

**DISEÑO DE UN BANCO PARA REALIZAR EL PROCESO DE
DECOQUIZADO EN UN REACTOR ACUMULADOR EN EL INSTITUTO
COLOMBIANO DEL PETROLEO. (I.C.P.)**

**EDGAR ANDRES VELASQUEZ VERA
FREDY ALONSO BAYONA ANGARITA**

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

2015

**DISEÑO DE UN BANCO PARA REALIZAR EL PROCESO DE
DECOQUIZADO EN UN REACTOR ACUMULADOR EN EL INSTITUTO
COLOMBIANO DEL PETROLEO. (I.C.P.)**

**EDGAR ANDRES VELASQUEZ VERA
FREDY ALONSO BAYONA ANGARITA**

Trabajo para optar por el título de ingeniero mecánico.

Director

**PEDRO JOSE DIAZ GUERRERO
Ingeniero Mecánico**

Codirector

**HÉCTOR JULIO PICÓN HERNÁNDEZ
Ingeniero Químico**

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

2015

DEDICATORIA

*A Dios por darme el don de la vida y la fortaleza para cumplir mis metas.
A mis padres Isabel Vera Rojas y Edgar Arturo Velásquez Plata por ser los mentores
de este importante logro, por su apoyo incondicional y su cariño.
A mi hermana Nathalia Velásquez Vera con quien he compartido todos mis
logros y dificultades.
A mis familiares y amigos por su apoyo, motivación y compañía.
A Gustavo Gonzales por su gran amistad.*

Edgar Andrés Velásquez Vera

*A Dios.
A mis padres Carlos Bayona y Gloria Inés Angarita que siempre confían en mí y
orgullosamente me han apoyado para hacer realidad mis proyectos.
A mis hermanos Carlos Alfredo Bayona y Lilibian Fernanda Bayona con los que he
compartido todos mis logros y dificultades.
A Camilo Ortua por su gran amistad.*

Fredy Alonso Bayona Angarita

AGRADECIMIENTOS

A la escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander por los conocimientos adquiridos que permitieron nuestro crecimiento profesional a lo largo de la carrera

Al Instituto Colombiano del Petróleo (I.C.P) por abrirnos sus puertas y confiar en nuestro trabajo.

Al director del proyecto Msc. Pedro José Díaz por su asesoría y dedicación que nos brindó para culminar con éxito el proyecto.

Al codirector del proyecto Ing. Héctor Julio Picón por su apoyo y colaboración en el desarrollo del proyecto.

A nuestros compañeros y amigos por su apoyo incondicional.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	20
1. DISEÑO METODOLOGICO.....	22
1.1 OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	22
1.1.1 Objetivo General.....	22
1.1.2 Objetivos Específicos.....	22
1.2 METODOLOGÍA DEL DESARROLLO DEL PROYECTO	22
1.3 EL PROCESO DE COQUIZACIÓN RETARDADA	23
1.4 GENERALIDADES DEL COQUE.	26
1.5 PROPIEDADES DEL COQUE	28
1.6 PRUEBAS DESTRUCTIVAS DEL COQUE	34
1.7 GENERALIDADES DEL TALADRADO.....	37
1.7.1 La operación de taladrado.	37
1.7.2 Herramientas para el taladrado.....	37
1.7.3 Propiedades mecánicas en el taladrado.	42
1.8 METODOLOGÍA DE LIMPIEZA DEL REACTOR.....	44
2. DISEÑO CONCEPTUAL DEL BANCO	46
2.1 MODULO DE ANCLAJE	47
2.2 MODULO DE CORTE.....	48
2.3 MODULO DE POTENCIA	49
2.4 MODULO DE TRANSPORTE.....	50
2.5 MODULO DE CONTROL.....	51
2.6 MODULO ESTRUCTURAL Y DE PROTECCION.....	52
2.7 BANCO MODELO DE DECOQUIZADO	54
3. DISEÑO DE DETALLE DE LOS MODULOS	55
3.1 MODULO DE CORTE.....	55

3.1.1 Broca guía.....	55
3.1.1.1 Selección de la broca guí.....	55
3.1.1.2 Cálculo de los parámetros de corte de la broca guía.....	59
3.1.2 Broca cañón.....	60
3.1.2.1 Selección de la broca cañón.....	60
3.1.2.2 Cálculo de los parámetros de corte de la broca cañón.....	62
3.1.3 Broca para rocas.....	64
3.1.3.1 Selección de la broca para petcoke.....	64
3.1.3.2 Cálculo de los parámetros de corte de la broca Bosch.....	65
3.2 MODULO DE POTENCIA.....	66
3.2.1 Requerimientos.....	66
3.3 MODULO DE TRANSPORTE.....	68
3.3.1 Diseño tornillo de potencia.....	68
3.3.2 Diseño del eje motriz.....	75
3.3.3 Selección cuña tornillo de potencia.....	83
3.3.4 Selección de rodamientos.....	84
3.3.5. Diseño de los ejes guías.....	86
3.3.6 Diseño del buje.....	90
3.4 MODULO ESTRUCTURAL.....	91
3.4.1 Diseño del bastidor.....	91
3.4.2 Diseño de carro porta-reactores.....	94
3.4.3 Diseño de aislantes de vibración.....	95
3.5 MODULO DE CONTROL.....	99
3.5.1 Equipos de protección.....	99
3.5.1.1 Interruptor Termomagnético.....	100
3.5.1.2 Relé bimetálico.....	101
3.5.1.3 Guardamotor.....	102
3.5.2 Equipos de maniobra.....	103
3.5.2.1 Contactor:.....	103
3.5.2.2 Final de carrera.....	103
3.5.2.3 Relé de control.....	104
3.5.3 Equipos de mando.....	105

3.5.3.1 Parada de emergencia:.....	105
3.5.3.2 Pulsadores:	105
3.5.3.3 Selector:.....	106
3.5.3.4 Pilotos luminosos	107
3.5.4 Accesorios.	108
3.5.5 Diagramas de control y potencia.....	111
3.6 MODULO DE ANCLAJE	112
3.6.1 Anclaje fase desacople.	113
3.6.1.1 Tornillo de banco con horquilla.	113
3.6.1.2 Soporte de transferencia de bolas.	114
3.6.1.3 Asiento pistola Wufu:	115
3.6.1.4 Desacople de la tapa	118
3.6.2 Anclaje fase de limpieza.	120
4. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES.....	122
4.1. CONCLUSIONES	122
4.2 OBSERVACIONES.....	124
BIBLIOGRAFIA.....	127
ANEXOS.....	131

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Ciclo de un reactor de coque.	25
Tabla 2. Análisis característico del coque esponjoso.....	28
Tabla 3. Normas ASTM para el coque del petróleo.	28
Tabla 4. Datos del petcoke.	31
Tabla 5. Factores en el taladrado de las rocas.	34
Tabla 6. Datos prueba de compresión.	35
Tabla 7. Requerimientos módulo de anclaje.....	47
Tabla 8. Lista de componentes módulo de anclaje.....	47
Tabla 9. Requerimientos módulo de corte.	48
Tabla 10. Lista de componentes módulo de corte.	49
Tabla 11. Requerimientos módulo de potencia.....	49
Tabla 12. Lista de Componentes módulo de potencia.....	50
Tabla 13. Requerimientos módulo de transporte.	51
Tabla 14. Lista de Componentes módulo de transporte.	51
Tabla 15. Lista de Componentes módulo de control.....	52
Tabla 16. Requerimientos módulo estructural y de protección.	53
Tabla 17. Lista de Componentes módulo estructural y de protección.....	53
Tabla 18. Especificaciones de la broca guía.....	59
Tabla 19. Parámetros de corte de la broca guía.....	59
Tabla 20. Especificaciones de la broca cañón.....	62
Tabla 21. Parámetros de corte de la broca cañón.	63
Tabla 22. Especificaciones de la broca Bosch.....	65
Tabla 23. Parámetros de corte de la broca Bosch.	65
Tabla 24. Torque y potencia máximos de operación.	66
Tabla 25. Parámetros de entrada de la rosca.....	69
Tabla 26. Cálculo de torques y eficiencia del tornillo.	70
Tabla 27. Cálculo de los esfuerzos en el tornillo.....	71
Tabla 28. Análisis de fatiga eje motriz, carga repetida.....	80

Tabla 29 Longitud mínima y esfuerzos en la cuña.....	84
Tabla 30. Factores de selección de rodamientos SKF.....	85
Tabla 31. Componentes del bastidor.	92
Tabla 32. Cálculo del aislador.....	97
Tabla 33. Medidas del control del riesgo del banco	125

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Coquización retardada.....	24
Figura 2. Componentes del reactor.....	26
Figura 3. Petcoke.....	26
Figura 4. Aplicaciones del coque del petróleo.	27
Figura 5. Muestras de coque sometidas a la prueba de compresión.....	35
Figura 6. Grafico del esfuerzo normal vs el área plana de la muestra.	36
Figura 7. Pruebas de taladrado.....	36
Figura 8. Clasificación del taladrado de rocas basado en la aplicación de la energía mecánica.	38
Figura 9. Broca con punta de carburo cementado.....	39
Figura 10. Broca helicoidal y sus partes.....	41
Figura 11. Broca cañón.....	41
Figura 12. Grata lija.....	42
Figura 13. Banco de decoquizado.	46
Figura 14. Banco modelo de decoquizado.....	54
Figura 15. Agujero guía.	56
Figura 16. Guía y selección de herramientas.	57
Figura 17. Recomendaciones sobre datos de corte.....	58
Figura 18. Guía y selección de herramientas.	61
Figura 19. Datos de corte para broca cañón 428.9.....	62
Figura 20. Tabla de selección del motor.	67
Figura 21. Tornillo de potencia rosca Acme.....	69
Figura 22. Análisis CAE tornillo de potencia, fuerzas aplicadas y malla.....	74
Figura 23. Análisis CAE cresta del tornillo de potencia, esfuerzo máximo.....	74
Figura 24. Análisis CAE del tornillo de potencia, desplazamiento máximo.....	75
Figura 25. Análisis CAE del tornillo de potencia, factor de seguridad.....	75
Figura 26. Diagramas de deflexión del eje motriz.	76
Figura 27. Análisis CAE del eje motriz, fuerzas aplicadas y malla.....	78
Figura 28. Análisis CAE del eje motriz, esfuerzo máximo.....	78

Figura 29. Análisis CAE del eje motriz, desplazamiento máximo.	79
Figura 30. Análisis CAE del eje motriz de potencia, factor de seguridad.	79
Figura 31. Análisis CAE del eje motriz. Daño.	82
Figura 32. Análisis CAE del eje motriz. Vida.	82
Figura 33. Acople.	83
Figura 34. Rodamiento de bolas SKF 6205*	86
Figura 35. Diagramas de deflexión de los ejes guías.	87
Figura 36. Análisis CAE del eje guía, fuerzas aplicadas y malla.	88
Figura 37. Análisis CAE del eje guía, esfuerzo máximo.	89
Figura 38. Análisis CAE del eje guía, desplazamiento máximo.	89
Figura 39. Análisis CAE del eje guía de potencia, factor de seguridad.	90
Figura 40. Componentes del buje de deslizamiento.	91
Figura 41. Bastidor y sus partes.	92
Figura 42. Análisis CAE de la estructura, fuerzas aplicadas y malla.	93
Figura 43. Análisis CAE de la estructura, esfuerzo máximo.	94
Figura 44. Análisis CAE de la estructura, desplazamiento máximo.	94
Figura 45. Carro porta-reactor.	95
Figura 46. Eficiencia de aislamiento.	96
Figura 47. Resultados diseño del aislador de vibración.	98
Figura 48. Interruptor Monopolar Siemens.	100
Figura 49. Interruptor Termo magnético Tripolar.	101
Figura 50. Relé Bimetálico.	102
Figura 51. Guardamotor y contactor.	103
Figura 52. Final de carrera, vástago de rodillo.	104
Figura 53. Relé de control.	105
Figura 54. Parada de emergencia.	105
Figura 55. Pulsador Siemens.	106
Figura 56. Selector de dos posiciones.	107
Figura 57. Pilotos Luminosos Siemens.	108
Figura 58. Caja de empalme.	108
Figura 59. Riel DIN, canaleta ranurada Dexon Schneider.	109
Figura 60. Prensaestopas.	109

Figura 61 Clavija y tomacorriente de seguridad Schneider.....	110
Figura 62. Panel de control.....	110
Figura 63. Diagrama de control.....	111
Figura 64. Diagrama de potencia.....	112
Figura 65. Componentes fase de desacople	113
Figura 66. Tornillo de banco con horquilla Ridgid.	114
Figura 67. Soporte de tuberías de transferencia de bolas Ridgid.	115
Figura 68. CAD asiento de la pistola neumática	116
Figura 69. Análisis CAE del asiento, fuerzas aplicadas y malla.....	116
Figura 70. Análisis CAE del asiento, esfuerzo máximo.....	117
Figura 71. Análisis CAE del asiento, desplazamiento máximo	117
Figura 72. Análisis CAE del asiento, factor de seguridad.	118
Figura 73. CAD negativo de la tapa	118
Figura 74. Análisis CAE del desacople, esfuerzo máximo.....	119
Figura 75. Análisis CAE del desacople, desplazamiento máximo.....	120
Figura 76. Análisis CAE del desacople, factor de seguridad.	120
Figura 77. Componentes del módulo de anclaje en la fase de limpieza	121

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Catálogo de selección de la broca guía.....	132
Anexo B. Especificaciones broca guía.....	133
Anexo C. Parámetros para determinar la fuerza específica de corte (<i>KC</i>)....	135
Anexo D. Catálogo de selección broca cañón	136
Anexo E. Broca para taladrado de coque	137
Anexo F. Especificaciones del motor.....	139
Anexo G. Curvas de operación del motor.....	140
Anexo H. Anexo propiedades mecánicas del acero.....	141
Anexo I. Anexo selección de la cuña norma ASME B17-167	142
Anexo J. Especificaciones de la pistola neumática WF-30	143
Anexo K. Estimación de la fuerza específica de corte del coque	144
Anexo L. Tapa Weco.....	146
Anexo M. Planos del banco de decoquizado	147
Anexo N. Explosión del banco de decoquizado	170
Anexo O. Ensamble banco de decoquizado.....	171

RESUMEN

TÍTULO; DISEÑO DE UN BANCO PARA REALIZAR EL PROCESO DE DECOQUIZADO EN UN REACTOR ACUMULADOR EN EL INSTITUTO COLOMBIANO DEL PETROLEO. (I.C.P.)*

AUTORES: Edgar Andrés Velásquez Vera, Fredy Alonso Bayona Angarita **

PALABRAS CLAVES: Coquización retardada, taladrado, planta piloto, perforación, reactores, petcoke.

DESCRIPCION

El proceso de coquización retardada realizado a escala piloto en el I.C.P obtiene como subproducto petcoke que se vierte finalmente en reactores de acero ASTM 320 de diámetro de 2 ½" y longitudes de 37" y 27". El propósito de este proyecto es diseñar un banco de decoquizado que permita remover dicho coque de forma mecánica teniendo en cuenta una metodología de desarrollo que logre obtener reactores limpios para que sean reutilizados nuevamente después de cada ciclo de forma segura y eficiente. Para ello se realizaron estudios en el coque que permitieron estimar las propiedades requeridas en las operaciones de taladrado.

El banco de decoquizado presenta un diseño modular, el primero es el módulo de anclaje encargado de inmovilizar los reactores asegurando una relación concéntrica broca-reactor, el segundo es el módulo de corte encargado de la remoción del coque, el tercero es el módulo de potencia encargado de suministrar los parámetros de torque y velocidad que demanda cada proceso, el cuarto es el módulo de transporte encargado de desplazar el reactor longitudinalmente, el quinto es módulo de control encargado de coordinar y proteger los componentes que intervienen en las fases de perforación y el ultimo es el módulo estructural encargado de brindar soporte a todo el sistema.

El banco de decoquizado se diseñó utilizando conceptos adquiridos durante la carrera en asignaturas como: diseño de máquinas, resistencia de materiales, vibraciones mecánicas, procesos de manufactura, diseño de herramientas, electricidad y electrónica, además se integraron conocimientos con el uso herramientas computacionales como SolidWorks en el modelado CAD, CAE.

* Trabajo de grado

** Facultad De Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela De Ingeniería Mecánica. Director. Pedro Jose Diaz Guerrero. Codirector. Héctor Julio Picón Hernández

ABSTRACT

TITLE: DESIGN OF A WORKBENCH TO MAKE THE DECOKING PROCESS IN A COLLECTOR REACTOR IN THE INSTITUTO COLOMBIANO DEL PETROLEO. (I.C.P.)^{*}

AUTHORS: Edgar Andrés Velásquez Vera, Fredy Alonso Bayona Angarita^{**}

KEYWORDS: Delayed coking, drilling, pilot plant, perforation, reactors, petcoke.

DESCRIPTION

The Delayed coking process done in a pilot scale in the I.C.P obtains petcoke as a sub product that is finally poured in steel reactors ASTM 320 of 2 ½" in diameter and lengths of 37" and 27". The purpose of this project is designing a workbench for decoking that also allows to remove this aforementioned coke in a mechanical way by using a development methodology that achieves clean reactors to reuse them again after each cycle in a safe and efficient way. For this, the studies that were made in the coke allowed to define the required properties in the drilling operations.

The decoking workbench presents a modular design. the first one is the anchoring module responsible for immobilizing reactors making sure of having a concentric bit-reactor relationship, the second one is the shear module responsible for the removal of coke, the third one is the power module responsible for providing the parameters of torque and speed demanded by each process, the fourth one is the transport module responsible for moving the reactor axially, the fifth one is the control module responsible for coordinating and protecting the components involved in the drilling phase and the last one is the structural module responsible for providing support to the entire system.

The decoking workbench was designed using concepts learned throughout the degree in subjects such as: machine design, strength of materials, mechanical vibration, manufacturing process, tools design, electricity and electronics and this knowledge is integrated with the use of computer programming tools such as Solid Works in the modeled CAD, CAE.

^{*} Work degree

^{**} Faculty of Engineering Physics and Mechanics. School Of Mechanical Engineering. Head Teacher. Pedro Jose Diaz Guerrero. Co. Picon Hector Julio Hernández

INTRODUCCION

Todos los procesos llevados a cabo en el Instituto Colombiano del Petróleo I.C.P. se desarrollan basados en normas de alta calidad y estándares internacionales para garantizar la confiabilidad de sus operaciones.

Algunos de estos procesos se desarrollan en plantas piloto donde se llevan a cabo operaciones de refinación a escalas menores de la industrial, como lo es el proceso de coquización retardada el cual consiste en un craqueo térmico aplicado básicamente a crudos reducidos y residuales de vacío con el objeto de aumentar la generación de productos livianos.

Para realizar el proceso de coquización retardada se requiere el uso de reactores pues es allí donde se almacena coque producto del proceso. Estos reactores debido a su alto costo económico deben ser limpiados para ser nuevamente utilizados, proceso al que se le denomina decoquizado.

Actualmente los implementos y la metodología de limpieza utilizada en el proceso de decoquizado constituyen un riesgo para la integridad física del personal a cargo de estas funciones puesto que no se garantiza entre otras cosas la debida inmovilización del reactor, el control de los pesados y robustos equipos, por lo que es inevitable el deterioro de las superficies del reactor. De ahí el propósito principal de este proyecto de grado que mediante el diseño de un banco de decoquizado se garantice la limpieza y prolongación de la vida útil de los reactores, la disminución del esfuerzo físico protegiendo la integridad del operario y el uso de implementos y herramientas sofisticadas, integradas en el desarrollo de una metodología eficaz que dé solución al proceso en conjunto.

Para ello se analizaran las propiedades concernientes a la remoción y limpieza del coque (dureza, fuerza específica de corte, esfuerzos de compresión, etc.),

herramientas de corte, procesos de manufactura, materiales y todas las normas y conceptos referentes al diseño y puesta en marcha de una maquina realizando el diseño al detalle de cada uno de sus componentes cumpliendo con los altos estándares que presenta cada proceso realizado en el I.C.P.

1. DISEÑO METODOLOGICO

1.1 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.1.1 Objetivo General. Contribuir con la misión de la Universidad Industrial de Santander, de brindar conocimientos y soluciones a las diferentes necesidades de la industria, específicamente la industria de refinación y petroquímica, desarrollando un banco que ejecute la operación de decoquizado, en el proceso de coquización retardada en la planta piloto en el I.C.P.

1.1.2 Objetivos Específicos. Realizar el desarrollo de una metodología para ejecutar la limpieza y remoción de coque y termo pozo de un reactor austenítico que cumpla con los siguientes requerimientos:

- Remover el material de coque que posee una dureza promedio de 30 HGI.
- Remover el termo pozo cilíndrico hueco de acero inoxidable.
- Reactores de diámetro de 2 ½" y de longitud 37" y 27".

