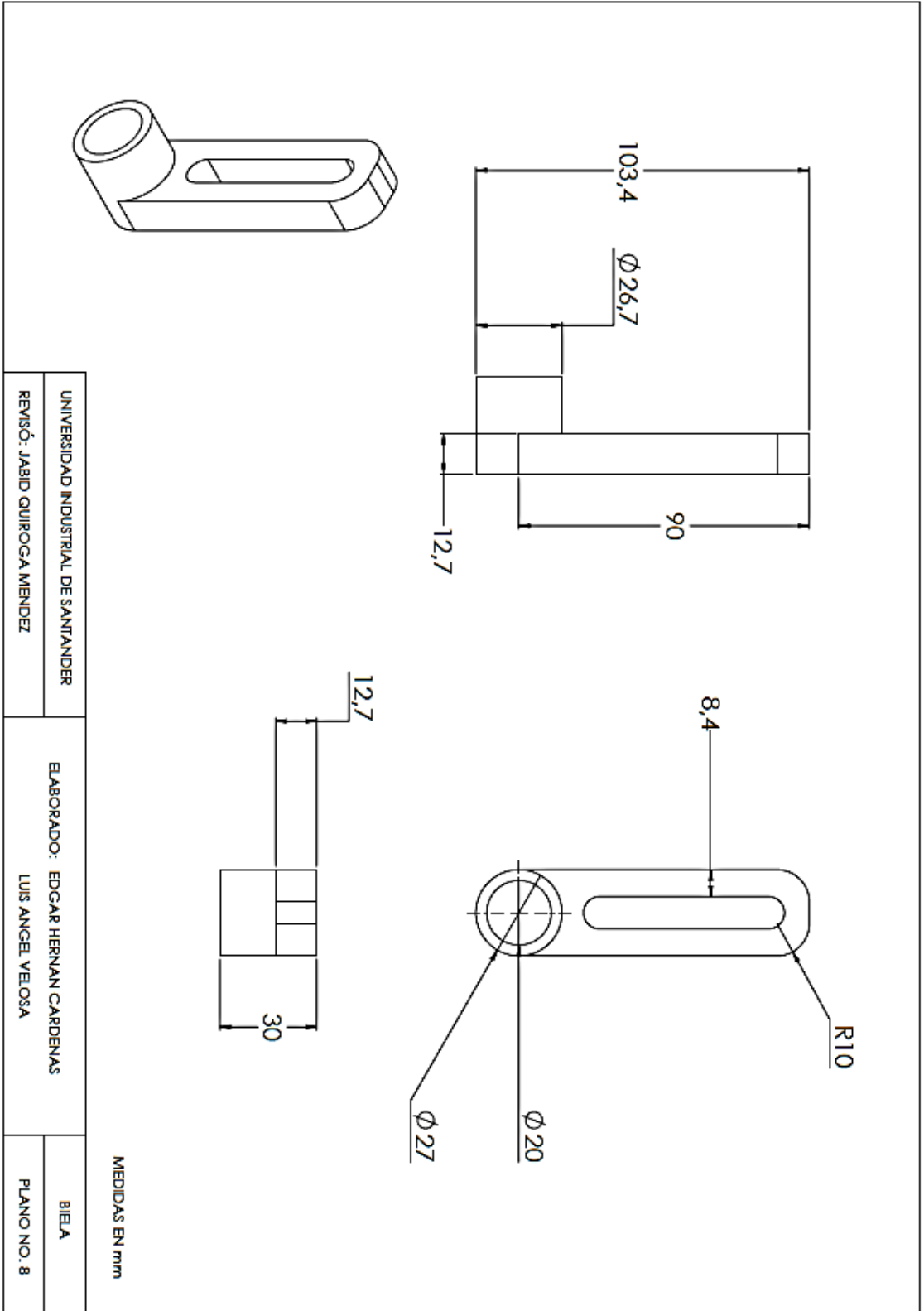
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ELABORADO: EDGAR HERNAN CARDENAS	EXPLOSION 3
REVISO: JABID QUIROGA MENDEZ	LUIS ANGEL VELOSA	PLANO NO. 3