Realizar el diseño de un banco para el proceso de decoquizado cumpliendo con la normativa OHSAS 18001.

1.2 METODOLOGÍA DEL DESARROLLO DEL PROYECTO

El alcance del proyecto es realizar las operaciones de limpieza de reactores de material austenítico que almacenan coque procedente del proceso de coquización retardada integrando sus fases en un diseño conjunto que facilite y mejore el proceso de remoción del coque y del termo pozo usando los conocimientos adquiridos y herramientas computacionales que permitan

diseñar y modelar todos los componentes que se requieran para su ejecución de una manera eficiente y segura.

El desarrollo de la metodología para la elaboración de este proyecto se realizó con base a la secuencia de pasos que se muestran a continuación:

- Generalidades del proceso de coquización retardada y del coque obtenido.
- Identificación de las fases del proceso de decoquizado.
- Estudio de las propiedades del coque y termo pozo.
- Identificación de falencias en el proceso.
- Investigación y recopilación de la información que permita determinar las herramientas que se requieran en el proceso de limpieza.
- Plantear un modelo prototipo de solución CAD-CAE.
- Analizar los resultados del diseño.

1.3 EL PROCESO DE COQUIZACIÓN RETARDADA

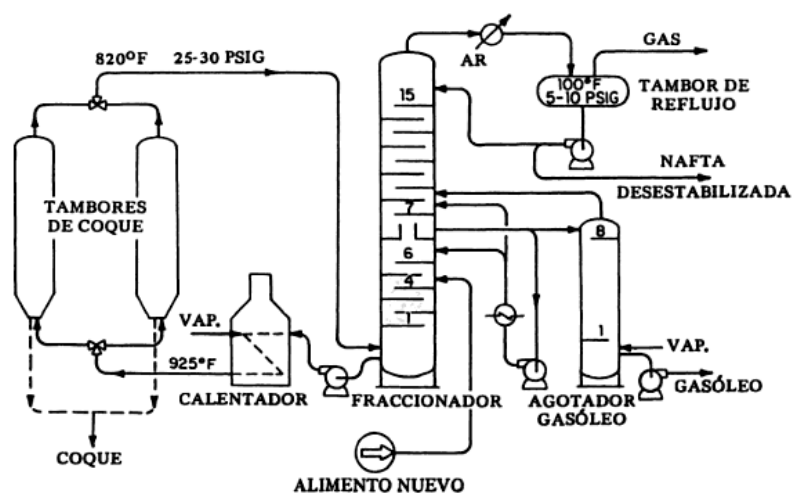
La planta piloto* de coquización del ICP lleva a cabo operaciones de refinación a escalas menores de la industrial, como lo es el proceso de coquización retardada el cual consiste en un craqueo térmico aplicado básicamente a crudos reducidos y residuales de vacío con el objeto de aumentar la generación de productos livianos.

El proceso completo se agrupa típicamente en tres secciones: horno y fraccionador, acumulador de coque (reactor) y manejo de coque. En la etapa inicial del proceso se cargan los residuos de destilación al vacío y/o residuales atmosféricos en un fraccionador para separar los hidrocarburos más ligeros para luego combinarlos con el petróleo más pesado. El material pesado pasa al horno de coquización y se calienta a altas temperaturas en el rango de (900-960) °F produciendo una vaporización parcial y un craqueo. “*La mezcla del*

* Las plantas pilotos son instalaciones experimentales de dimensiones comprendidas entre aparatos de laboratorio y plantas comerciales, conformadas por una secuencia de equipos, instrumentos, accesorios y líneas, dispuestos en forma lógica para reproducir un determinado proceso.

líquido y vapor se bombea desde el pie de la columna de fraccionamiento a través del calentador del coquizador, donde se vaporiza parcialmente, y luego hacia uno de los tambores de coque. La porción no vaporizada del efluente del calentador sedimenta¹ en el reactor de coque, donde el material caliente permanece varias horas dando lugar a la formación del coque. Los vapores calientes del tambor de coque se enfrían por el alimento líquido más frío previniendo así la formación de cualquier cantidad significativa de coque en la columna de fraccionamiento y simultáneamente se condensa una porción de las colas más pesadas. El vapor procedente de los reactores es devuelto al fraccionador para separar el gas, la nafta y los gasóleos, como se ilustra en la figura 1

Figura 1. Coquización retardada



Fuente: James H Gary, Glenn E. Refino de petróleo. Tecnología y economía 58p.

Los acumuladores de coque sirven para dos propósitos fundamentales: uno es proporcionar un tiempo de reacción para permitir que las reacciones de coquificación puedan culminar y dos, recolectar el coque sólido formado. Para nuestro caso en el proceso de decoquizado a escala piloto, cuando el reactor en servicio se llena hasta un margen de seguridad se conmuta la válvula para que el efluente del calentador pase a un reactor vacío. De esta manera se

¹ JAMES H Gary, Glenn E. Refino de petróleo. Tecnología y economía REVERTÉ S.A 2003 p58-59.

somete el reactor lleno a un proceso enfriamiento, preparación y limpieza, proceso que se conoce con el nombre de decoquizado.

En la tabla 1 se muestra el tiempo que toman cada una de las fases del ciclo que lleva a cabo un reactor de coque de forma general.

Tabla 1. Ciclo de un reactor de coque.

Proceso	Tiempo (horas)
Coquificación	10-24
Traslado del vapor desde el acumulador hacia el fraccionador	0,5-1
Traslado del vapor desde el acumulador hacia el tambor de purga	0.5-1
Corte del coque (decoquizado actual)	2-5

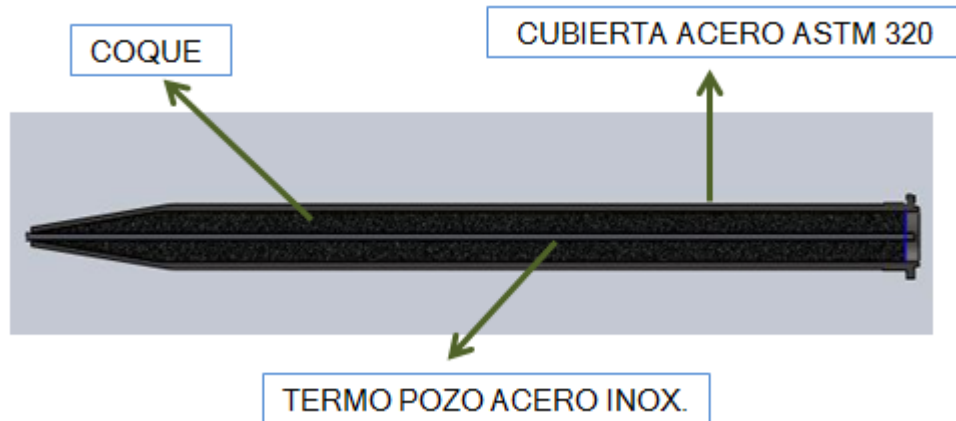
Proceso de decoquizado.

El reactor es una pieza que se usa para el almacenamiento de coque y constituye una herramienta básica para su estudio. Se conforma por una cubierta de acero inoxidable ASTM 320, un termo pozo de acero inoxidable alojado en el interior del reactor y una tapa para su sellado.

El proceso de decoquizado es una técnica que se encarga de remover el material alojado en el interior de la cavidad de reactores de almacenamiento proveniente del proceso de coquización retardada.

La remoción de los materiales alojados en el reactor requieren de tareas implícitas dentro del proceso como lo son: el anclaje del reactor y el desacople de la tapa, las cuales se deben realizar evitando un desgaste excesivo en los reactores. .En la figura 2 se muestra el reactor con sus componentes, para nuestro caso se deberán remover el coque y el termo pozo.

Figura 2. Componentes del reactor



Al finalizar el proceso de decoquizado mediante un método hidráulico, neumático o mecánico, se obtendrá un reactor vacío, libre de material alojado en su interior, listo para reintegrarse a nuevo ciclo.

1.4 GENERALIDADES DEL COQUE.

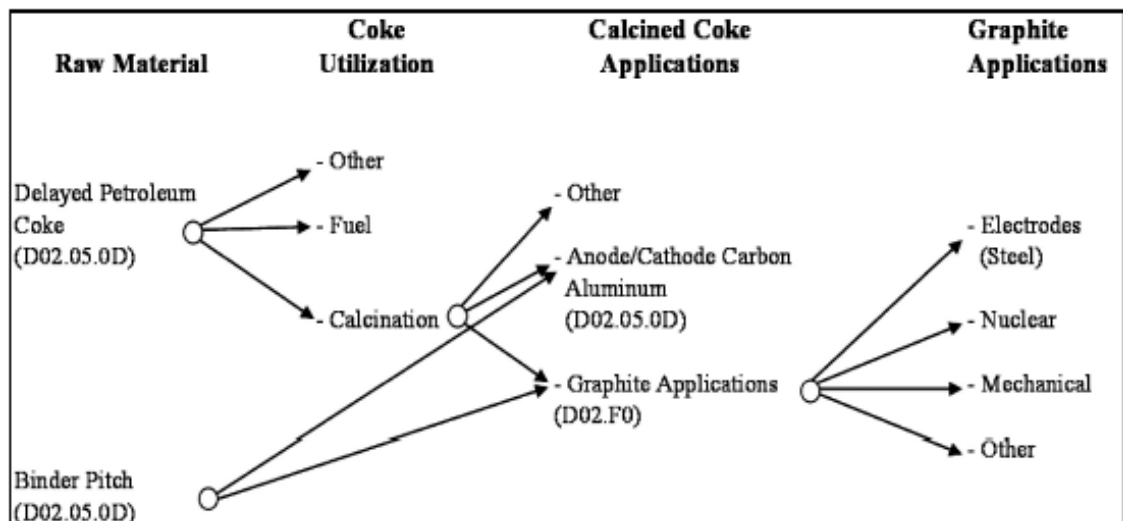
El coque del petróleo obtenido en nuestro caso es una masa sólida que en su mayor parte se produce como pedazos sólidos carbonosos, porosos y de forma irregular, cuyo tamaño abarca desde las 20 pulgadas hasta polvo fino. Este tipo de coque se denomina coque esponjoso debido a su apariencia como se muestra en la figura 3 y se clasifica en coque grado ánodo o coque grado combustible según sus propiedades.

Figura 3. Petcoke



El petcoke es producido de la alimentación de residuos de destilación al vacío con una baja a moderada concentración de asfáltenos. Si el coque obtenido cuenta con ciertas propiedades específicas (grado ánodo), también llamado coque verde, puede usarse en la industria del aluminio para la fabricación de electrodos y ánodos por su bajo contenido de metales, de lo contrario para propiedades menos exigentes puede usarse en forma de crudo como combustible (grado coque combustible), como fuente de productos químicos de carbono para la fabricación de fósforo elemental, carburo cálcico y carburo de silicio o en la fabricación de grafito. Ver figura 4

Figura 4. Aplicaciones del coque del petróleo.



Fuente: C.O. Mills, F. A. Ianuzzi *properties of petroleum coke* 2010.

En la tabla 2 se muestra el análisis característico típico del coque esponjoso. El contenido en azufre del coque del petróleo varía con el contenido en azufre de la materia prima del coquizador. Normalmente se sitúa en el intervalo de 0,3 y al 1,5 % en peso. Sin embargo, en algunas ocasiones puede llegar al 6%. Tomado de *James H Gary, Glenn E. Refino de petróleo. Tecnología y economía*, editorial REVERTÉ S.A 2003, 60p.

Tabla 2. Análisis característico del coque esponjoso.

	% peso (Como producto)	% peso (después de calcinar)
Agua	2-4	Nulo
Materia volátil	7-10	2-3
Carbón fijo	91-85	95+
Cenizas	0,5-1,0	1-2

Fuente: James H Gary, Glenn E. Refino de petróleo. Tecnología y economía 60p.

1.5 PROPIEDADES DEL COQUE

El coque es un sólido carbonoso que tiene propiedades físicas similares a las del carbón ya que contiene un porcentaje de carbono fijo no menor al 86%. Con el fin de predecir sus propiedades los coques obtenidos del petróleo se caracterizan siguiendo las normas técnicas existentes reconocidas internacionalmente como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Normas ASTM para el coque del petróleo.

Análisis	No. designación ASTM	descripción
Análisis próximo	D3175	procedimientos estándar de determinación de Materia Volátil, Cenizas y Humedad
Análisis Tumbler stability Index	Coke crushing characteristics	Realiza el cálculo de tamaño medio del coque, un parámetro importante como índice de calidad del coque.
Hardgrove Gridability Index (HGI) of petroleum coke	D5003-06a	Mide la relativa facilidad de pulverizar coque del crudo del petróleo o el coque verde del petróleo en comparación con carbón estándar.
Análisis CRI-CSR	D5341 – 99	Método de prueba estándar para la medición del índice de reactividad del coque (CRI) y el esfuerzo del coque después de la reacción (CSR)

En forma general las propiedades mecánicas del coque pueden agruparse y relacionarse de acuerdo a las normativas internacionales como sigue a continuación:

1. Resistencia: Miden la oposición a la falla del coque bajo elementos sometidos a esfuerzos como compresión, tensión o corte.

Las pruebas de taladrado en el análisis Tumbler stability Index, se han realizado sobre coque producido de variedades de carbón y mezcla de carbones en escalas piloto y comerciales con los diferentes tipos de posiciones de los hornos, que indican que la cantidad de finos de coque producidos está fuertemente influenciada por el resistencia del coque como es medida en la prueba del tambor ASTM para muestras de tamaño superiores a $\frac{3}{4}$ in.

Por otra parte el método estándar de prueba CSR determina la resistencia del coque en caliente a temperaturas y tiempos de reacción determinados.

2. Tenacidad: Oposición al cambio de forma o volumen bajo acción del esfuerzo.
3. Dureza: Resistencia que opone un mineral a ser rayado por otro.
4. Resistencia a la fractura: Resistencia a la propagación de micro grietas.
5. Coeficientes de fricción: medida de la resistencia al desplazamiento entre dos cuerpos con superficies planas en contacto.
6. Triturabilidad: Resistencia a pulverizarse.
Se puede medir indirectamente la relativa facilidad de pulverizar coque del crudo del petróleo o el coque verde del petróleo en comparación con carbón estándar con el Hardgrove Grindability Index HGI.

Hardgrove Grindability Index, HGI, en la tecnología del coque del petróleo es usado para predecir el rango del coque del crudo o el coque del petróleo calcinado en tamaños de fresado industrial usados para operaciones de triturado. Los rangos están basados sobre la energía requerida y la tasa de alimentación o ambas. El HGI es también usado para seleccionar coque del crudo del petróleo y carbón que son compatibles uno con el otro cuando son fresados juntos en una mezcla, así que la segregación de la mezcla no ocurre durante una reducción de particular tamaño.

7. Abrasividad: Capacidad del coque de inducir desgaste sobre herramientas mecánicas y aparatos.

Dada la amplia variabilidad de resultados en la obtención de muestras de coque, se puede evidenciar que las normas internacionales realizan una medición indirecta de las propiedades que tiende a delimitar los rangos típicos en los que el coque puede presentarse, que pueden relacionarse directamente con sus propiedades físicas para el caso de una muestra en particular. Estos estudios no serán llevados a cabo en este trabajo.

❖ Características de rotura del coque

Pruebas sobre hornos piloto y comerciales han indicado que la cantidad de finos de coque producidos cuando se tritura por encima del tamaño de $\frac{3}{4}$ " para la industria química es dependiente sobre el esfuerzo del coque como lo determina la American Society for Testing Materials tumbler test. Un bajo índice de estabilidad de volteo favorece una mínima producción de finos y en un campo máximo de piezas más grandes de $\frac{1}{2}$ " x $\frac{3}{4}$ ". Esto está indicando también que una producción mínima de finos es favorable para un alto índice de dureza de volteo. (*Tumbler hardness index*)

Pruebas de destrucción se han realizado sobre coque producido de una variedad de carbones y mezcla de carbones en tamaños piloto y comercial de

hornos con tipos de diferentes posiciones, y hornos en un arreglo circular y rectangular.

Los resultados de destrucción parecen estar influenciados también por la dureza del coque, y esto está indicando que un alto índice de dureza favorece a un mínimo de finos de la trituradora.

❖ Datos

De los estudios efectuados en el ICP fueron proporcionados los siguientes datos relativos a sus propiedades, o en su defecto datos que permiten estimar dichas propiedades como se muestra en la tabla 4

Tabla 4. Datos del petcoke.

Propiedades	Especificaciones
Hardgrove Grindability Index	30 HGI
Dureza del petcoke	160 HB
Escala Mohs	3 – 3,5
Masa de coque a remover	[1-2] kg

El petcoke aunque se midan sus propiedades de forma diferente es un tipo particular de roca y presenta en forma general su misma clasificación de propiedades.

Para otras propiedades mecánicas necesarias en este proyecto se realizó una investigación referente al comportamiento de las rocas en operaciones de perforación y taladrado. A continuación se describirán de forma general los efectos producidos por estas operaciones en las masas rocosas.

❖ Fractura de las rocas

Muchos tipos de energía pueden ser aplicados en diferentes formas a la masa de roca para crear un agujero. Para asegurar que el agujero a perforar sea muy efectivo, un agujero debe tener algunas dimensiones particulares de sus

propiedades. Así un agujero requerido de ciertas dimensiones demandara una energía aplicada de forma controlada. Tres formas de energía pueden ser aplicadas a la masa de roca de una manera controlada. Ellas son:

1. Energía mecánica
2. Energía térmica
3. Energía química

De estas tres formas de energía la más ampliamente usada en la actualidad es la práctica del taladrado, ya que los métodos convencionales de taladrado que usan energía mecánica para la desintegración y formación de agujeros son los que menor consumo energético requieren para romper la roca.

Cuando se aplica energía mecánica a una masa de roca se generan varios tipos de esfuerzos. Estos esfuerzos provocan tensiones en la masa rocosa y posteriormente, su rotura en pequeños pedazos en la dirección de propagación de las grietas.

Los diferentes modos de transmisión de la energía mecánica a formaciones rocosas son: el triturado. En los que los esfuerzos desarrollados son de compresión, pero a lo largo de las grietas los esfuerzos son predominantemente de cizallamiento, por lo que la fractura tiene lugar debido a los esfuerzos de corte. El triturado por impacto, basado en la desintegración de material en la perforación por percusión y el taladrado, que genera grietas que se propagan por una fuerza horizontal a lo largo de la superficie de corte y una fuerza vertical que permite a la herramienta de perforación incidir sobre la roca.

De las formas mencionadas anteriormente para la fragmentación del coque debemos tener presente las extensas longitudes de trabajo y su geometría, ya que el reactor requiere agujeros de profundidades de hasta casi un metro para la remoción del coque. Por lo tanto se considera conveniente la operación de taladro.

Fractura de la roca en el taladrado

Con el fin de correlacionar los factores que intervienen en el taladrado del coque con la resistencia que este opone en dicha operación, se realizó una investigación del comportamiento de las rocas en los procesos de taladrado con el propósito de estimar valores de referencia de los parámetros del coque para su corte.

El filo de corte del diente de la broca debe penetrar la masa de la roca. Por tanto es esencial tener claro el concepto de penetración del diente en la roca. Cuando la punta de la broca incide sobre la roca, se producen esfuerzos sobre ella. La naturaleza de la distribución del esfuerzo depende de la rigidez de la broca. Para una broca perfectamente rígida la distribución del esfuerzo es siempre mayor cerca del filo de la punta de la herramienta.

Cuando la broca es empujada sobre la roca, en la etapa inicial, los puntos en contacto entre broca y la roca desintegran la roca en los alrededores de dichos puntos al producirse sobre la roca la máxima presión de contacto cuando el esfuerzo es superior al esfuerzo último de la roca. Por lo que el desplazamiento de una delgada capa de partículas bajo el filo de la broca fuerza a la desintegración de toda la roca. Como las partículas se van desintegrando, la zona en contacto con la herramienta es incapaz de resistir la fuerza de penetración y el desplazamiento de las partículas de la línea central de corte que reciben directamente la carga por lo que en últimas se desintegra.

La penetración del filo de una broca se logra gracias a su diseño en forma de filo, que al tener una pequeña área de contacto permite ejercer una presión localizada sobre la roca. Esta genera una elevada fuerza de corte sobre la roca que se produce con el uso de insertos o puntas que hacen más efectiva la desintegración de la roca en comparación con la fuerza de empuje.

Perforabilidad de las rocas

La rata de penetración de las rocas está dado por la broca en particular a usar. Algunas veces esto es considerado como una propiedad de la roca pero realmente esta depende no solo del tipo de roca y sus características, sino también de muchos otros factores. En la tabla 5 se muestran las categorías que afectan la perforabilidad de las rocas como sigue a continuación:

Tabla 5. Factores en el taladrado de las rocas.

Categoría	Factores
Propiedades de la roca	Esfuerzo uniaxial de compresión Esfuerzo de tensión Densidad Abrasividad Tenacidad Esfuerzo de corte Cohesión de partículas
Factores mecánicos	Fuerza de avance Velocidad de rotación Torque Vibraciones Flujo de aire Presión de aire
Factores de la broca	Altura del filo Angulo de ataque Dureza Abrasividad Diámetro

Fuente: Bhalchandra V. Gokhale. Rotary drilling and blasting in large surface mines. 2011 CRC Press, chapter 9.

1.6 PRUEBAS DESTRUCTIVAS DEL COQUE

- Prueba de compresión

Con el fin de estimar un valor de esfuerzo normal se siguió la normativa ASTM C 695-9 que corresponde al método que cubre la determinación del esfuerzo de compresión de carbón y grafito a la temperatura ambiente. Estas pruebas

fueron realizadas en el laboratorio de materiales de la UIS a partir de muestras de coque como se ilustra en la figura 5

Figura 5. Muestras de coque sometidas a la prueba de compresión.



Para esta prueba se prepararon las muestras con secciones planas al maquinarse con sierra en sus caras creando muestras solidas en forma de bloques rectangulares. En la tabla 6 se muestran los datos geométricos de las caras planas en contacto en la prensa hidráulica y sus respectivos espesores, junto con resultados del esfuerzo normal obtenidos en la prueba de compresión hasta la fractura de la muestra. De ellos se obtuvo un valor promedio del esfuerzo normal de aproximadamente 34 Mpa.

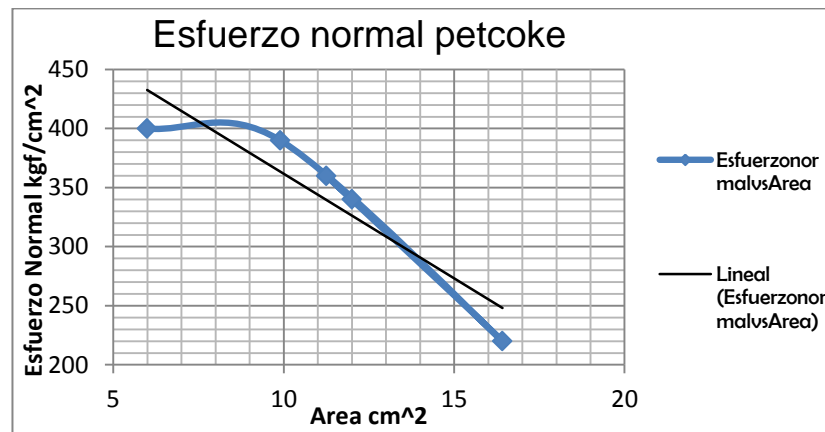
Tabla 6. Datos prueba de compresión.

Forma	espesor(cm)	ancho (cm)	alto (cm)	Área [cm ²]	Esfuerzo normal	
					kgf/cm ²	Mpa
rectangular	1.9	2,7	2,22	5,994	400	39,23
rectangular	1.9	5	2,2	9,9	390	38,25
rectangular	1.9	4,56	3,6	16,416	220	21,57
rectangular	1.9	4,5	2,5	11,25	360	35,3
rectangular	1.9	4	3	12	340	31,4
<i>esfuerzo normal promedio</i>					342	34

Existe una variabilidad significativa en los resultados obtenidos provocado por la generación de micro grietas producidas en la preparación de las muestras,

sin embargo sus resultados son aceptables pues se ubican en rangos típicos de esfuerzo de compresión del petcoke. Los datos obtenidos en la prueba de compresión son graficados como se muestra en la figura 6, en ellos se muestra una tendencia lineal donde el esfuerzo normal es inversamente proporcional al área plana en contacto.

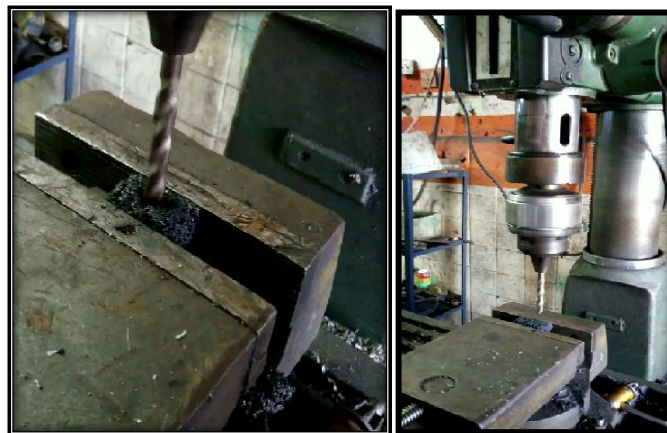
Figura 6. Grafico del esfuerzo normal vs el área plana de la muestra.



○ Prueba de Taladrado

Esta prueba se realizó como medida de observación experimental con la cual se verificó la facilidad de la operación de taladrado sobre el petcoke con una herramienta de perforación.

Figura 7. Pruebas de taladrado.



1.7 GENERALIDADES DEL TALADRADO

1.7.1 La operación de taladrado. El taladrado es el proceso que tiene como objeto producir agujeros cilíndricos en una pieza cualquiera. La operación de taladrado es considerada como uno de los procesos más importantes debido a su amplio uso.

La operación de taladrado produce un agujero en un objeto forzando contra él una broca giratoria. La herramienta típica que se utiliza es la broca, la cual es una herramienta de corte rotatoria que tiene uno o más bordes de corte con sus correspondientes ranuras las cuales se extienden a lo largo del cuerpo de la broca. Las ranuras pueden ser helicoidales o rectas, las cuales sirven de canales o ductos para la evacuación de las virutas así como para la adición del fluido de corte. La mayoría de brocas poseen dos ranuras pero aun así se emplean brocas que poseen tres o cuatro ranuras las cuales son conocidas como brocas de núcleo.

1.7.2 Herramientas para el taladrado. En la industria se utilizan diferentes tipos de brocas según su aplicación, que responden principalmente al material a maquinar y a las características del agujero. En nuestro caso se deben taladrar agujeros profundos sobre acero inoxidable y coque. Estos materiales tienen características diferentes, en especial las propiedades de dureza y resistencia, por lo que requieren variadas geometrías en sus herramientas de corte. Los tipos de brocas recomendadas para el taladrado del acero son las brocas helicoidales y las brocas cañón. Para el coque existen varios tipos de brocas que se ubican de forma general en aplicaciones de taladrado de rocas y concreto. De esta manera se describirán brocas que mejor se ajustan a la tarea de maquinar acero y coque como sigue a continuación:

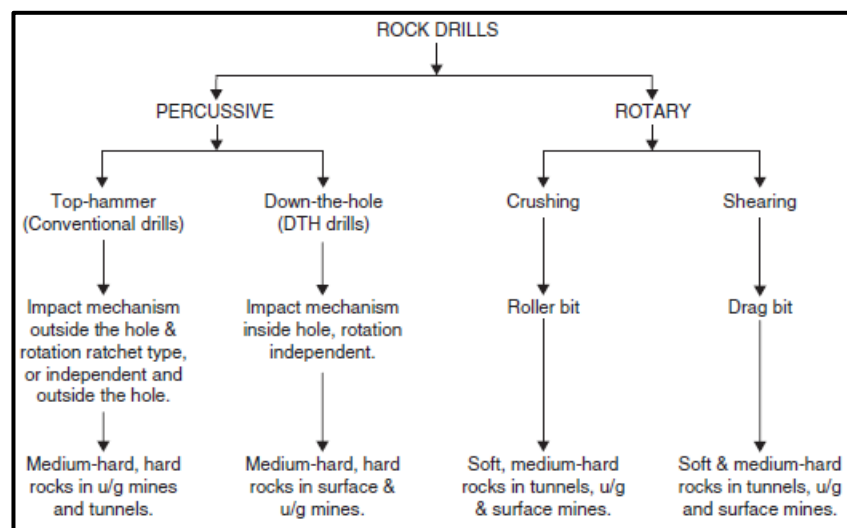
 Herramientas de corte para el coque

Las brocas para el taladrado de rocas son usadas generalmente en minería, en operaciones de perforación para la ubicación de explosivos y excavaciones de

agujeros para diversos propósitos. Debido a que no existe en la industria un broca específica para el taladrado del coque, se deben tener en cuenta sus propiedades y comportamiento a los efectos de corte para herramientas de taladrado. Sin embargo existen en la industria una amplia gama de herramientas para materiales con propiedades superiores en dureza y resistencia a la fractura que las del coque, como lo son las rocas y el concreto. De esta manera en este proyecto se tendrán en cuenta herramientas empleadas para el maquinado de rocas y concreto como sigue a continuación.

Los mecanismos de penetración de roca usados pueden ser por operaciones percusión o de rotación e incluso por ambos métodos. Los resultados provocados por las brocas usadas en cada caso son similares al picado y triturado de la roca, que se difieren principalmente en que la acción de triturado predomina en el taladrado por percusión y la acción de picado en el taladrado rotatorio.

Figura 8. Clasificación del taladrado de rocas basado en la aplicación de la energía mecánica.



Fuente: TATIYA Ratan Raj. Surface and Underground excavations, 2nd Edition, 2013, chapter 4, drilling.

La selección de una broca en particular debe estar basada en factores tecnológicos y de costos. Esta debe tener en cuenta la manera en la cual

actuara la herramienta de corte sobre el agujero, las fuerzas y velocidades de la herramienta, el diámetro y la profundidad del agujero y el método y la velocidad con la cual la herramienta de corte se removerá el material para generar el agujero. Se recomienda utilizar la operación de taladrado rotatorio en rocas suaves y de grado medio o la operación de taladrado por percusión en rocas grado medio, duro o muy duro con el fin de minimizar costos.

En nuestro caso dadas las limitaciones de espacio correspondientes a la geometría de la cavidad interior del reactor y a la facilidad de la operación del taladrado sobre el coque se considera conveniente el taladrado rotativo como se evidenció en la prueba física.

En el taladrado rotativo para agujeros profundos la parte de la broca en contacto con la roca está hecha típicamente de carburo cementado en forma de inserto.

Figura 9. Broca con punta de carburo cementado



Fuente: VIGACEROS. [en línea] disponible en: <http://vigaceros.softeca.es>

✚ Herramientas de corte para el termo pozo (acero inoxidable)

Para el taladrado del acero inoxidable existen en la industria diferentes herramientas de corte. Las más comunes en esta operación son las brocas helicoidales y las brocas cañón que se diferencian en la profundidad de trabajo de los agujeros. A continuación se describirán cada una de ellas:

○ Brocas helicoidales

La broca es la herramienta utilizada para la obtención de agujeros generalmente de forma cilíndrica y algunas veces de forma cónica.

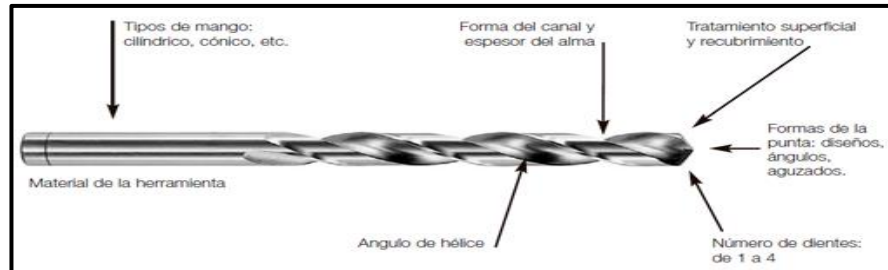
Las partes principales de una broca son²:

- *La punta:* La acción de la punta de la broca es algo parecida a la del punzón. Ejerce sobre el material una presión considerable. Cuando el ángulo de la punta es muy pequeño la broca tiene mucha punta y esta es muy frágil, entonces los filos cortan en este caso una viruta muy alargada y delgada, si por el contrario el ángulo es muy grande las virutas se forman se desprenden con dificultad.
- *Los filos:* Están formados por la intersección de las superficies de incidencia de los labios de la broca con las superficies de desprendimiento de esta última.
- *Angulo de hélice:* En las brocas helicoidales, el ángulo de la hélice tiene una gran importancia. Se sabe que este ángulo está formado por la tangente a la hélice y la generatriz del cilindro circunscrito a la broca. El valor del ángulo de hélice debe condicionarse a la clase del material que se vaya a trabajar pudiendo variar entre 18 y 45°.
- *Hélice de la broca:* Según su tamaño se pueden clasificar en, normal para aceros y fundiciones, larga para materiales duros y aleaciones que den virutas irregulares y cortas, para los metales blandos.
- *Angulo de incidencia:* Generalmente se mide sobre la circunferencia exterior, este ángulo depende de la clase del material que deba trabajarse y del avance empleado. El ángulo de avance tiene un valor que generalmente está comprendido entre 6 y 8°.

² BLANPAIN Eduardo, Teoría y práctica de las herramientas de corte, editorial Gustavo GIL, 1962, capítulo XIII, Herramientas para taladrar y mandrinar.

- *Dispositivo de centrado:* Las brocas terminan por lo general en una parte cilíndrica o cónica, llamada mango y que sirve para su centrado.

Figura 10. Broca helicoidal y sus partes

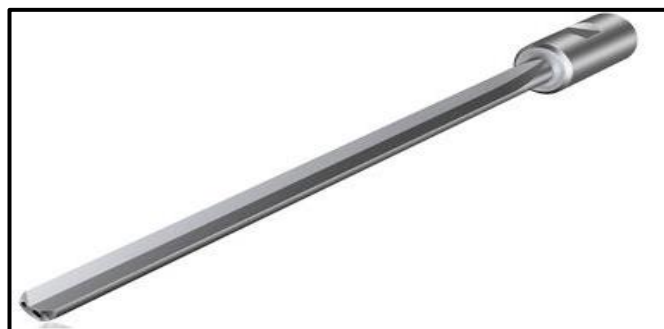


○ Broca cañón

Cuando se perforan agujeros donde las profundidades de taladrado son iguales o superiores a 10 veces el diámetro de la broca se consideran operaciones de taladrado profundo.

Para realizar agujeros profundos existen brocas especiales denominadas brocas cañón, las ventajas del uso de estas brocas son una buena calidad superficial, una precisión de alineación optimizada y una baja desviación de la concentricidad. Estas brocas pueden utilizarse en diversos materiales, como el acero, acero inoxidable, materiales no férreos, superaleaciones termorresistentes entre otros. Las brocas cañón cuentan con diferentes opciones de recubrimiento en la punta como el nitruro de titanio TiN y el nitruro aluminio de titanio TiAlN. Pueden alcanzar agujeros de profundidades hasta de 3 [m] de longitud.

Figura 11. Broca cañón.



Fuente: <http://www.sandvik.coromant.com>

✚ Herramientas para limpieza de la superficie interna del reactor.

En la fase de limpieza de la cavidad interna del reactor, el diámetro de la broca debe ser menor al de su superficie interna por medidas de seguridad. Debido a esto quedan capas de coque adheridos a la superficie sin remover. Para ello son necesarias herramientas versátiles que remueva el coque faltante sin dañar ni generar un desgaste apreciable en el reactor. Estas herramientas son conocidas comúnmente como gratas lija.

Las gratas lija son herramientas constituidas con un alto número de lengüetas dispuestas en forma radial, sujetas por dos bridas de acero y soldadas con un potente adhesivo, formando una rueda. Se pueden elaborar en óxido de aluminio y en zirconio. Las gratas son especiales para trabajo rápido de desbaste, limpieza y pulido de grandes superficies metálicas y trabajan a altas velocidades. Ver figura 12.

Figura 12. Grata lija



Fuente: <http://www.abracol.com>

1.7.3 Propiedades mecánicas en el taladrado. En el proceso de taladrado se realizan dos movimientos: el movimiento de corte y el movimiento de avance. En el intervienen distintas variables y parámetros que se deben tener en cuenta en el momento de seleccionar y utilizar la broca, estos se describirían a continuación.

- Velocidad de corte (V_c) : Es la velocidad lineal de la periferia de la broca, generalmente es expresada en $\left[\frac{m}{min}\right]$, su valor depende de muchos factores como la dureza y la maquinabilidad que tenga el material que se perfore, la calidad y tipo de broca. El valor de la velocidad de corte es sugerido por el fabricante para alargar la vida útil de la herramienta.
- Avance por vuelta (f_n): Este parámetro representa el desplazamiento de la broca por vuelta, expresada en $\left[\frac{mm}{rev}\right]$. El rango de valores del avance por vuelta depende fundamentalmente del diámetro de la broca, de la profundidad del agujero, del tipo del material de la pieza. Al igual que la velocidad de corte los valores recomendados son proporcionados por el fabricante.
- Avance por filo (f_z): Representa el avance de la broca respecto al número de filos.
- Velocidad de penetración (V_f): Es el producto del avance por revolución por la velocidad de rotación de la broca, representa la velocidad de penetración de la broca en el material.
- Velocidad del husillo (n): Indica la velocidad de giro de la broca en *rpm*.
- Potencia de corte (P_c): Representa la energía requerida para perforar un material, se determina a partir del valor del volumen de arranque de viruta y la fuerza específica de corte.
- Tiempo de mecanizado (T_m) : Es el tiempo que gasta la broca en realizar la perforación, se calcula a partir de la longitud de mecanizado y de la velocidad de penetración.

- Fuerza de avance (F_f): Es la fuerza requerida para penetrar en el material, esta depende del material a perforar y de la geometría de la broca.
- Par (M_c): Representa el par que requiere la broca para realizar el giro en el momento de realizar el agujero. Se calcula a partir de la potencia de corte y la velocidad de giro de la broca.
- Fuerza específica de corte (k_c): Es una constante que se determina por el tipo de material que se está perforando la geometría de la herramienta y el espesor de la viruta, es expresada en $\left[\frac{N}{mm^2}\right]$.
- Velocidad de arranque de viruta (Q): Indica el volumen de viruta desprendido de la pieza por unidad de tiempo.

1.8 METODOLOGÍA DE LIMPIEZA DEL REACTOR.

Para llevar a cabo el proceso de limpieza de los reactores de acero autentico se deben seguir una metodología de limpieza en la que se deben tener en cuenta los siguientes pasos:

1. Inspección del banco de operaciones: En esta etapa se debe verificar las condiciones en la que se encuentra la estructura y sus componentes
2. Ubicación y anclaje del reactor: El reactor se sujetara al banco con el propósito de inmovilizarlo en todas las direcciones para las operaciones de desacople y corte según sea su longitud.
3. Desacople de la tapa del reactor: Adaptar una pieza que sirva de negativo para transmitir el torque necesario para retirar la tapa del reactor por medio de una pistola neumática que se tiene disponible en el I.C.P
4. Montaje y alineación de la herramienta de corte: Ubicación con una relación concéntrica de la herramienta de corte que se requiera, con la cavidad interna del reactor. La herramienta de corte deberá acoplarse a la unidad de

poder, esta debe alcanzar las dimensiones y profundidades de los agujeros acorde a las dimensiones del reactor.