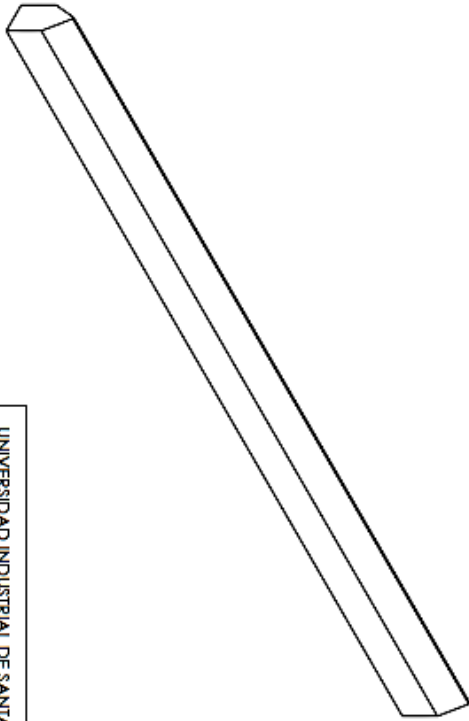
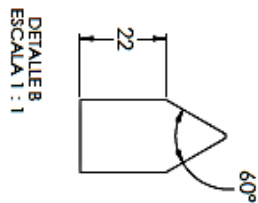
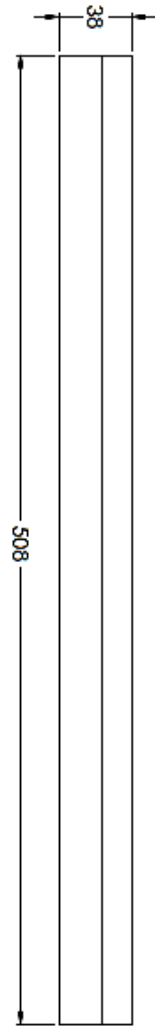






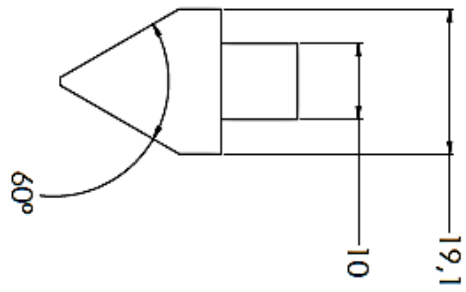
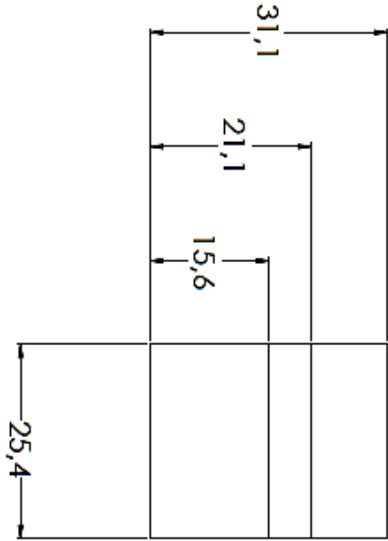
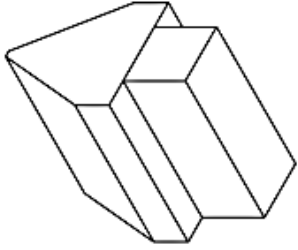