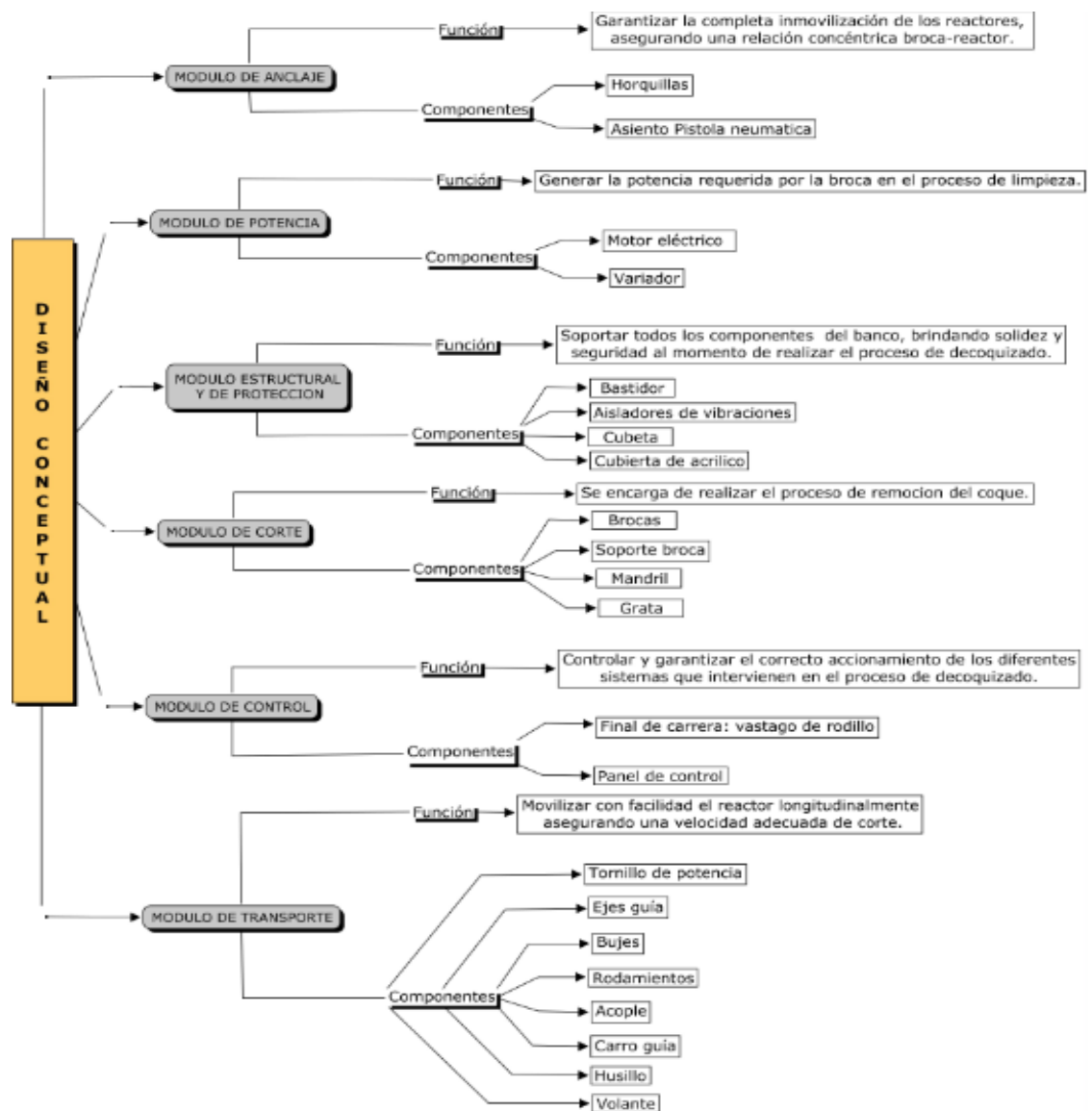
5. Accionamiento de las unidades de potencia y desplazamiento: El operario podrá disponer de mecanismos y/o componentes de poder para desplazar el reactor o la herramienta de corte con el propósito de perforar hasta donde le sea conveniente los materiales alojados en el interior del reactor. Así como unidades de potencia para producir el movimiento rotario que la herramienta de corte requiera.
6. Coordinación y control del proceso de corte: El banco permite al operario supervisar y controlar el proceso de maquinado del coque y termo pozo cuando se requiera.
7. Remoción del coque residual de la superficie interna del reactor: Los reactores deben quedar completamente libres de partículas de coque, para ello el banco debe contar con una operación que garantice la remoción del coque adherido a las paredes internas del reactor evitando el deterioro de las mismas.
8. Manejo y eliminación de desechos: La remoción del coque y termo pozo genera muchos desechos estos deben ser dispuestos en un lugar para su disposición final evitando ensuciar el lugar donde sea instalado el banco, alargando la vida útil de los equipos y protegiendo al operario.

El desarrollo de estos pasos se hará a partir de un diseño modular que se describirá en el capítulo siguiente.

2. DISEÑO CONCEPTUAL DEL BANCO

El banco de decoquizado estará organizado de acuerdo a las diferentes funciones a realizar que permitan llevar a cabo las tareas de remoción, limpieza y desmonte de la tapa de los reactores como se indica en la figura 13.

Figura 13. Banco de decoquizado.



2.1 MODULO DE ANCLAJE

Función

Garantizar la completa inmovilización de los reactores asegurando una relación concéntrica broca-reactor.

Soportar y estabilizar la pistola neumática para facilitar su accionamiento en la fase de desacople de las tapas WECO 200 y 206.

Requerimientos

En la tabla 7 se muestran los requerimientos mínimos del módulo de anclaje.

Tabla 7. Requerimientos módulo de anclaje

Requerimientos	Especificaciones
Diámetro de sujeción	2 1/2"
Dureza de los elementos en contacto	<< 320 HB
Desacople de las tapas WECO	[4-12] (Nm)
Fuerza de empuje de la broca	[60-120] (kgf)
Peso pistola WUFU	20 kg

Componentes

Teniendo en cuenta los requerimientos necesarios para el módulo se seleccionan los siguientes componentes.

Tabla 8. Lista de componentes módulo de anclaje

Componentes	Descripción	Especificaciones
Tornillo de banco con horquilla	Capacidad del tubo	1/8"-4"
Soporte de tubería de transferencia a bolas	Diámetros de los tubos	2 1/2" - 12"
Soporte deslizante para pistola	Dimensiones	HxWxL 13x12x14 [cms]

2.2 MODULO DE CORTE

Función

Realizar el proceso de remoción de coque junto con el termo pozo de acero inoxidable.

Requerimientos

El módulo debe remover en su totalidad el coque esponjoso y el termo pozo de acero inoxidable alojados al interior del reactor de acero inoxidable ASTM 320.

Tabla 9. Requerimientos módulo de corte.

Requerimientos	Especificaciones
Dureza del petcoke	160 HB
Escala Mohs	3 – 3,5
Masa de coque a remover	[1-2] kg
Dureza del termo pozo (acero inoxidable)	200 HB
Diámetro del termo pozo	5 mm
Longitud del termo pozo	[65 / 95] cms
Espesor del termo pozo	1 mm

Componentes

Para el módulo de corte es necesario realizar la selección de una broca de acuerdo a las dimensiones del interior del reactor y las propiedades mecánicas del material a remover, específicamente los parámetros de dureza y longitud de trabajo.

Para perforaciones de agujeros profundos es recomendable el uso de una broca que realice un agujero guía, que permita orientar concéntricamente la broca de mayor diámetro sin que esta consiga desviarse.

Tabla 10. Lista de componentes módulo de corte.

Componentes	Descripción	Especificaciones
Broca guía	Material a remover	Acero inoxidable austenítico
Broca	Material a remover	Petcoke.
Grata	Cepillo para rectificar superficie interior del reactor	Acero de bajo carbono.
Encastre	Acople para dar una mayor extensión en la broca	Acero 1045

2.3 MODULO DE POTENCIA

Función

Suministrar la potencia requerida por la broca en la fase de remoción del coque al igual que en la fase de desacople de la tapa del reactor teniendo en cuenta el torque y velocidad que demanda cada proceso.

Requerimientos

En la tabla 11 se muestran los requerimientos mínimos del módulo de potencia.

Tabla 11 Requerimientos módulo de potencia.

Requerimientos	Especificaciones
Tensión de alimentación	220 V
Frecuencia	60 Hz
Torque de desacople de la tapa	[35-106] lb.in
Presión de trabajo de la pistola WF-030³	[90 – 145] psi

³ WUFUTOOLS.COM. Ver especificaciones de la pistola neumática WF-30 en el anexo d

Componentes

Tabla 12. Lista de Componentes módulo de potencia

Componentes	Descripción	Especificaciones
Motor trifásico	Siemens Potencia Velocidad Frecuencia	1LA7 111-8YB60 1,5 Hp 900 rpm 60 Hz
Pistola Neumática WUFU WF-030	Presión de trabajo Torque máx. Velocidad libre	[90 – 145] psi 2500 N.m 45000 rpm

2.4 MODULO DE TRANSPORTE

Función

Desplazar el reactor longitudinalmente.

Requerimientos

El desplazamiento del reactor tiene en cuenta el rango de velocidades de avance y corte de las brocas recomendadas por el fabricante y la fuerza de empuje necesaria para mantener en contacto la herramienta de corte con el material a remover.

Un rango de carga radial en los rodamientos con un valor máximo de 70 lb según sea la posición del carro* y un rango de carga axial con un valor máximo de 120 lbs ejercidas por la fuerza de empuje, generada en la perforación del material de trabajo y la broca.

* Carro. Corresponde al conjunto de componentes que intervienen en la ruta de movimiento de material de trabajo.

Tabla 13. Requerimientos módulo de transporte.

Requerimientos	Especificaciones
Rango de velocidades de avance	[21-229] mm/min
Fuerza de empuje broca (Ff)	[8-121] lbs

Componentes

El módulo de transporte está conformado por un tornillo sin fin de accionamiento manual, convirtiendo el movimiento giratorio de un volante en un desplazamiento de avance lineal del reactor.

Tabla 14. Lista de Componentes módulo de transporte.

Componentes	Descripción	Especificaciones
Tornillo sin fin	Material	Acero 1045
Bujes	Material	Acero- bronce
Husillo	Material Rosca Acme	Acero 1045 1.5"x0.25"
Rodamiento rígido de bolas	Referencia SKF	6205
Eje guía	Material	Acero 1045

2.5 MODULO DE CONTROL

Función

Controlar, coordinar y proteger los componentes que intervienen en la fase de perforación.

Requerimientos

Para realizar la limpieza de los reactores con longitudes de 95 y 65 cms, el módulo requiere de un sensor que indique el final del recorrido de perforación evitando el contacto entre la superficie interna del reactor y la broca.

Componentes

El accionamiento del motor se realiza por medio de pulsadores de marcha y parada, también cuenta con una parada de emergencia visible y de fácil acceso.

El panel de control cuenta con componentes que protegen el motor eléctrico de sobre picos de corriente en el sistema.

Tabla 15. Lista de Componentes módulo de control.

Componentes	Descripción	Especificaciones
Panel de control	Pulsadores Pilotos luminosos	On-Off Parada de emergencia
Guarda motor – Contactor	Regulación	[5,5-8]A
Interruptor termo magnético	Bipolar Tripolar	10 A 10 A
Final de carrera	Vástago de rodillo	Contacto directo

2.6 MODULO ESTRUCTURAL Y DE PROTECCION

Función

Soportar y proteger los componentes que intervienen en las fases de desacople y limpieza del reactor, al igual que contrarrestar las vibraciones producidas por los componentes mecánicos que intervienen en el proceso.

Requerimientos

En la tabla 16 se muestran los requerimientos mínimos del módulo estructural.

Tabla 16. Requerimientos módulo estructural y de protección.

Requerimientos	Especificaciones
Limitaciones del espacio de decoquizado	Alto x Largo x Ancho 2x10x4
Carga a soportar	300 kg
Frecuencia de excitación de la vibración.	15 Hz
Torque de desacople de la tapa	[35-106] lb.in
Torque de accionamiento del volante	10 lbs.in

Componentes

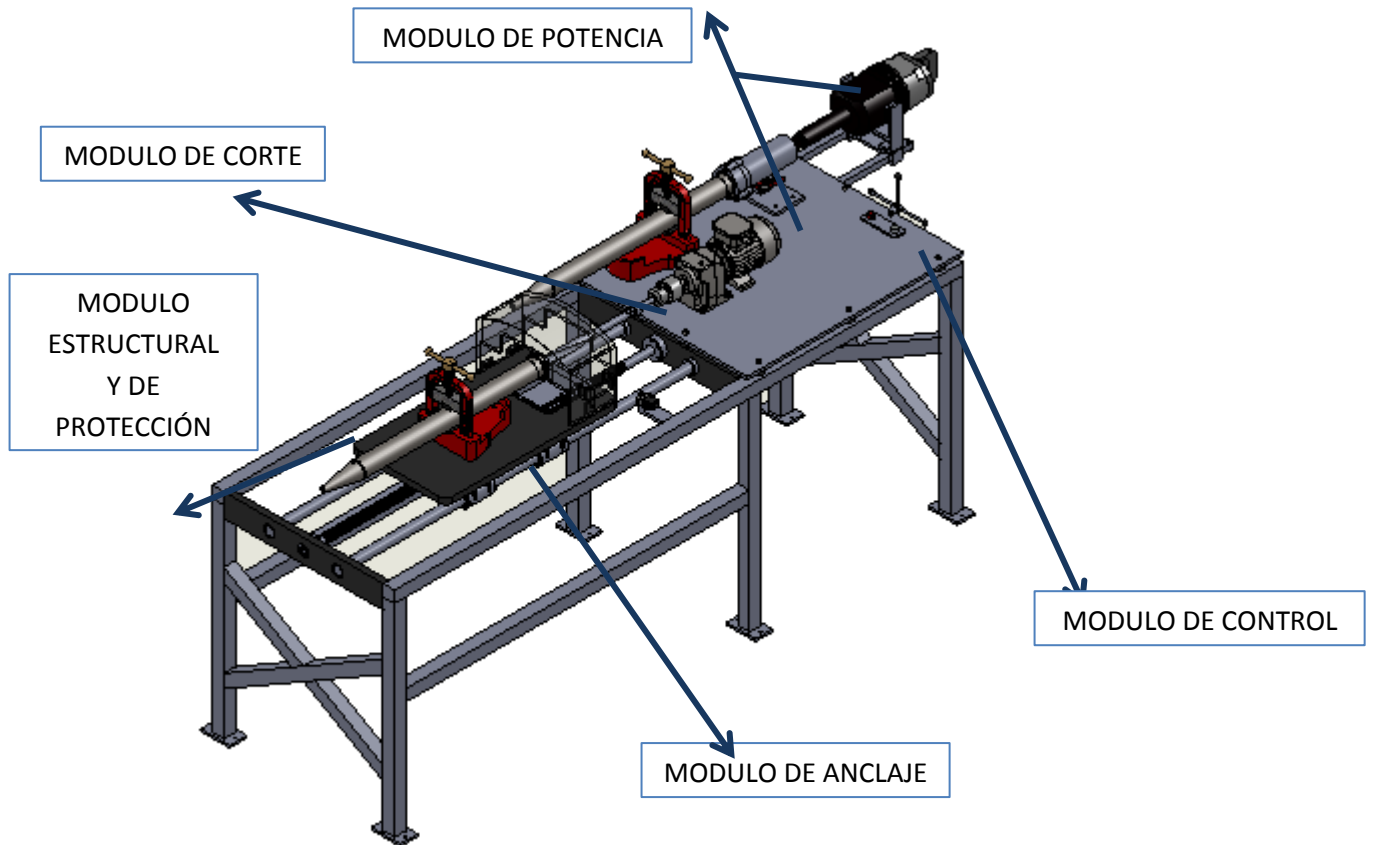
En la tabla 17 se muestran los componentes empleados en el módulo estructural.

Tabla 17. Lista de Componentes módulo estructural y de protección.

Componentes	Descripción	Especificaciones
Tubería perfil cuadrada	Material Dimensiones	Acero estructural 2"x 2"
Laminas	Material Calibres	Hot rolled 1/2", 1", 1 1/2"
Cubierta de protección	Material	acrílico
Aisladores anti vibratorios	Material	Caucho

2.7 BANCO MODELO DE DECOQUIZADO

Figura 14. Banco modelo de decoquizado.



3. DISEÑO DE DETALLE DE LOS MODULOS

En este capítulo se seleccionaran los componentes que cumplan con los requerimientos de diseño y especificaciones necesarias, mencionadas en el diseño conceptual, para ello se realiza el diseño y cálculo en detalle, teniendo en cuenta las interacciones entre módulos con el propósito de garantizar un correcto desempeño del banco.

3.1 MODULO DE CORTE

En este módulo inicia el proceso de diseño y cálculo del banco. Con el propósito de remover el material de trabajo del interior del reactor que comprende una la longitud de trabajo máxima de aproximadamente 95 cm, se tuvo en cuenta por recomendación de fabricantes el taladrado de un agujero guía.

De esta manera se realiza la selección de tres brocas, una de ellas se encarga de la remoción del acero inoxidable del que está compuesto el termo pozo y parte de coque y a su vez sirve como broca guía para la segunda broca que posee una mayor longitud de trabajo, con ella es posible remover el acero inoxidable en su totalidad. Posteriormente la tercera broca lleva a cabo únicamente la remoción del petcoke obtenido en el proceso de coquización retardada. Finalmente se retira el coque adherido de la superficie interna del reactor por medio de una grata de acero.

3.1.1 Broca guía

3.1.1.1 Selección de la broca guía: La selección de esta broca se realizó con la finalidad de remover el acero inoxidable del interior del reactor y preparar el

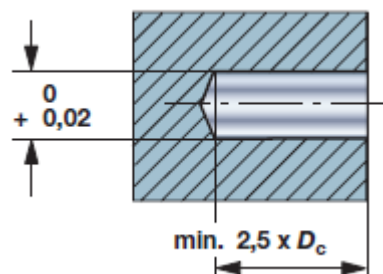
agujero guía que evite la desviación de la broca cañon de la línea central. Para este paso se deben tener en cuenta las siguientes condiciones de trabajo:

- Materiales a perforar: Termo pozo de acero inoxidable y coque
- Geometría del material de trabajo: cilíndrica
- Espesor del termo pozo: 1 mm
- Longitud de trabajo máxima: 950 mm
- Diámetro mínimo del agujero: 6 mm
- Método para producir el agujero guía

El procedimiento para producir el agujero guía debe efectuarse como se indica a continuación:

El agujero guía debe tener una longitud mínima de 2,5 veces el diámetro de corte y un diámetro con una tolerancia H7 como se ilustra en la figura 15.

Figura 15. Agujero guía.








Fuente: SANDVIK. Agujero guía. [en línea] disponible en: <http://www.sandvik.coromant.com>.

Siguiendo el catálogo de selección de herramientas para taladrado del fabricante Sandvik, se escoge en el primer cuadrante, el diámetro de corte que se requiere (> 5 mm), luego se tiene en cuenta la profundidad de taladrado que para el caso del agujero guía debe ser mayor a $2,5 \times D_c$. Es una prioridad la alineación de la broca cañon por lo que se considera seleccionar la mayor

longitud de trabajo posible de la broca guía. Por último se verifica que el material a taladrar corresponde al acero inoxidable⁴.

Figura 16. Guía y selección de herramientas.

	CoroDrill® 861 Brocas enterizas de metal duro	CoroDrill® 862 Brocas enterizas de metal duro
Página	E27	E34
D_c mm	3.0-14.0	1.85-2.95
D_c pulgadas	.1181-.5512	.0728-.1161
	 861.1	 862.1
Profundidad de taladrado	12 - 30 x D_c	8 - 12 x D_c
Material		
Tolerancia de agujero	IT8 - IT9	IT8 - IT9
Acabado superficial Ra	1 -2 40-75 μ inch (pulgadas)	1 -2 40-75 μ inch (pulgadas)
 Taladrado en general

... =Muy buena
 .. = Buena
 . =No recomendada

Fuente: <http://www.sandvik.coromant.com/es-es/products/pages/default.aspx>

Se seleccionó la broca Corodrill 861 de acuerdo a las especificaciones dadas como se ilustra en la figura 3.2

⁴ Clasificación ISO de grupos de materiales. ISO M corresponde al acero inoxidable.

Teniendo en cuenta los pasos del catálogo Sandvik de taladrado se selecciona la broca con el siguiente código:

861.1-1200-240 A1- GM

Este código hace referencia a las especificaciones de la broca enteriza de metal duro seleccionada, Corodril 861.1 como se muestra en la figura anterior

Finalmente del catálogo se obtienen los rangos recomendados de velocidades de corte (V_c) y avances (f_n) como se ilustra en la figura 17.

Figura 17. Recomendaciones sobre datos de corte.

ISO	Núm. MC	N.º CMC	Material	Dureza Brinell (HB)	Velocidad de corte (V_c) m/min		Diámetro de broca D_c f_n mm/rev.		
					Min.	Máx.	Min.	Máx.	
P	P1.1.Z.AN	01.1	Acero no aleado C=0.10-0.25%	125	72	140	0.20	0.28	
	P1.2.Z.AN	01.2	C=0.25-0.55%	190	72	140	0.20	0.28	
	P2.2.Z.AN	02.1	Acero de baja aleación Recocido	240	58	135	0.20	0.28	
	P2.5.Z.HT	02.2	Endurecido y templado	330	58	135	0.20	0.28	
	P3.0.Z.AN	03.11	Acero de alta aleación Recocido	200	58	135	0.20	0.28	
	P4.0.S.NS		Aceros sinterizados	150	72	119	0.20	0.28	
	P5.1.Z.AN	05.11 /15.11	Acero inoxidable Ferrítico/martensítico	200	19	108	0.20	0.28	
	M	M1.0.Z.AQ	05.21/15.21	Acero inoxidable Austenítico	200	19	38	0.13	0.20
		M2.0.Z.AQ	05.21/15.21	Superaustenítico Ni≥20%	200	19	33	0.13	0.20
		M3.2.Z.AQ	05.52/15.52	Dúplex (austenítico/ferrítico)	260	19	28	0.13	0.20

Fuente: SANDVIK.COROMANT. Herramientas de torneado. [en línea] disponible en: <http://www.sandvik.coromant.com/es-es/products/pages/default.aspx>

En la tabla 18 se resumen los datos de las especificaciones de la broca guía Sandvik.