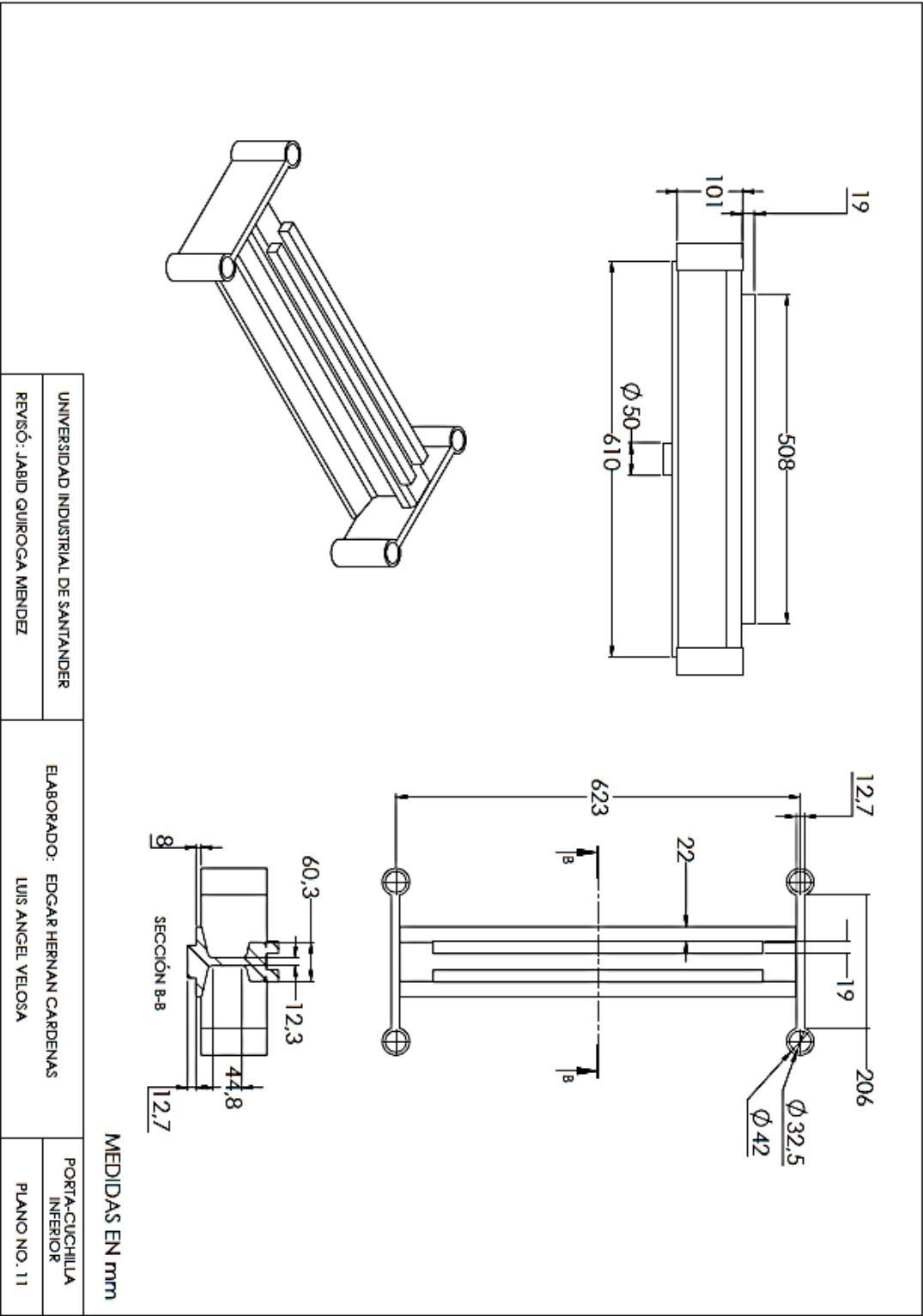
MEDIDAS EN mm

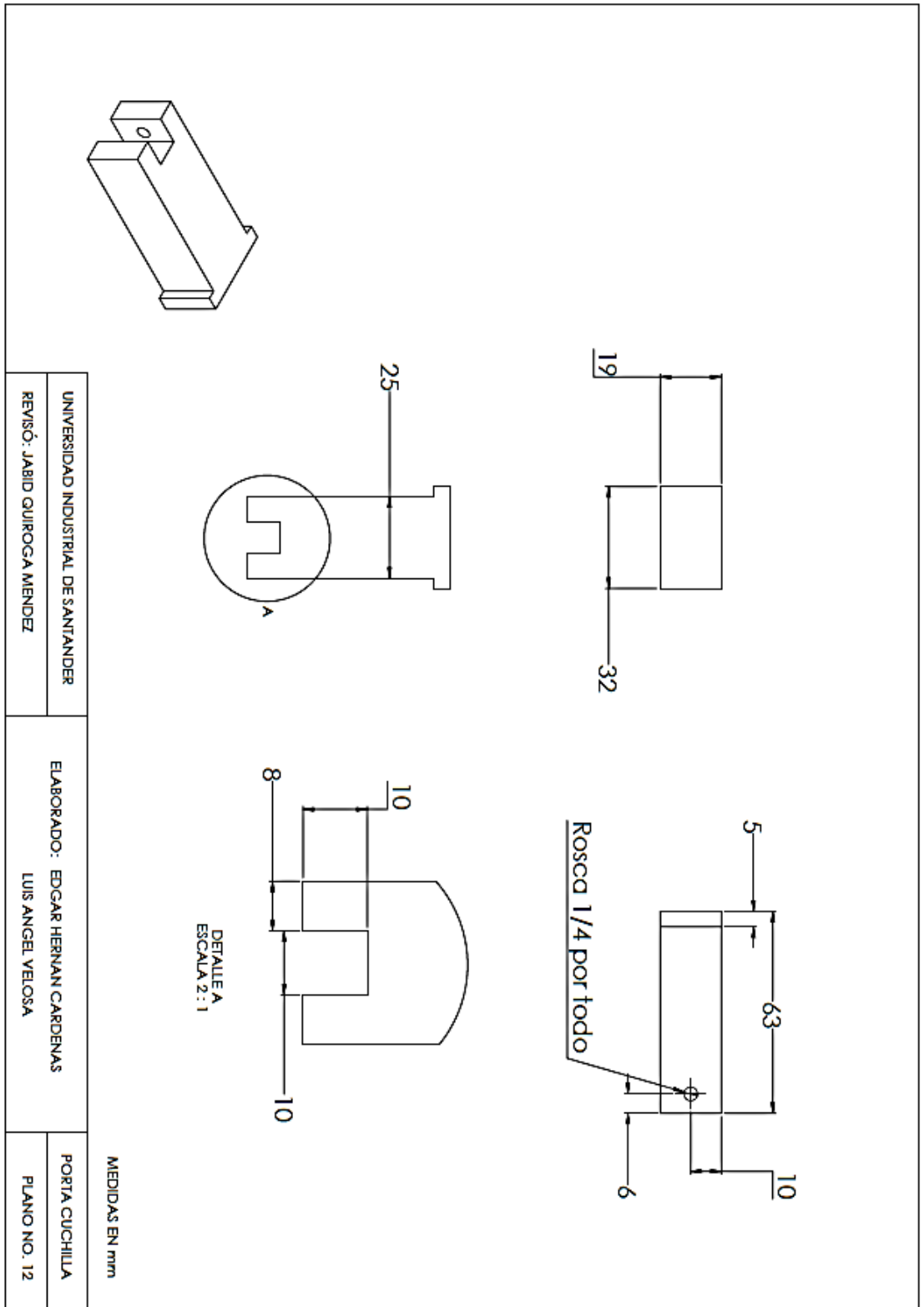
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ELABORADO: EDGAR HERNAN CARDENAS	CUCHILLA INFERIOR
REVISÓ: JABID QUIROGA MENDEZ	LUIS ANGEL VELOSA	PLANO NO. 9

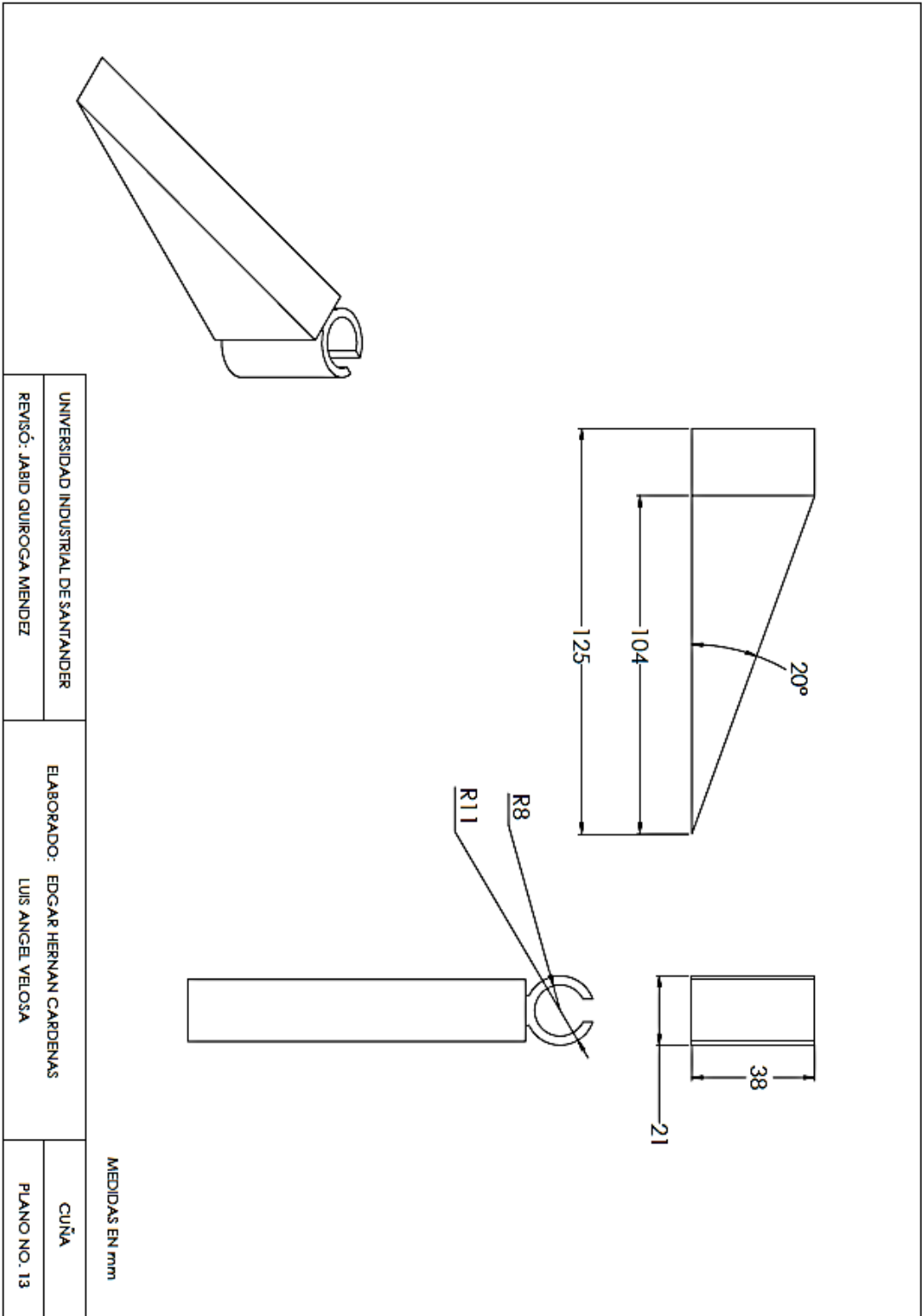


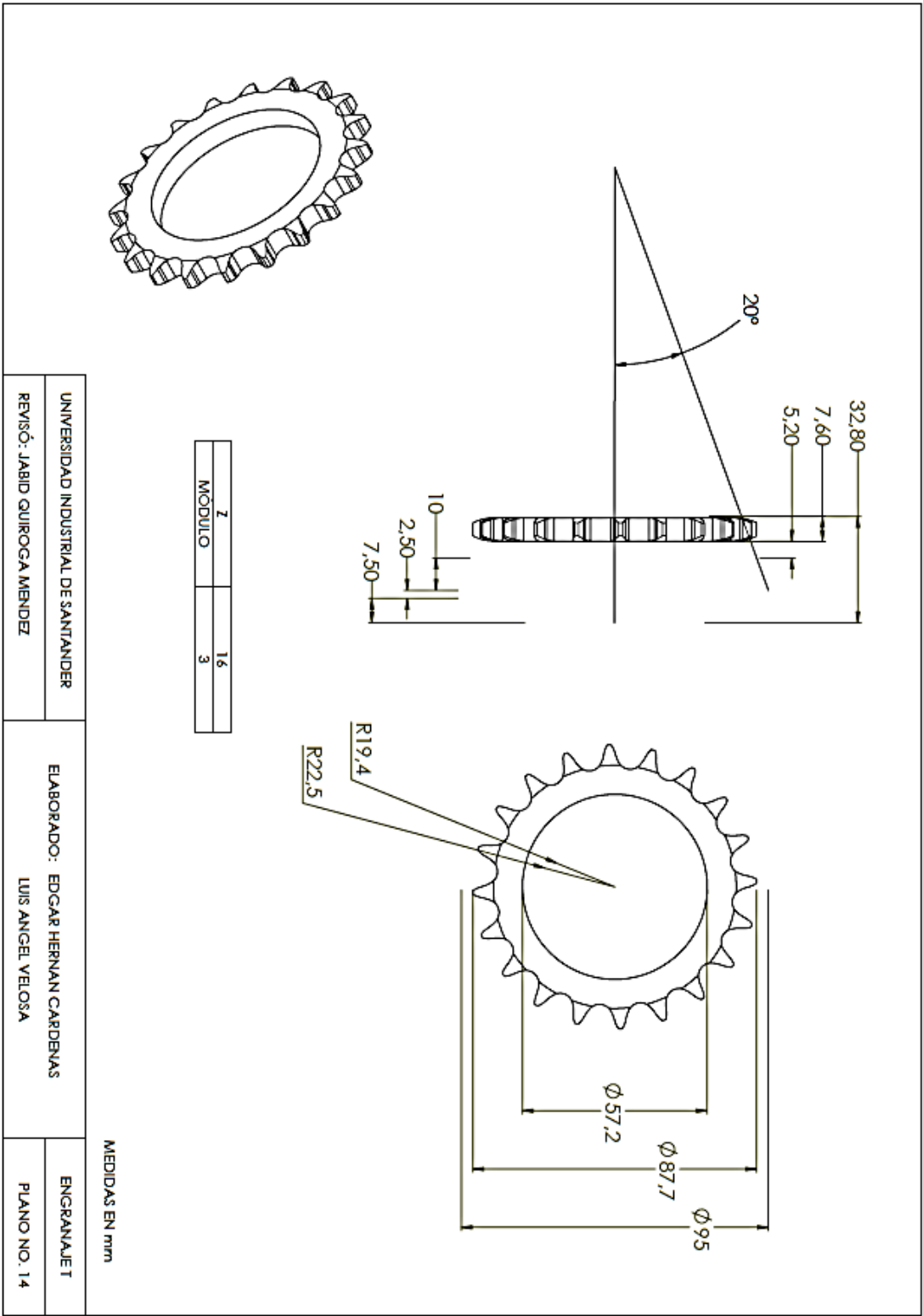
MEDIDAS EN mm

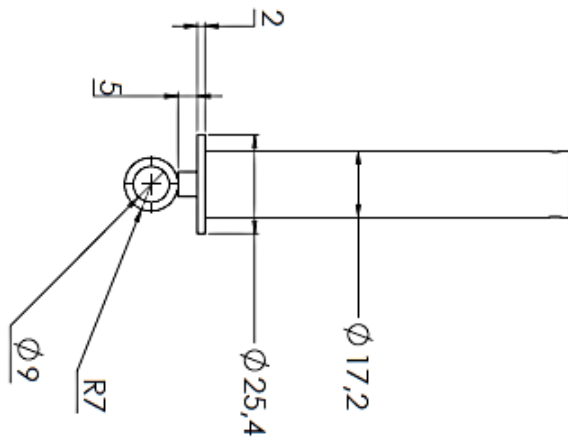
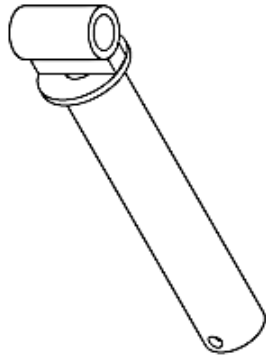
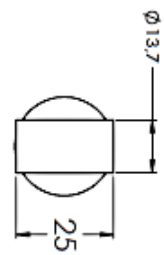
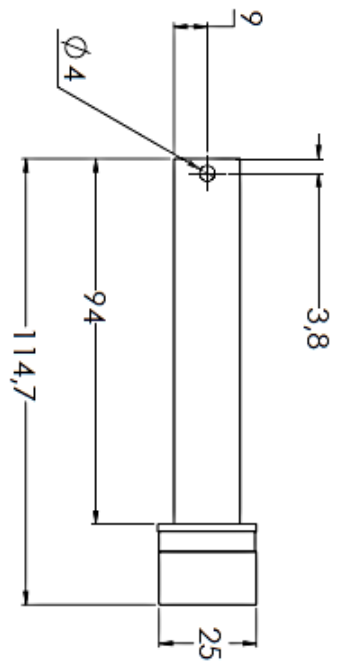
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ELABORADO: EDGAR HERNAN CARDENAS	CUCHILLA ADAPTABLE
REVISÓ: JABID QUIROGA MENDEZ	LUIS ANGEL VELOSA	PLANO NO. 10