Tabla 18. Especificaciones de la broca guía.

Parámetro	código	descripción
Tipo de herramienta	861.1	Corodrill
Diámetro de corte	1200	12 mm
Longitud total	240	240 mm
Tipo de acoplamiento	A	Mango cilíndrico
Modelo de entrada del refrigerante	1	con orificio
grupo de materiales	GM	mecanizado medio
Calidad de la broca	GC 34	ver anexo A
Rango de velocidades de corte	V_c	[19 – 38] m/min
Rango de velocidades de avance	f_n	[0,13 – 0,2] mm/rev

3.1.1.2 Cálculo de los parámetros de corte de la broca guía. De acuerdo con las especificaciones de la broca guía, existen valores mínimos y máximos de operación recomendados por el fabricante. Los valores mínimos corresponden a la velocidad de corte $v_c = 19 \frac{m}{min}$ y avance por revolución de $f_n = 0,13 \frac{mm}{rev}$ y para los valores máximos se tiene $v_c = 38 \frac{m}{min}$ y $f_n = 0,2 \frac{mm}{rev}$.

Tabla 19. Parámetros de corte de la broca guía.

Parámetro	Ecuación	Valores mínimos	Valores máximos
Velocidad de corte	V_c	$19 \frac{m}{min}$	$38 \frac{m}{min}$
Velocidad del husillo	$N = \frac{1000 * v_c}{\pi * D_c}$	504 rpm	1008 rpm
Velocidad de arranque de viruta	$Q = \frac{V_c * f_n * D_c}{4}$	$7,4 \frac{cm^3}{min}$	$22,8 \frac{cm^3}{min}$
Avance por revolución	f_n	$0,13 \frac{mm}{rev}$	$0,2 \frac{mm}{rev}$
Avance por filo	$f_z = \frac{f_n}{2}$	$0,065 \frac{mm}{rev}$	$0,1 \frac{mm}{rev}$
Velocidad de penetración	$V_f = f_n * N$	$65,5 \frac{mm}{min}$	$202 \frac{mm}{min}$
Longitud de mecanizado	L_m	258 mm	258 mm
Tiempo de mecanizado	$T_c = \frac{L_m}{V_f}$	4 min	1,3min
Potencia neta	$P_c = \frac{f_n * V_c * D_c * K_c}{240 * 10^3}$	0,1 Kw	0,2 Kw

Parámetro	Ecuación	Valores mínimos	Valores máximos
Par	$M_c = \frac{P_c * 30 * 10^3}{\pi * N}$	0,8 Nm	1,2 Nm
Fuerza específica de corte del acero Inoxidable	$K_{c1,steel}$	$2000 \frac{N}{mm^2}$	$2000 \frac{N}{mm^2}$
Ángulo de filo de corte	K_r	70°	70°
Fuerza específica de corte acero*	$K_{c,steel} = K_{c1,steel} * (f_z * \sin(K_r))^{-m_o} \left[1 - \frac{Y_o}{100}\right]$	$976 \frac{N}{mm^2}$	$976 \frac{N}{mm^2}$
Fuerza específica de corte ponderada	$\bar{K}_c = C_{steel} * K_{c,steel} + C_{coke} * K_{c,coke}$	$335 \frac{N}{mm^2}$	$335 \frac{N}{mm^2}$
Fracción de área de corte del coque	$C_{coke} = \frac{A_{corte,coke}}{A_{corte broca}}$	0,83	0,83
Fracción de área de corte del acero	$C_{steel} = \frac{A_{corte,acero}}{A_{corte broca}}$	0,17	0,17
Fuerza de avance neta	$F_f = 0,5 * \bar{K}_c * \frac{D_c}{2} * f_n * \sin(K_r)$	117 N	190 N

3.1.2 Broca cañón

3.1.2.1 Selección de la broca cañón. La selección de la broca cañón se realizó con la finalidad de remover el acero inoxidable restante y parte del coque.

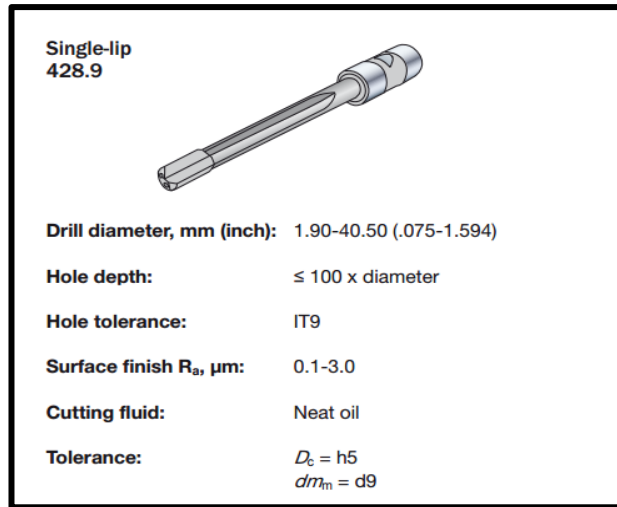
Para este paso se deben tener en cuenta las siguientes condiciones de trabajo:

- Materiales a perforar: Termo pozo de acero inoxidable y coque
- Geometría del material de trabajo: cilíndrica
- Espesor del termo pozo: 1 mm
- Longitud de trabajo máxima: 950 mm
- Diámetro mínimo del agujero: 6 mm

Siguiendo el catálogo para brocas cañón de Sandvick donde se tiene en cuenta el diámetro de corte, la profundidad de corte y el material a perforar se seleccionó la broca Gun Drill Single- lip 428.9 como se ilustra en la figura 18

* Para determinar los parámetros de la fuerza específica de corte ($m_o, K_{c1,steel}$). Ver anexo A.3

Figura 18. Guía y selección de herramientas.



Fuente: SANDVIK.COROMANT. products pages de fault. [en línea] disponible en: <http://www.sandvik.coromant.com/es-es/products/pages/default.aspx>

Teniendo en cuenta los pasos del catálogo Sandvik se selecciona la broca cañón con el siguiente código:

428.9-12500-1200-020-002

Este código hace referencia a las especificaciones de la broca cañón de metal duro seleccionada, Gun Drill 428.9 como se muestra en la tabla 20.

Finalmente del catálogo se obtienen los rangos recomendados de velocidades de corte (V_c) y avances (f_n) como se ilustra en la figura 19.

Figura 19. Datos de corte para broca cañón 428.9.

ISO	Núm. MC (Núm. CMC)	Material	Fuerza de corte específica k_s N/mm ²	Dureza Brinell HB	Velocidad de corte v_c m/min	Diám. de taladrado, mm			
						0.98-3.00	3.00-6.30	6.00-12.50	12.50-40.50
						Avance f_n mm/r			
P	P1.1.Z.AN (01.1)	No aleado No templado 0,10-0,25% C	1500	90-200	60-120	0.003-0.010	0.005-0.030	0.015-0.065	0.020-0.110
	P1.2.Z.AN (01.2)	No templado 0,25-0,55% C	1600	125-225	50-120	0.003-0.010	0.005-0.030	0.015-0.065	0.020-0.110
	P1.3.Z.AN (01.3)	No templado 0,55-0,80% C	1700	150-250	40-100	0.003-0.010	0.004-0.025	0.010-0.060	0.020-0.100
	P2.1.Z.AN (02.1)	Acero de baja aleación No templado	1700	150-260	40-120	0.003-0.010	0.004-0.030	0.010-0.065	0.020-0.110
	P2.5.Z.HT (02.2)	Endurecido y templado	1900	220-450	40-120	0.003-0.010	0.004-0.025	0.010-0.060	0.020-0.100
	P3.0.Z.AN (03.11)	Acero de alta aleación Fluocido	1950	150-250	40-100	0.003-0.010	0.004-0.025	0.010-0.060	0.020-0.100
	P3.0.Z.HT (03.21)	Acero de herra. templado	2000	250-350	50-100	0.003-0.010	0.005-0.025	0.015-0.060	0.030-0.100
	P1.5.C.UT (06.1)	Fundición No aleado	1400	90-225	50-120	0.003-0.010	0.005-0.030	0.015-0.065	0.020-0.110
	P2.6.C.UT (06.2)	Baja aleación (alementos de aleación < 5%)	1600	150-250	40-100	0.003-0.010	0.004-0.025	0.010-0.060	0.020-0.100
	M	P5.0.Z.AN (5.11)	Laminado/forjado Ferrítico/martensítico, no endurecido	1800	150-270	40-90	0.003-0.008	0.004-0.025	0.010-0.040
M1.0.Z.A2 (05.21)		Austenítico	1950	150-275	40-90	0.003-0.008	0.004-0.025	0.010-0.040	0.020-0.100

Fuente: SANDVIK.COROMANT. products pages de fault. [en línea] disponible en: <http://www.sandvik.coromant.com/es-es/products/pages/default.aspx>

Tabla 20. Especificaciones de la broca cañón.

Parámetro	código	descripción
Tipo de herramienta	428.9	Broca cañón mono-labio
Diámetro de corte	12500	12,5 mm
Longitud total	1200	1200 mm
Tipo de acoplamiento	020	Mango cilíndrico
Rango de velocidades de corte	V_c	[40 – 90] m/min
Rango de velocidades de avance	f_n	[0,02 – 0,1] mm/rev

3.1.2.2 Cálculo de los parámetros de corte de la broca cañón: De acuerdo con las especificaciones de la broca cañón, existen valores mínimos y máximos de operación recomendados por el fabricante. Los valores mínimos corresponden a la velocidad de corte $v_c = 40 \frac{m}{min}$ y avance por revolución de $f_n = 0,02 \frac{mm}{rev}$ y para los valores máximos se tiene $v_c = 90 \frac{m}{min}$ y $f_n = 0,1 \frac{mm}{rev}$.

Tabla 21. Parámetros de corte de la broca cañón.

Parámetro	Ecuación	Valores mínimos	Valores máximos
Velocidad de corte	V_c	$40 \frac{m}{min}$	$90 \frac{m}{min}$
Velocidad del husillo	$N = \frac{1000 * v_c}{\pi * D_c}$	1019 rpm	2292 rpm
Profundidad de corte	a_p	4,75mm	4,75mm
Velocidad de arranque de viruta	$Q = a_p * f_n * \frac{V_{cmax} - V_{cmin}}{2}$	$2,375 \frac{cm^3}{min}$	$11,9 \frac{cm^3}{min}$
Avance por revolución	f_n	$0,02 \frac{mm}{rev}$	$0,1 \frac{mm}{rev}$
Velocidad de penetración	$V_f = f_n * N$	$20,37 \frac{mm}{min}$	$229 \frac{mm}{min}$
Longitud de mecanizado	L_m	700 mm	700 mm
Tiempo de mecanizado	$T_c = \frac{L_m}{V_f}$	34,4 min	3 min
Fuerza específica de corte acero inoxidable	K_{cfz}	$2600 \frac{N}{mm^2}$	$2600 \frac{N}{mm^2}$
Fuerza específica de corte ponderada	$\bar{K}_c = C_{steel} * K_{cfz} + C_{coke} * K_{c,coke}$	$584 \frac{N}{mm^2}$	$584 \frac{N}{mm^2}$
Fracción de área de corte del coque	$C_{coke} = \frac{A_{Corte,coke}}{A_{Corte broca}}$	0,83	0,83
Fracción de área de corte del acero	$C_{steel} = \frac{A_{Corte,acero}}{A_{Corte broca}}$	0,17	0,17
Fuerza específica de corte del coque	$K_{c,coke}^5$	$200 \frac{N}{mm^2}$	$200 \frac{N}{mm^2}$
Potencia neta promedio	$\bar{P}_c = \frac{f_n * V_c * D_c * \bar{K}_c}{240 * 10^3} * 1,34$	0,033 Kw	0,37 Kw
Par	$M_c = \frac{D_c * f_n * \bar{K}_c * a_p}{2000 * 10^3} \left(1,17 - \frac{a_p}{D_c} \right)$	0,3 Nm	1,4 Nm
Fuerza de avance promedio	$\bar{F}_f = 0,65 * a_p * f_n * \bar{K}_c * \sin(K_r)$	32 N	157 N
Fuerza de avance coque	$F_{f,coke} = 0,65 * a_{p,coke} * f_n * K_{c,coke} * \sin(K_r)$	6 N	28 N

* La fuerza específica de corte se estimó como se indica en el anexo

Parámetro	Ecuación	Valores mínimos	Valores máximos
Fuerza de avance acero	$F_{f,steel} = 0,65 * a_{p,steel} * f_n * K_{cfz} * \sin(K_r)$	30 N	147 N
Fuerza de avance neta	$F_f = F_{f,coke} + F_{f,steel}$	36 N	175 N
Angulo de filo de corte	K_r	60°	60°

3.1.3 Broca para rocas. De acuerdo con las pruebas realizadas en el petcoke se estimó que las propiedades de corte necesarias para su maquinado estarían por debajo de materiales como rocas y por lo tanto para el concreto. Estas propiedades corresponden a la fuerza específica de corte y características de alta resistencia a la compresión y baja resistencia a los esfuerzos de corte.

3.1.3.1 Selección de la broca para petcoke: La selección de la broca se realizó con la finalidad de remover el petcoke restante del interior del reactor.

Para este paso se deben tener en cuenta las siguientes condiciones de trabajo:

- Material a perforar: petcoke
- Geometría del material de trabajo: cilíndrica
- Longitud de trabajo máxima: 950 mm
- Dureza del material: 30 HGI - [45-55 HB].

De esta manera se selecciona la broca Bosch Quadro-x HC5073 con punta de carburo que ofrece una amplia vida útil en aplicaciones como concreto, roca caliza y roca natural. Su punta céntrica garantiza arranques rápidos en concreto y presenta una marca de desgaste como medida de alerta al usuario cuando la punta se desgasta más allá de las especificaciones dadas por la ANSI. Esta broca cuenta con alta resistencia térmica ya que presenta estrías que evitan su calentamiento.

Tabla 22. Especificaciones de la broca Bosch.

Parámetro	código	descripción
Tipo de herramienta	HC	5073
Diámetro de corte	Dc	32 mm
Longitud total	Overall length	920 mm
Longitud útil	Usable length	800 mm
Recubrimiento	SDS máx.	CTi
Angulo de ataque	γ	30°
Rango de velocidades de corte	V_c	[80 – 100] m/min
Rango de velocidades de avance	f_n	[0,1 – 0,2] mm/rev

3.1.3.2 Cálculo de los parámetros de corte de la broca Bosch. De acuerdo con las especificaciones de la broca Bosch, existen valores mínimos y máximos de operación recomendados por el fabricante. Los valores mínimos corresponden a la velocidad de corte $v_c = 80 \frac{m}{min}$ y avance por revolución de $f_n = 0,1 \frac{mm}{rev}$ y para los valores máximos se tiene $v_c = 100 \frac{m}{min}$ y $f_n = 0,2 \frac{mm}{rev}$.

Tabla 23. Parámetros de corte de la broca Bosch.

Parámetro	Ecuación	Valores mínimos	Valores máximos
Velocidad de corte	V_c	$80 \frac{m}{min}$	$100 \frac{m}{min}$
Velocidad del husillo	$N = \frac{1000 * v_c}{\pi * D_c}$	796 rpm	995 rpm
Velocidad de arranque de viruta	$Q = \frac{V_c * f_n * D_c}{4}$	$64 \frac{cm^3}{min}$	$160 \frac{cm^3}{min}$
Avance por revolución	f_n	$0,1 \frac{mm}{rev}$	$0,2 \frac{mm}{rev}$
Avance por filo	$f_z = \frac{f_n}{2}$	$0,05 \frac{mm}{rev}$	$0,1 \frac{mm}{rev}$
Velocidad de penetración	$V_f = f_n * N$	$80 \frac{mm}{min}$	$200 \frac{mm}{min}$
Longitud de mecanizado	L_m	950 mm	950 mm
Tiempo de mecanizado	$T_c = \frac{L_m}{V_f}$	12 min	5 min

Parámetro	Ecuación	Valores mínimos	Valores máximos
Potencia neta	$P_c = \frac{f_n * V_c * D_c * K_c}{240 * 10^3}$	0,2 Kw	0,5 Kw
Par	$M_c = \frac{P_c * 30 * 10^3}{\pi * N}$	2,6 Nm	5,12 Nm
Fuerza de avance	$F_f = 0,5 * K_c * \frac{D_c}{2} * f_n * \sin(K_r)$	150 N	300 N
Fuerza específica de corte del coque	K_c	$200 \frac{N}{mm^2}$	$200 \frac{N}{mm^2}$
Ángulo de filo de corte	K_r	70^0	70^0

3.2 MODULO DE POTENCIA

En este módulo se realiza la selección del motor del banco de decoquizado

3.2.1 Requerimientos. De acuerdo con los parámetros máximos de potencia y el par de operación obtenidos por cada broca en la fase de corte.

Tabla 24. Torque y potencia máximos de operación.

Herramienta	Par Max [Nm]	rpm [Min-Max]	Potencia Max [Kw]
Broca guía Sandvik	1,2 Nm	[504 – 1008]	0,2 Kw
Broca Cañón Sandvik	1,4 Nm	[1019 – 2292]	0,37 Kw
Broca Bosch	5,12 Nm	[796 – 995]	0,5 Kw

Teniendo en cuenta los valores de la tabla 24 se efectúa la selección del motor trifásico para un par máximo de 5,12 Nm y una potencia de 0,5 Kw (P_{Max}) con el catálogo del fabricante Siemens.

Figura 20. Tabla de selección del motor.

	Referencia	Nivel de eficiencia	Tamaño Constructivo	Potencia		Eficiencia η %	FS	Corriente (A)		Peso Kg
				HP	KW			220V	440V	
VELOCIDAD 900 RPM (8 polos)										
100138956	1LA7 083-8YA60	-	80	0,5	0,4	45,0	1,15	2,6	1,3	10
100139038	1LA7 090-8YB60	-	90 L	0,75	0,6	56,5	1,15	4,0	2,0	15
100139037	1LA7 096-8YB60	-	90 L	1	0,7	60,2	1,15	5,0	2,5	15
100139039	1LA7 111-8YB60	-	112 M	1,5	1,1	66,1	1,15	7,4	3,7	27
100139040	1LA7 112-8YB60	-	112 M	2	1,5	66,4	1,15	9,4	4,7	29
100139003	1LA7 130-8YB70	-	132 S/M	3	2,2	62,1	1,00	15,0	7,5	57
100138999	1LA7 133-8YB70	-	132 S/M	4	3,0	73,1	1,00	17,0	8,5	45
100139041	1LA7 161-8YB70	-	160 M/L	5	3,7	78,2	1,15	18,4	9,2	78
100139044	1LA7 164-8YC70	-	160 M/L	7,5	5,6	83,0	1,15	26,0	13,0	85
100139111	1LA7 165-8YB70	-	160 M/L	10	7,5	78,8	1,15	36,0	18,0	95
100139181	1LA5 185-8YB80	-	180 M/L	15	11,2	84,0	1,15	46,0	23,0	190
100139182	1LA5 186-8YA80	-	180 M/L	20	14,9	83,5	1,15	66,0	33,0	190
100139031	1LA5 207-8YA80	-	200 L	30	22,4	93,0	1,15	87,0	43,5	210

Fuente: SIEMENS [en línea] disponible en:

<http://www.industry.siemens.com/home/aan/es/Colombia>.

De la figura 3,6 se tienen los siguientes datos del motor:

$$\eta_{eff} = 0,661 \quad \text{Eficiencia del motor.}$$

$$P_{nominal} = 1,5[Hp] = 1,12 [Kw]$$

Por lo tanto la potencia máxima de operación requerida del motor será:

$$N_s = 1,3 \quad \text{Factor de seguridad en el mecanizado.}$$

$$P_{ope} = \frac{P_{Max}}{\eta_{eff}} * N_s = \frac{0,5 Kw}{0,661} * 1,3 = 1 Kw$$

$$P_{ope} = 1,3 [Hp]$$

$$T_{ope} = \frac{P_{ope}}{rpm} * k = \frac{1 Kw}{900} * 5550 = 6,2 [Nm] \quad \text{Torque máx. de operación.}$$

El torque nominal disponible del motor seleccionado será:

$$T_{nominal} = \frac{P_{nominal}}{rpm} * k = \frac{1,12 Kw}{900} * 5550 = 6,91 [Nm]$$

Por lo tanto la selección del motor 1LA7 111-8YB60 de 1,5 [Hp] y 900 [rpm] cumple con los requerimientos de operación del banco. Es importante anotar que el rango de velocidades de la Broca Cañón Sandvik corresponde a valores (V_c) recomendados para materiales de acero inoxidable austenítico (tipo M) y teniendo en cuenta que el diámetro de corte aplica en su mayoría sobre el coque es factible el uso de unas velocidades de corte ligeramente más bajas.