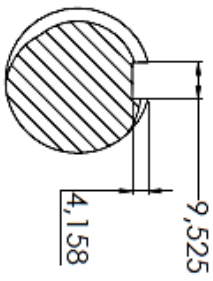
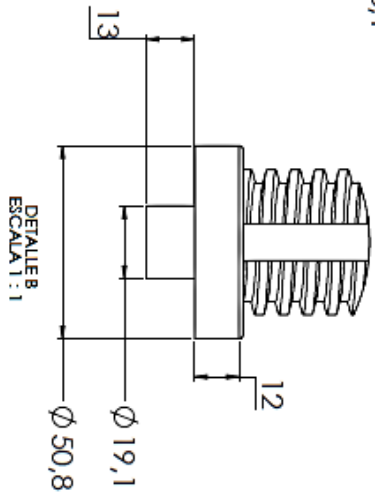
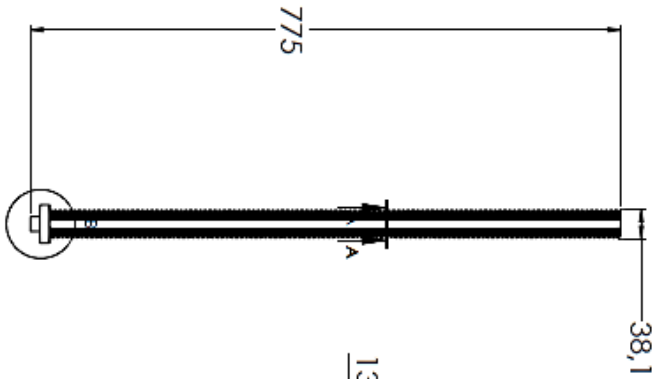




MEDIDAS EN mm

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ELABORADO: EDGAR HERNAN CARDENAS	BARRA TIRANTE
REVISO: JABID QUIROGA MENDEZ	LUIS ANGEL VELOSA	PLANO NO. 16

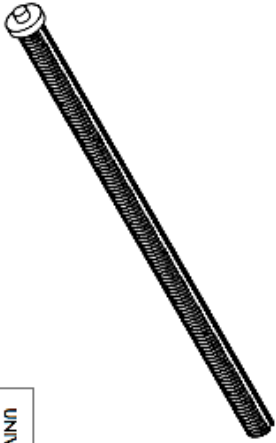
PASO	6,35
DIÁMETRO PRIMITIVO	34,95
DIÁMETRO DE RAIZ	31,75
DIÁMETRO EXTERNO	38,1



SECTION A-A
ESCALA 1 : 5

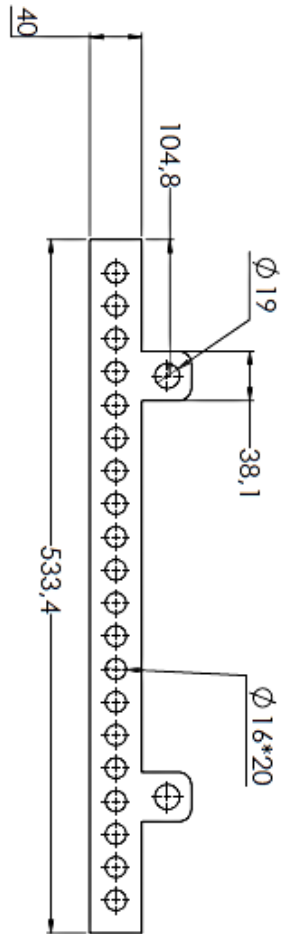
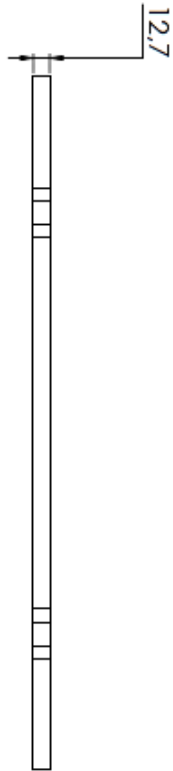
DETALLE D
ESCALA 1 : 1