Estos valores serán corroborados en las pruebas físicas. De esta manera se consigue unificar una velocidad de operación que se ajusta a las recomendaciones dadas por los fabricantes para cada una de las brocas facilitando la puesta en marcha de cada una de las tres operaciones de taladrado.

3.3 MODULO DE TRANSPORTE

En este módulo se realiza el diseño y selección de los componentes involucrados en la movilidad del carro con su respectivo análisis CAD-CAE.

El propósito del módulo es soportar y desplazar el carro de forma rápida, segura y de fácil accionamiento en los rangos de operación que demanda el proceso de corte en la limpieza de los reactores de diferentes longitudes.

3.3.1 Diseño tornillo de potencia

- Selección de la rosca

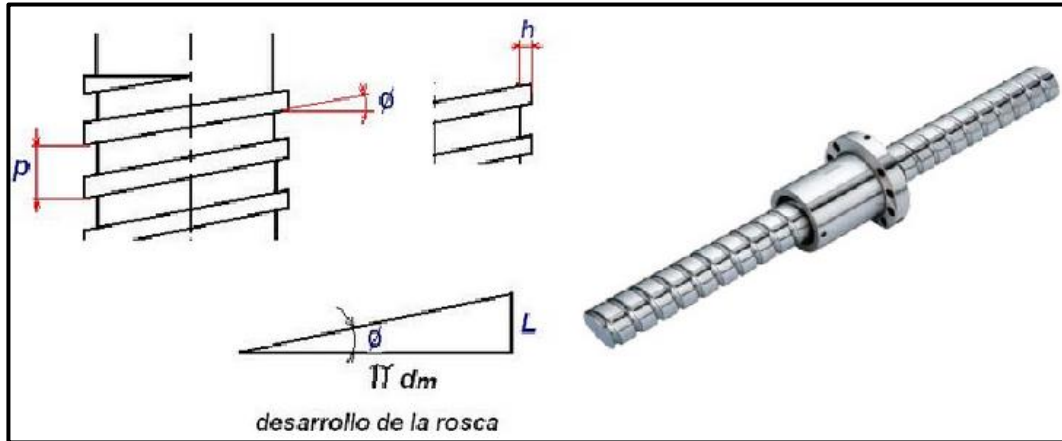
Las roscas cuadradas y ACME son las más utilizadas para este tipo de aplicaciones. Aunque las roscas cuadradas tienen una mayor eficiencia en la transmisión de la carga, se seleccionó la rosca tipo ACME por su fácil manufactura y mayor resistencia estructural.

- Material

Se seleccionó el acero 1045 laminado en caliente para la fabricación del tornillo por su fácil maquinado y buenas propiedades mecánicas como se muestra en el anexo C.

Cálculos del tornillo

Figura 21. Tornillo de potencia rosca Acme.



Fuente: GIIS [en línea] disponible en: <http://www.giis.com.ar>

Se efectuarán los cálculos del tornillo de potencia de acuerdo a los siguientes parámetros de entrada de la rosca como se muestra en la tabla 25

Tabla 25. Parámetros de entrada de la rosca

Parámetro	Variable	Valor
Hilos por pulgada	h	4 hilos/in
Diámetro paso	d_p	1,375 in
Diámetro de raíz	d_r	1,25 in
Paso	p	0,25 in
Área de esfuerzo	A_s	1,353 in ²
Número de entradas	n	1
Angulo de hélice	α	14,5°

En la tabla 26 se muestra el cálculo del torque de subida y bajada junto con la eficiencia del tornillo de potencia.

Tabla 26. Cálculo de torques y eficiencia del tornillo.

Parámetro	Ecuación	Valores
Avance	$L = p * n$	$0,25 \frac{in}{rev}$
Ángulo de avance	$\tan \lambda = \frac{L}{\pi d_p}$	4°
Carga máxima a vencer	W	94 lbs
Torque de subida	$T_u = W_u \frac{d_p}{2} \left[\frac{\mu_r \pi d_p - L \cos \alpha}{\pi d_p \cos \alpha - \mu_r L} \right]$	$13,2 \text{ lbin}$
Torque de bajada	$T_d = W_d \frac{d_p}{2} \left[\frac{\mu_r \pi d_p - L \cos \alpha}{\pi d_p \cos \alpha - \mu_r L} \right]$	2 lbin
Rpm máx. de operación	$N_{max} = \frac{V_{f,max}}{p * 25,4}$	37 rpm
Rpm min. de operación	$N_{min} = \frac{V_{f,min}}{p * 25,4}$	4 rpm
Eficiencia	$\eta = \frac{W * L}{2 * \pi * T_u}$	$0,28$

Con el valor del torque máximo requerido para desplazar el carro se calculan las dimensiones del volante que faciliten su accionamiento manual.

$$T_u = D_{volante} * F_{humano}$$

Por ergonomía se selecciona un $D_{volante} = 8 [in]$.De la anterior formula se obtiene la fuerza máxima que debe realizar el operario para desplazar el carro.

$$F_{humano} = \frac{T_u}{D_{volante}} = \frac{13,2 \text{ lbin}}{8 \text{ in}}$$

$$F_{humano} = 1,7 \text{ lbs}$$

Cálculo del husillo de rosca ACME.

“Para roscas Acme la longitud de barrido de las tuercas mayor a 0,6 veces el diámetro de paso excederá la resistencia a la tensión del tornillo*” (Norton, Robert L. Diseño de máquinas, p.907).

$$k \geq 0,6 \text{ Para roscas Acme con } d_p \geq 1''$$

Con $k = 3$, tenemos que:

$$d_p = 1,375''$$

$$H_{tuerca} = k * d_p = 3 * 1,375''$$

$$H_{tuerca} = 4''$$

Esfuerzos en el tornillo de potencia.

Las principales consideraciones de falla por esfuerzos presentes en los tornillos de potencia y el husillo están dadas por la presión aplastamiento, el esfuerzo por pandeo, esfuerzo de tracción, esfuerzo de corte y flexión de la rosca que se calcularán como se muestra en la tabla 27.

Tabla 27. Cálculo de los esfuerzos en el tornillo

Parámetro	Ecuación	Valores
Altura de la tuerca	L_{tuerca}	4 in
Diámetro de paso	D_p	1,375 in
Diámetro exterior	D_{ext}	1,5 in
Diámetro de raíz	D_r	1,250 in
Área de esfuerzo	A_{esf}	1,353 in ²
Módulo de elasticidad	E	30 * 10 ⁶ psi
Paso	p	0,25 in

* Estas cifras solo son válidas si tanto el tornillo como la tuerca son del mismo material.A

Parámetro	Ecuación	Valores
Carga	W	94 lb
Longitud del tornillo	L_{tornillo}	61 in
Altura del diente	$h = \frac{p}{2}$	0,125 in
Ancho del diente del tornillo	$b_{\text{tornillo}} = w_i * p = 0,77 * 0,25$	0,19
Ancho del diente de la tuerca	$b_{\text{tuerca}} = w_o * p = 0,63 * 0,25$	0,16
Resistencia a la fluencia AISI 1045	S_y	45 ksi
Resistencia a la fluencia AISI 1020	S_y	30 ksi
Longitud equivalente del tornillo	$L_{\text{eff}} = 0,8 * L_{\text{tornillo}}$ AISC recomendada extremo fijo-articulado	49 in
Esfuerzo de corte AISI 1045	S_{ys}	22,5 ksi
Esfuerzo de compresión AISI 1045	S_{yc}	95 ksi
Hilos en contacto	$n(\text{hilos}) = \frac{L_{\text{tuerca}}}{p}$	16
Esfuerzo a compresión del tornillo	$\sigma_c = \frac{w}{A_{\text{esf}}} = \frac{150 \text{ lb}}{1,353 \text{ in}^2}$	70 psi
Área de aplastamiento	$A_{\text{ap}} = \pi * D_p * h * n$	8,64 in ²
Presión de aplastamiento	$\sigma_b = \frac{W}{A_{\text{ap}}}$	10,9 psi
Esfuerzo de flexión en el tornillo	$\sigma_{\text{screw}} = \frac{3 * W * h}{\pi * d_{\text{ext}} * n * b_{\text{tornillo}}^2}$	15,1 psi
Esfuerzo de flexión en la tuerca	$\sigma_{\text{nut}} = \frac{3 * W * h}{\pi * d_r * n * b_{\text{tuerca}}^2}$	18,9 psi
Cortante en la raíz del filete del tornillo	$\tau_{\text{screw}} = \frac{3 * W}{\pi * d_r * n * b_{\text{tornillo}}}$	11,7 psi
Cortante en la raíz del filete de la tuerca	$\tau_{\text{nut}} = \frac{3 * W}{\pi * d_{\text{ext}} * n * b_{\text{tuerca}}}$	12 psi
Área de Euler	$A_{\text{euler}} = \frac{\pi * d_{\text{euler}}^2}{4} = \frac{\pi * 1,375^2}{4}$	1,485 in ²
Inercia	$I = \frac{\pi * d_{\text{euler}}^4}{64}$	0,175 in ⁴

Parámetro	Ecuación	Valores
Radio de giro K_{euler}	$K_{euler} = \sqrt{\frac{I}{A_{euler}}}$	0,344 in ²
Factor de esbeltez Sr_{euler}	$Sr_{euler} = \frac{L_{eff}}{K_{euler}}$	143
Carga máxima P_{crit}	$P_{crit} = \frac{\pi^2 * E * A_{euler}}{Sr_{euler}^2}$	21638 Lb

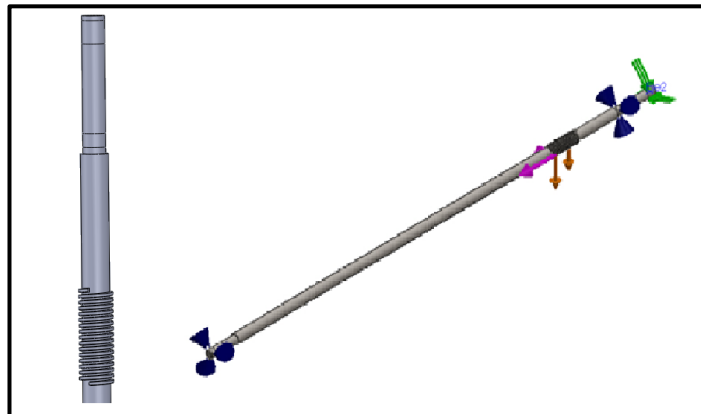
Análisis CAE del tornillo de potencia.

Teniendo en cuenta las dimensiones y propiedades, así como las cargas externas presentes en el tornillo de potencia se preparó un modelo computacional en SolidWorks Simulation basado en el análisis de elementos finitos (FEA). Con este método se determinarán desplazamientos, deformaciones, esfuerzos bajo el criterio de falla de Von Mises y factores de seguridad.

Se define en el análisis el material AISI 1045 con límite de tracción de 625 [Mpa] y límite elástico de 625 [Mpa]. Para el modelo se toma por facilidad de cálculo los hilos en contacto con el husillo y para el resto del tornillo se toma su diámetro interno de $D_{int} = 1,2$ [in]. El tornillo en ambos extremos presenta un cambio de sección a un diámetro de 1 [in] para el acople de los rodamientos.

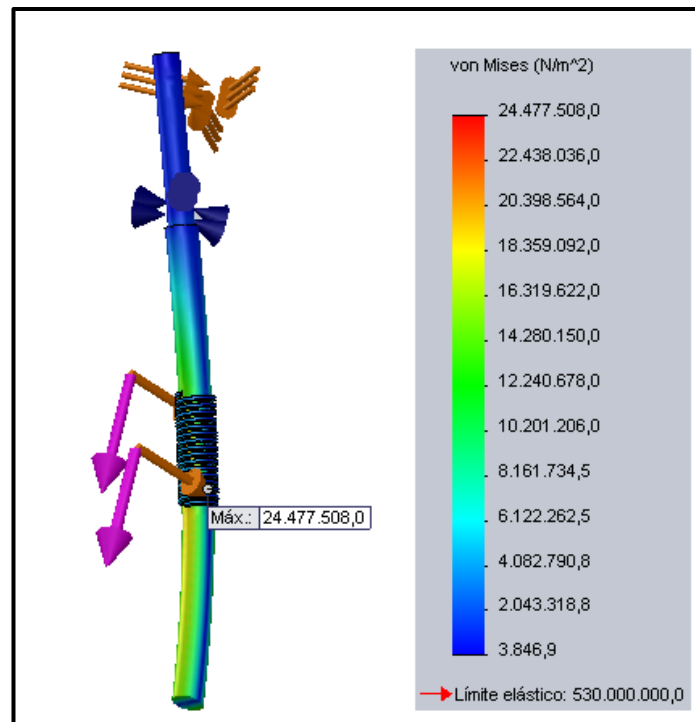
En la figura 22 se muestra la carga radial de -300 [N] actuando sobre el diámetro de paso de la rosca y solo sobre el número de hilos en contacto entre el husillo y tornillo producida por el peso de los componentes. También se ubica sobre esta sección roscada la fuerza de empuje de -150 [N] en dirección contraria al desplazamiento del carro. En los extremos del modelo se ubican las cargas respectivas de los rodamientos como sujeción rígida. Finalmente en uno de sus extremos se produce un par torsor entre el acople que une el eje motriz con la sección de menor diámetro del tornillo de magnitud 1.5 [Nm].

Figura 22. Análisis CAE tornillo de potencia, fuerzas aplicadas y malla



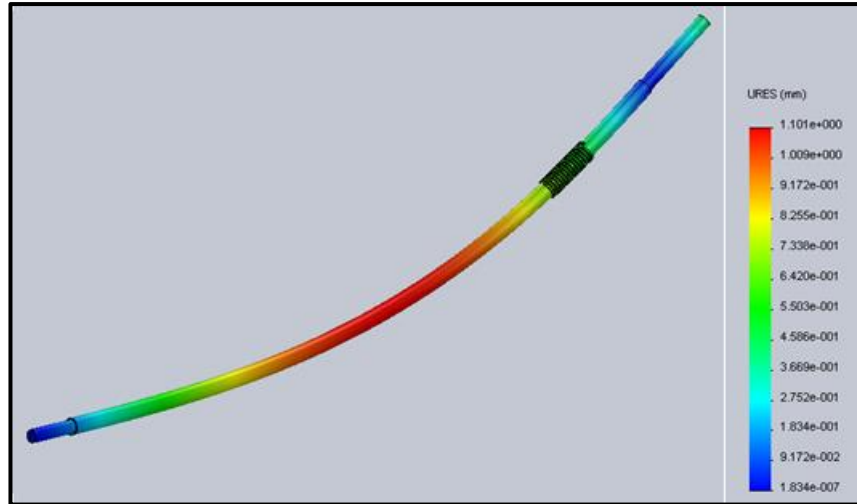
En la figura 23 se muestra la distribución de los esfuerzos a través de un mapa de colores según el criterio de falla de Von Mises.

Figura 23. Análisis CAE cresta del tornillo de potencia, esfuerzo máximo



El esfuerzo máximo corresponde a 24,477 [Mpa] y se ubica en las crestas del tornillo, el valor de dicho esfuerzo es significativamente menor al límite de fluencia del material.

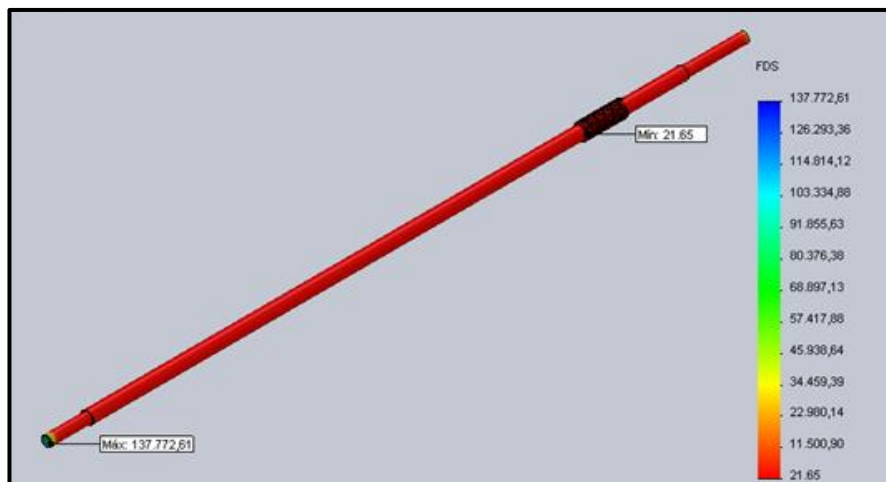
Figura 24. Análisis CAE del tornillo de potencia, desplazamiento máximo



El desplazamiento máximo corresponde a 1,1 [mm] y se ubica aproximadamente a la mitad del tornillo.

De acuerdo con el criterio de falla de Von Mises, el factor de seguridad mínimo en el tornillo es 21,6. Este factor de seguridad resulta de dividir el valor del esfuerzo admisible S_y del material entre el esfuerzo de tensión en cada punto como se ilustra en la figura 25.

Figura 25. Análisis CAE del tornillo de potencia, factor de seguridad.



3.3.2 Diseño del eje motriz. El diseño del eje motriz tiene la finalidad de calcular el diámetro mínimo bajo el criterio de resistencia, fatiga y rigidez

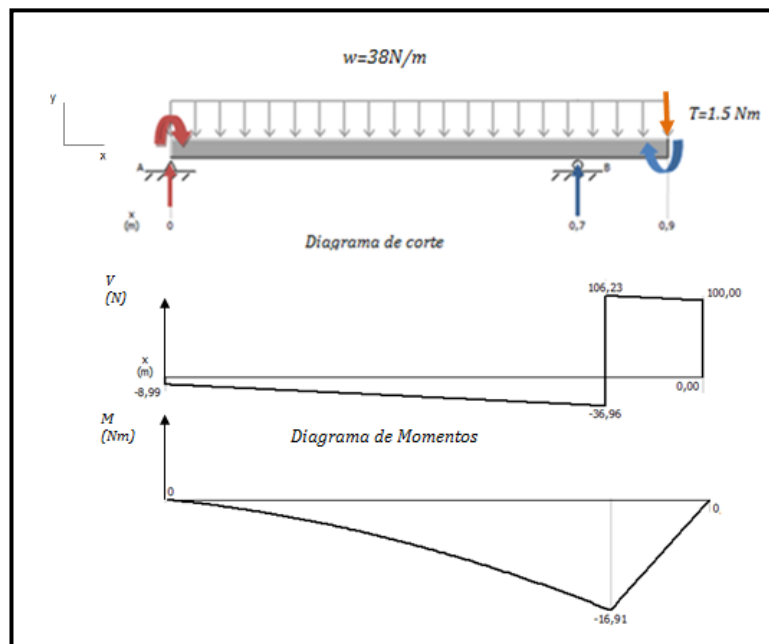
presente en los elementos de máquinas. El eje motriz en uno de sus extremos tendrá mecanizado una chavetera, la cual esta ensamblada al acople y en su otro extremo se ubica el volante. Un rodamiento rígido de bolas estará acoplado a dicho eje como elemento de sujeción.

Se realiza el análisis de resistencia bajo carga estática utilizando la teoría de falla de tensión máxima por esfuerzo de corte para elementos de máquinas de Coulomb como indica la siguiente ecuación.

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

En la figura 26 se representan los diagramas de cortante y momentos de las cargas que intervienen en el eje motriz con el fin de determinar la fuerza máxima de corte y el momento flector máximo.

Figura 26. Diagramas de deflexión del eje motriz.



Teniendo en cuenta el momento flector máximo de $M = 16,91 \text{ Nm}$ y un torque constante $T = 1,5 \text{ Nm}$ se calcula el diámetro mínimo del eje

$$\tau_{xyT} = \frac{TC}{J} = \frac{16 * 1,5}{\pi * d^3}$$

$$\sigma_{MR} = \frac{32 * M_R}{\pi * d^3} = \frac{32 * 16,91}{\pi * d^3}$$

Según Coulomb:

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2} \leq 132,5 * 10^6$$

Reemplazando en la fórmula: $\tau_{max} \leq \tau_{perm}$

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{32 * 16,91}{2 * \pi * d^3}\right)^2 + \left(\frac{16 * 1,5}{\pi * d^3}\right)^2} \leq 132,5 * 10^6$$

Diámetro mínimo:

$$d = 0.00867 \text{ m} \approx 9 \text{ mm}$$

Análisis CAE del eje Motriz.

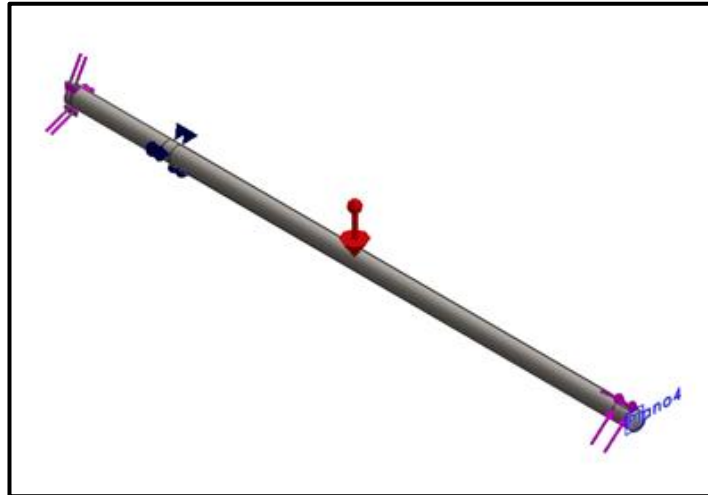
Teniendo en cuenta las dimensiones y propiedades, así como las cargas externas presentes en el eje motriz se preparó un modelo computacional en SolidWorks Simulation basado en el análisis de elementos finitos (FEA). Con este método se determinarán desplazamientos, deformaciones, esfuerzos bajo el criterio de falla de Von Mises y factores de seguridad.

Se define en el análisis el material AISI 1045 con una resistencia última de tensión de 625 [Mpa] y límite elástico de 530 [Mpa]. Para el modelo se toma un diámetro $D = 25$ [mm].

En la figura 3.13 se muestra la carga producida por el peso del eje por efecto de la gravedad. EL accionamiento manual del volante en uno de sus extremos requiere un par torsor máximo de 1.5 [Nm], por lo que en su otro extremo se

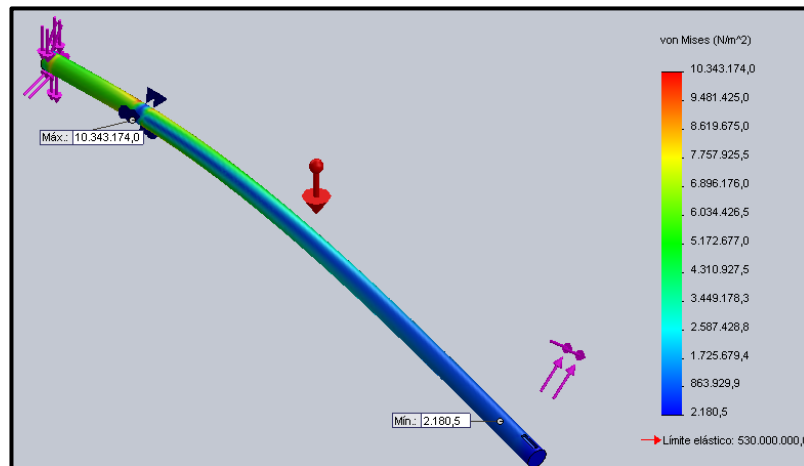
produce un par torsor contrario entre el acople que une al tornillo con el eje motriz.

Figura 27. Análisis CAE del eje motriz, fuerzas aplicadas y malla



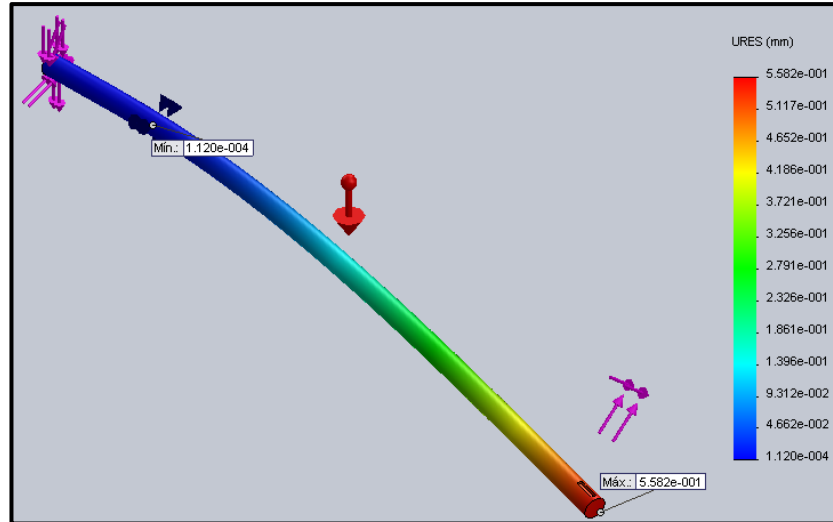
En la figura 28 se muestra la distribución de los esfuerzos a través de un mapa de colores según el criterio de falla de Von Mises.

Figura 28. Análisis CAE del eje motriz, esfuerzo máximo.



El esfuerzo máximo corresponde a $10,34 [Mpa]$ y se ubica cercano al rodamiento del tornillo, el valor de dicho esfuerzo es significativamente menor al límite de fluencia del material de $625 [Mpa]$.

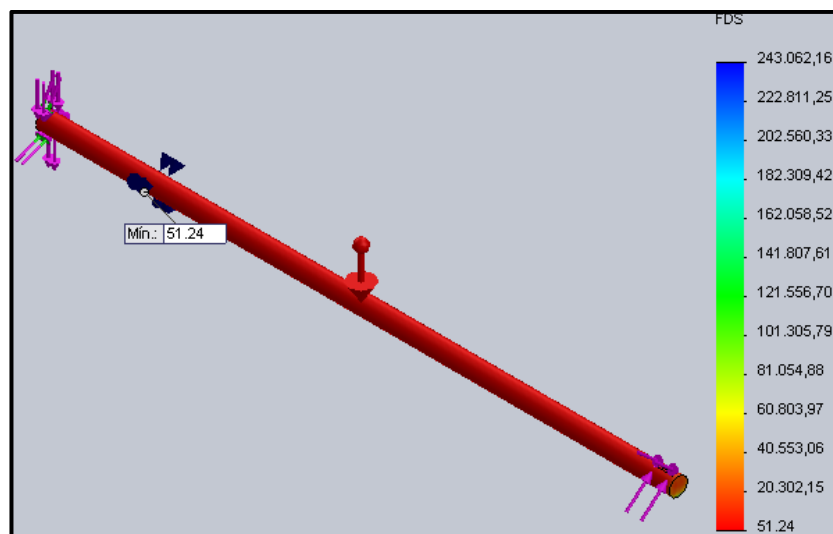
Figura 29. Análisis CAE del eje motriz, desplazamiento máximo.



El desplazamiento máximo corresponde a $0,56 [mm]$ y se ubica en el extremo de unión del acople.

De acuerdo con el criterio de falla de Von Mises, el factor de seguridad mínimo en el eje motriz es 51,24. Este factor de seguridad resulta de dividir el esfuerzo admisible S_y del material entre el esfuerzo de tensión en cada punto como se ilustra en la figura 3.16.

Figura 30. Análisis CAE del eje motriz de potencia, factor de seguridad.



Análisis dinámico del eje motriz

Los elementos de máquinas como los ejes, pistones, cigüeñales, bielas entre otros, están en su mayoría expuestos a cargas que varían con el tiempo. Estas cargas dinámicas afectan el comportamiento de los materiales haciendo que sean más propensos a fallar a niveles de esfuerzo inferiores a su límite elástico, por lo que diseñar únicamente bajo carga estática puede ser inseguro. Por lo tanto se analizara el comportamiento dinámico del eje motriz por medio de la teoría de fatiga.

Para el cálculo del diámetro mínimo del eje motriz se implementó el análisis de fatiga según la teoría de Goodman Modificada como se muestra en la tabla 28

Tabla 28. Análisis de fatiga eje motriz, carga repetida.

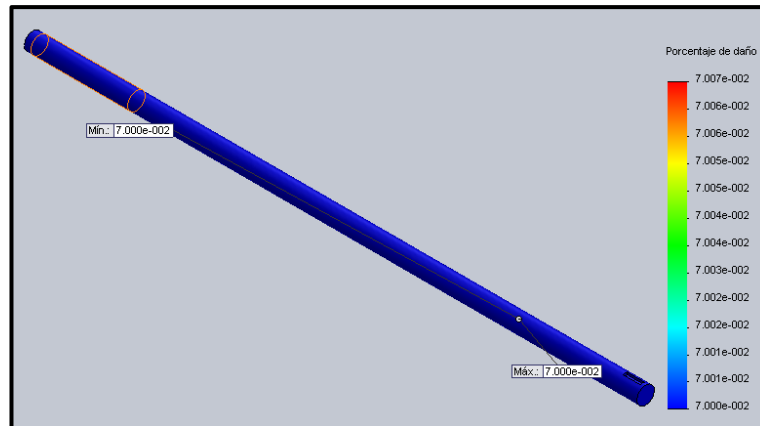
Parámetro	Ecuación	Valores mínimos
Resistencia máxima a la tensión	S_{ut}	650 Mpa
Resistencia a la fatiga	$S_e = 0,5 * S_{ut}$	325 Mpa
Límite de resistencia a la fatiga	$S_e = C_{carga} * C_{tamaño} * C_{superficie} * C_{temperatura} * C_{confiabilidad} * S_e'$	186 Mpa
Factor de carga	C_{carga}	1
Factor de tamaño	$C_{tamaño} = 0,869 * d^{-0,097}$	0,869
Factor de superficie	$C_{superficie} = 4,51 * S_{ut}^{-0,2651}$	0,81
Factor de temperatura	$C_{temperatura}$	1
Factor de confiabilidad	$C_{confiabilidad}$	0,814
Factor de seguridad	N_s	2

Parámetro	Ecuación	Valores mínimos
Factor de concentración de esfuerzo	$k_f, k_{fs}, k_{fm}, k_{fsm}$	1
Momento máximo	M_{max}	16,91 Nm
Momento alternante	$M_a = \frac{M_{max} - M_{min}}{2}$	8,45 Nm
Momento medio	$M_m = \frac{M_{max} + M_{min}}{2}$	8,45 Nm
Torque	T	1,5 Nm
Torque medio	$T_m = \frac{T_{max} + T_{min}}{2}$	1,5 Nm
Ecuación de diseño diámetro mínimo	$d = \left[\frac{32 * N_f}{\pi} * \left(\frac{\sqrt{(k_f * M_a)^2}}{S_f} + \frac{\sqrt{(k_{fm} * M_m)^2 + \frac{3}{4} * (k_{fs} * T_m)^2}}{S_{ut}} \right) \right]$	0.010 m

Para estudio del comportamiento dinámico también se realizó un modelo computacional en SolidWorks mediante el análisis de elementos finitos FEA. Para ello se tuvo en cuenta en el análisis previo los factores de carga, tamaño y superficie, junto con el valor mínimo de seguridad de 2 como estudio base para modelar la fatiga del eje.

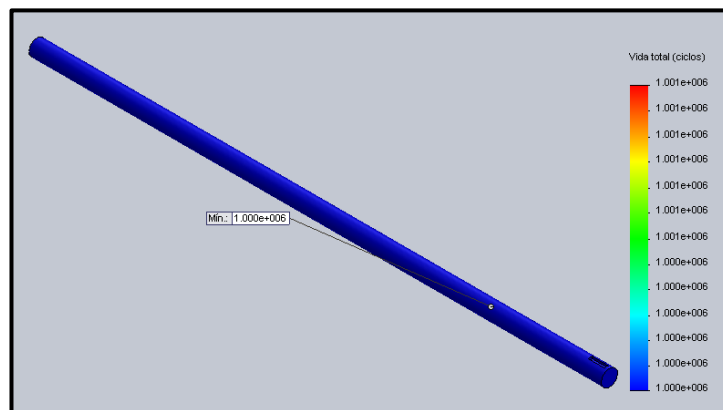
Para el sistema de accionamiento manual se cuenta con una velocidad recomendada de 30 [rpm] y un estimado de dos horas continuas de trabajo que representan 2700 ciclos. En la figura 31 se muestra el porcentaje de daño del eje motriz.

Figura 31. Análisis CAE del eje motriz. Daño.



Con base en la curva ASME para el acero AISI 1045 se define la curva respectiva de vida esfuerzo S-N que le permite al software predecir el número de ciclos requeridos para la falla de fatiga en uno de los diferentes nodos definidos en el mallado debido a las fluctuaciones de carga como se muestra en la figura 32

Figura 32. Análisis CAE del eje motriz. Vida.



En la figura anterior se puede verificar la cantidad de $1 * 10^6$ ciclos de vida mínimo para la falla del eje.

De esta manera se puede observar que el diámetro de 25 mm del eje motriz es viable para soportar los requerimientos de operación dados.

3.3.3 Selección cuña tornillo de potencia. Los acoples son elementos de unión mecánica utilizados para transmitir torques de un eje a otro.

Para nuestro caso se tiene un tornillo de potencia y un eje motriz que se encuentran ubicados coaxialmente. El eje debe transmitir un torque de 14 lb. in a una velocidad de 30 rpm .

El acople seleccionado para realizar dicha función es denominado acople rígido. Su principal característica consiste en dejar en las dos superficies de contacto unos dientes (3) de tal manera que cada plato penetre en los huecos del otro a modo de engrane frontal como se muestra en la figura 33.

Figura 33. Acople.



Fuente: RAMFE. Producto Muestra [en línea] disponible en: http://www.ramfe.com.co/productos_muestra.php?item=200

Para ensamblar cada eje al acople se implementaron cuñas las cuales brindan alta seguridad y eficiencia al sistema. La selección y diseño de la cuña se realiza de acuerdo a la norma ASME B.17.167 (ver anexo D).

Para un diámetro de eje de 25 mm y una cuña cuadrada se tiene una altura $h = \frac{1}{4} \text{ in}$ y un ancho $w = \frac{1}{4} \text{ in}$. La longitud mínima y los esfuerzos en la cuña se calculan como se muestra en la tabla 29.

Tabla 29 Longitud mínima y esfuerzos en la cuña.

Parámetro	Ecuación	Valores mínimos
Diámetro eje	d	0,98 in
Altura	h	$\frac{1}{4}$ in
Ancho	w	$\frac{1}{4}$ in
Torque	T	14 lb.in
Factor de seguridad	N	3
Resistencia a la fluencia AISI 1020	S_y	30 ksi
Longitud mínima	$L_{min} = \frac{4 * T * N}{S_y * d * w}$	0,03 in
Esfuerzo a compresión	$\sigma_c = \frac{4 * T}{L_{min} * d * h}$	10000 psi
Factor de seguridad por compresión	N_{σ_c}	9,5
Esfuerzo cortante	$\tau = \frac{2 * T}{L_{min} * d * w}$	5000 psi
Factor de seguridad por esfuerzo cortante	N_{τ}	3

Finalmente la cuña de perfil cuadrada $w \times h$ de $\frac{1}{4}$ in \times $\frac{1}{4}$ in tendrá una profundidad de 1 in.

3.3.4 Selección de rodamientos. En la selección de rodamientos se tuvieron en cuenta los criterios de capacidad de carga y duración, teniendo en cuenta los valores de carga radial y axial de 20 Kg y 15 Kg respectivamente, y un diámetro interior para el rodamiento de 25 mm.

En la tabla 30 se calculan los factores correspondientes a la selección del rodamiento, entre los más relevantes: carga equivalente dinámica P y vida nominal en horas de funcionamiento L_{h10} .

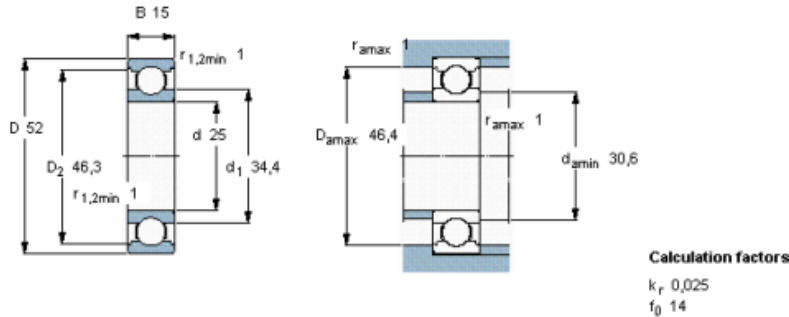
Tabla 30. Factores de selección de rodamientos SKF.

Parámetro	Ecuación	Valores
Carga Radial	F_r	200 N
Carga Axial	F_a	150 N
Velocidad de rotación	n	40 rpm
Carga equivalente estática	$P_0 = 0.6 * F_r + 0.5 * F_a$	195 N
Carga equivalente estática real	$P_0 > F_r \rightarrow P_0 = F_r$	200 N
Factor de seguridad estático	S_0	0,5
Carga estática	$C_0 = S_0 * P_0$	100 N
Carga estática rodamiento 6205* SKF	C_{0*}	7,4 kN
Factor de carga	$e = \frac{F_a}{C_{0*}}$	0,02
Relación de cargas	$\frac{F_a}{F_r}$	0,75
Factor de carga (x)	x	0,56
Factor de carga (y)	y	2,05
Carga equivalente Dinámica	$P = x * F_r + y * F_a$	412 N
Carga Dinámica rodamiento 6205* SKF	C	14,8 kN
Vida nominal en millones de revoluciones	$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^P$	46346
Vida nominal en horas de funcionamiento	$L_{h10} = \frac{1 * 10^6 * L_{10}}{60 * n}$	$19,3 * 10^6$

El tipo de rodamiento más adecuado para las condiciones de trabajo es el rígido de bolas por su capacidad de carga radial y axial, su amplia aplicación y menor costo respecto de los demás tipos de rodamientos. El rodamiento seleccionado fue el 6205* y sus especificaciones se muestran en la figura 34.

Figura 34. Rodamiento de bolas SKF 6205*

Principal dimensions			Basic load ratings		Speed ratings	Limiting speed	Designation
d	D	B	dynamic C	static C0	Reference speed		* SKF Explorer bearing
mm			kN		r/min		-
25	52	15	14,8	7,8	28000	18000	6205 *



Fuente: <http://www.skf.com/>

Se usaran dos de estos rodamientos como soporte del tornillo sin fin, que estarán encajados a tapas ubicadas en ambos extremos del mismo. Las tapas estarán soldadas a las láminas laterales de la estructura para darle la rigidez y estabilidad necesaria durante el accionamiento del tornillo.

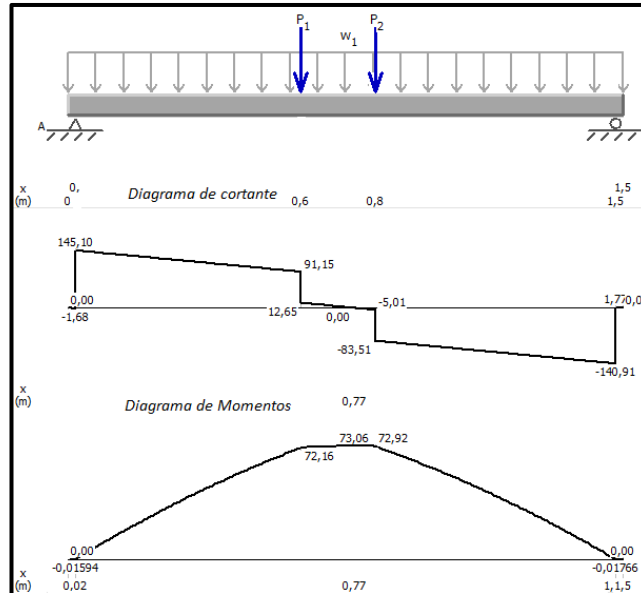
3.3.5. Diseño de los ejes guías. Los ejes guías por requerimientos del banco de decoquizado se dimensionaron de longitud 1,5 [m] y con ellos se busca brindar alineación y soporte estructural en el desplazamiento del carro portareactor. Los ejes no presentan muescas o entalladuras, es decir son completamente macizos, por lo que no presentan concentradores de esfuerzos. La carga se transmitirá al eje por medio de dos bujes guías con una separación fija de 20 [cm] y con una velocidad recomendada de 30 [rpm].

Para el diseño de los ejes guías se realizó el análisis de resistencia bajo carga estática utilizando la teoría de falla de tensión máxima por esfuerzo de corte para elementos de máquinas de Coulomb como indica la siguiente ecuación.

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

En la figura 35 se representan los diagramas de cortante y momentos de las cargas que intervienen en los ejes guías con el fin de determinar la máxima fuerza de corte y el momento flector máximo.

Figura 35. Diagramas de deflexión de los ejes guías.