DETALLE B
ESCALA 1 : 1



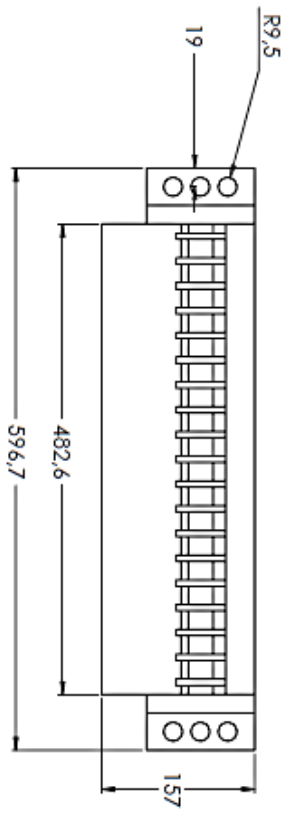
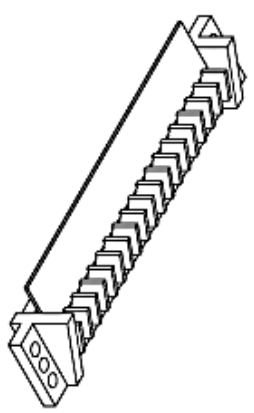
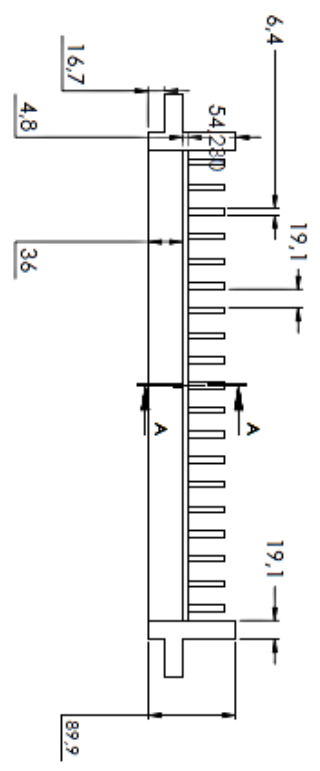
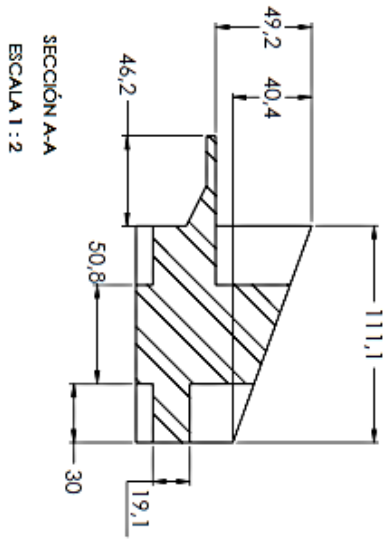
MEDIDAS EN mm

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ELABORADO: EDGAR HERNAN CARDENAS	TORNILLO DE POTENCIA
REVISÓ: JABID QUIROGA MENDEZ	LUIS ANGEL VELOSA	PLANO NO. 17



MEIDAS EN mm

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ELABORADO: EDGAR HERNAN CARDENAS	YUGO
REVISÓ: JABID QUIROGA MENDEZ	LUIS ANGEL VELOSA	PLANO NO. 18



MEDIDAS EN mm

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	ELABORADO: EDGAR HERNAN CARDENAS	CAJA PORTA-CUCHILLAS
REVISÓ: JABID QUIROGA MENDEZ	LUIS ANGEL VELOSA	PLANO NO. 19