Teniendo en cuenta el momento flector máximo $M = 73 \text{ Nm}$. El momento máximo resultante al que está sometido el eje será:

$$\sigma_{MR} = \frac{32 * M_R}{\pi * d^3} = \frac{32 * 73}{\pi * d^3}$$

Con dicho esfuerzo de flexión se calcula el diámetro mínimo del eje según la teoría de Coulomb, los efectos del esfuerzo de corte son despreciables ya que no hay cargas de torsión ni fuerzas de corte en este punto.

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2} \leq 132,5 * 10^6$$

Reemplazando en la fórmula: $\tau_{max} \leq \tau_{perm}$

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{32 * 73}{\pi * d^3}\right)^2} \leq 132.5 * 10^6$$

Diámetro mínimo:

$$d = 0.0141 \text{ m} \approx 14,1 \text{ mm}$$

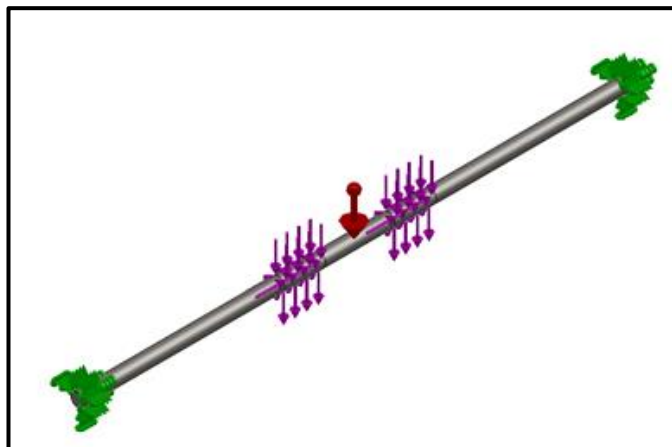
Análisis CAE de los ejes guías.

Como se mencionó en el análisis CAE del eje motriz, se realizará un modelo computacional de los ejes guías en SolidWorks.

Se define en el análisis el material AISI 1045 con una resistencia última de tensión de 625 [Mpa] y límite elástico de 530 [Mpa]. Para el modelo se toma un diámetro $D = 38,1$ [mm].

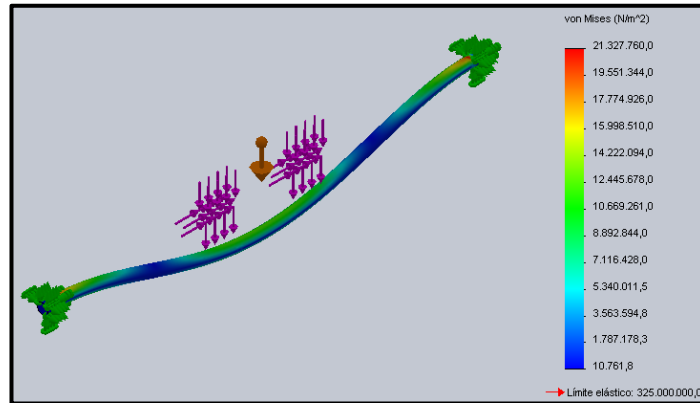
En la figura 36 se muestra la carga producida por el peso del eje por efecto de la gravedad. Los ejes están diseñados para soportar la totalidad de la carga de los componentes deslizables del banco. De esta manera se ubica una carga radial de 50 kg por eje repartida en las dos secciones de apoyo del modelo, equivalente a -245 [N] sobre la sección en contacto de cada uno de los bujes y una fuerza de rozamiento de 25 [N] en dirección contraria al desplazamiento del carro.

Figura 36. Análisis CAE del eje guía, fuerzas aplicadas y malla.



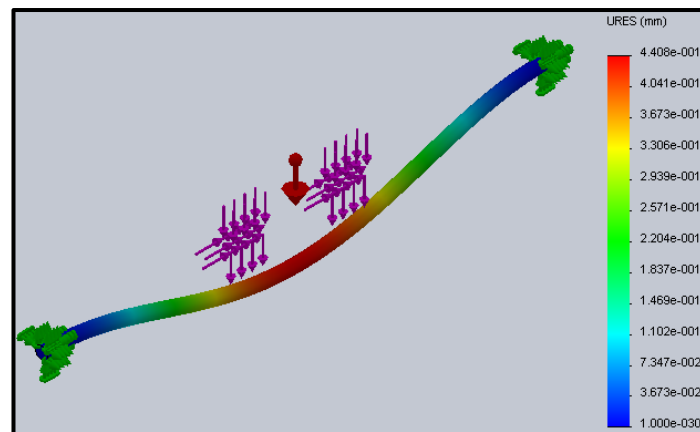
En la figura 37 se muestra la distribución de los esfuerzos a través de un mapa de colores según el criterio de falla de Von Mises.

Figura 37. Análisis CAE del eje guía, esfuerzo máximo.



El esfuerzo máximo corresponde a $21,3 [Mpa]$ y se ubica sobre la mitad del eje guía, el valor de dicho esfuerzo es significativamente menor al límite de fluencia del material de $625 [Mpa]$.

Figura 38. Análisis CAE del eje guía, desplazamiento máximo.

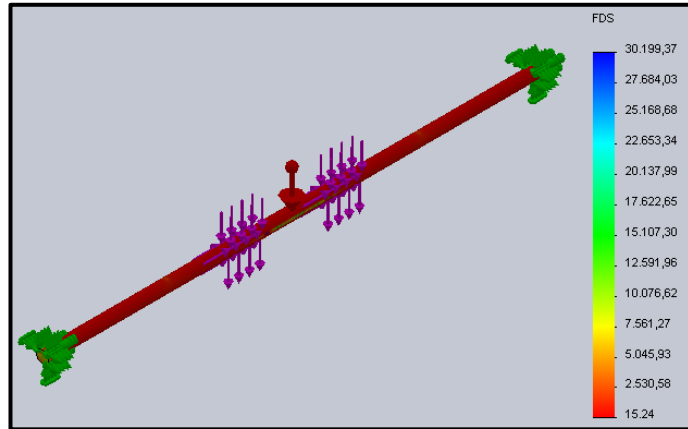


El desplazamiento máximo corresponde a $4,4 * 10^{-1} [mm]$ y se ubica a la mitad del eje guía. Ver figura 38

De acuerdo con el criterio de falla de Von Mises, el factor de seguridad mínimo en el eje guía es 15,2. Este factor de seguridad resulta de dividir el esfuerzo

admisibles S_y del material entre el esfuerzo de tensión en cada punto como se ilustra en la figura 39.

Figura 39. Análisis CAE del eje guía de potencia, factor de seguridad.

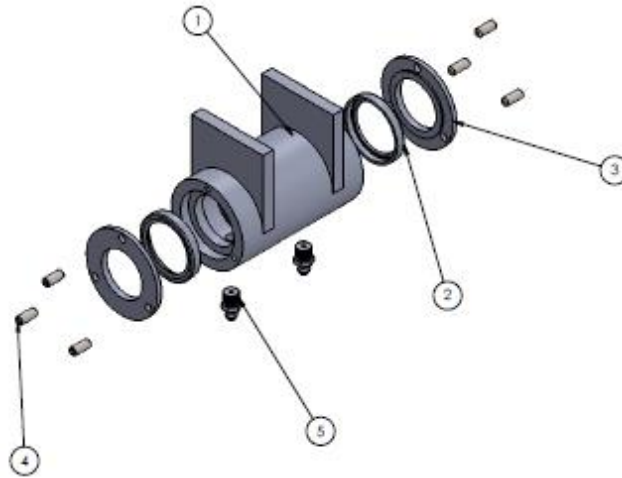


De esta manera se puede observar que el diámetro de 38,1 mm de los ejes guías es viable para soportar los requerimientos de operación dados.

3.3.6 Diseño del buje. El buje es el elemento que facilita el deslizamiento del carro porta-reactor y sus demás accesorios en el desplazamiento del material de trabajo, coque y termo pozo, para su respectiva remoción. Esta pieza es de forma cilíndrica, rectificada y lubricada en su superficie interna para reducir los efectos de fricción de deslizamiento.

En su interior alberga una pista deslizante de bronce y un cascaron cilíndrico en su exterior de acero 1045, el bronce rectificad es el material en contacto con las barras laterales guías de apoyo, seleccionado por sus menores propiedades mecánicas respecto del acero, en especial las propiedades de rigidez y dureza lo que permite que sean estos y no las barras guías de acero las que se deterioren principalmente. Cuenta también con retenedores de acero y tonillos prisioneros como componentes de apoyo y sellado la pista y del lubricante como se muestra en figura 40.

Figura 40. Componentes del buje de deslizamiento.



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	buje guía	Buje con pista deslizable de bronce	1
2	retenedor	Acero 1045	2
3	Buje	Buje de bronce-Lubricado	2
4	SSFLATSKT 0.25- 20x0.625-HX-C	Prisionero cabeza hexagonal hueca 1/4"x0.625"UNC	6
5	Grasera	Grasera Npt	2

3.4 MODULO ESTRUCTURAL

La estructura del banco es la unidad dimensionada para albergar y soportar todos los elementos del banco. Este módulo debe ser compatible con todos los demás módulos brindándole rigidez y seguridad al operario en todas las fases del proceso. El módulo debe amortiguar las vibraciones causadas por el motor evitando que este entre en resonancia así como las fuerzas producidas en el contacto de los materiales con la broca.

3.4.1 Diseño del bastidor. El modelo estructural se dimensiona teniendo en cuenta las cargas y tamaños de los componentes a soportar en la fase de desacople de la tapa y el desplazamiento de los reactores en las fases de limpieza.

El bastidor se compone básicamente de acero ASTM 36 y acero 1045, pues son materiales de excelentes propiedades mecánicas, alta resistencia a la fluencia y muy alta rigidez, considerablemente superior a la requerida para soportar los componentes del banco de decoquizado. Este debe amortiguar las vibraciones causadas por el motor y brindar estabilidad y linealidad en la transmisión del tornillo de potencia que facilite su accionamiento manual. Los componentes que conforman el bastidor se muestran en la figura 41

Figura 41. Bastidor y sus partes.

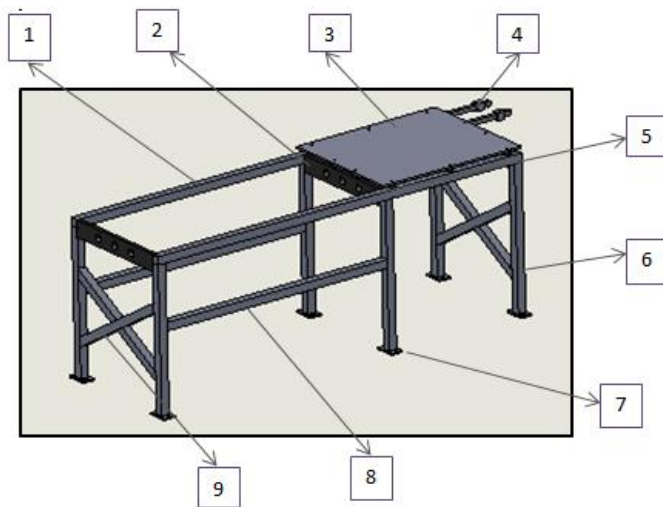


Tabla 31. Componentes del bastidor.

Pieza	Material	Descripción
1	ASTM 36	Tubería perfil cuadrado 2"x2"
2	AISI 1045	Lamina, espesor 1.5"
3	AISI 1045	Lamina motor, espesor 1"
4	ASTM 36	Riel WUFU, tubería hueca 2"x2"
5	Caucho natural	aisladores vibratorios
6	ASTM 36	Tubería perfil cuadrado 2"x2"
7	AISI 1045	Lamina anclaje
8	ASTM 36	Tubería perfil cuadrado 2"x2"
9	ASTM 36	Tubería perfil cuadrado 2"x2"

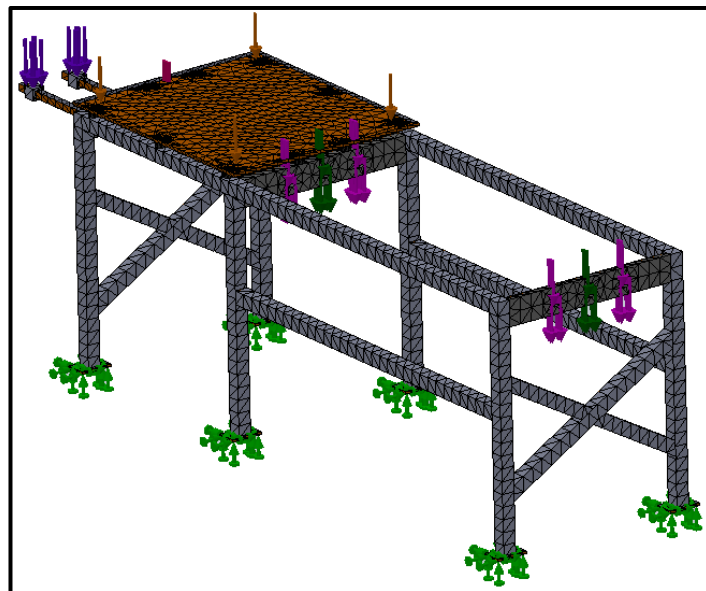
Análisis CAE del bastidor

Teniendo en cuenta las dimensiones y propiedades, así como las cargas externas presentes en el bastidor se preparó un modelo computacional en SolidWorks Simulation basado en el análisis de elementos finitos (FEA). Con este método se determinarán desplazamientos, deformaciones, esfuerzos bajo el criterio de falla de Von Mises.

Se define en el análisis el material acero estructural A36 con límite de tracción de 400 [Mpa] y límite elástico de 250 [Mpa], el material AISI 1045 con una resistencia ultima de tensión de 625 [Mpa] y límite elástico de 530 [Mpa] y el caucho natural con límite de tracción de 20 [Mpa].

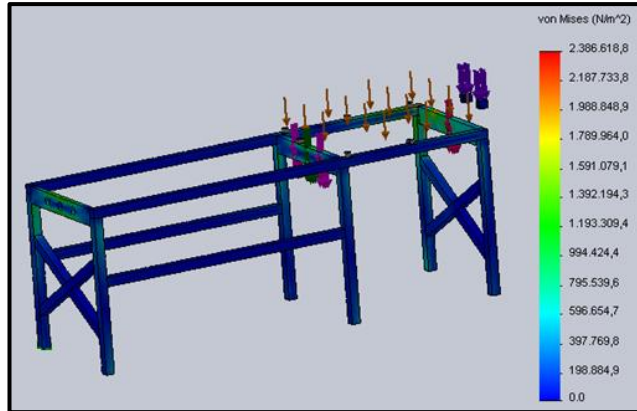
En la figura 42 se muestra las cargas generadas por el peso y accionamiento de cada uno de los componentes acoplados al bastidor.

Figura 42. Análisis CAE de la estructura, fuerzas aplicadas y malla.



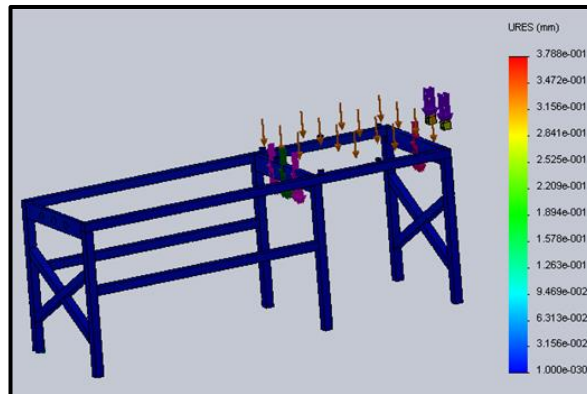
En la figura 43 se muestra la distribución de los esfuerzos a través de un mapa de colores según el criterio de falla de Von Mises.

Figura 43. Análisis CAE de la estructura, esfuerzo máximo.



El esfuerzo máximo corresponde a $2,3 \text{ [Mpa]}$ y se ubica en la lámina donde se apoya el asiento, el valor de dicho esfuerzo es significativamente menor al límite de fluencia del material.

Figura 44. Análisis CAE de la estructura, desplazamiento máximo.

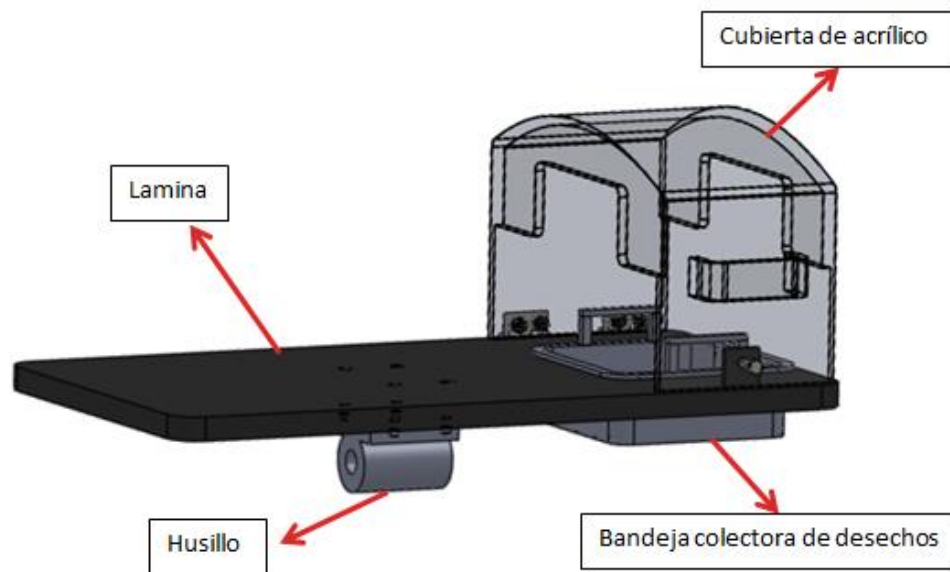


El desplazamiento máximo corresponde a $0,37 \text{ [mm]}$ ubicado en la lámina donde se acopla el asiento de la pistola.

3.4.2 Diseño de carro porta-reactores. El carro porta-reactores es un punto de referencia en el diseño para definir la geometría y las dimensiones de la estructura teniendo en cuenta los requerimientos de carga, espacio y control de los residuos removidos en el proceso.

La lámina será de 1" de espesor y sobre ella se soportan: la horquilla, los reactores, la cubierta de acrílico y la bandeja colectora de desechos, como se muestra en la figura 45. En la parte inferior de la lámina se ubica un husillo roscado sujetado con tornillos y también cuatro guías soldadas para su desplazamiento, con ello se distribuirán mayormente las cargas en los demás elementos de la estructura contrarrestando los efectos de volcadura.

Figura 45. Carro porta-reactor.



Como es de esperarse la bandeja colectora albergara el volumen de residuos del reactor de mayor longitud y será de fácil montaje y desmontaje quedando superpuesta sobre el borde del agujero de la lámina. La cubierta de acrílico se sujetara por medio de bisagras y con ella se evita la dispersión del coque mayormente en las direcciones tangenciales de corte de la broca.

3.4.3 Diseño de aislantes de vibración. Para aislar la estructura de las vibraciones producidas por el motor se realizó el diseño y selección de aisladores. Su ubicación es bajo la lámina principal y se sujeta por medio de tornillos aprisionando los aisladores sobre sus caras planas.

Para el proceso de selección se siguen los pasos recomendados por el autor Allan G. Piersol de su libro *Harris' Shock and Vibration Handbook* como sigue a continuación⁶:

- 1) Determinar una eficiencia de aislamiento requerido que se encuentra generalmente entre el 70 y 90%.

Figura 46. Eficiencia de aislamiento.

TABLE 32.1 Ratio of (f/f_n) Required to Achieve Various Values of Vibration Isolation Efficiency

Isolation efficiency, %	Maximum transmissibility	Required f/f_n
90	0.1	3.32
80	0.2	2.45
70	0.3	2.08
60	0.4	1.87
50	0.5	1.73
40	0.6	1.63
30	0.7	1.56
20	0.8	1.50
10	0.9	1.45
0	1.0	1.41

Fuente: Harris' Shock and Vibration Handbook, McGraw-Hill 2002 1083 p.

- 2) Determinar la transmisibilidad máxima del sistema para la eficiencia seleccionada.
- 3) Se determina el valor de la frecuencia de excitación de la vibración, para nuestro caso el motor, cuya frecuencia depende de su velocidad de giro.
- 4) Se determina la frecuencia natural del sistema aislado, requerida para proveer una transmisibilidad en el paso 2 para una frecuencia de fuerza determinada en el paso 3.
- 5) Se determina la deflexión estática de cada aislante de vibración.

⁶ HARRIS Cyril, PIERSOL. Allan *Harris' Shock and Vibration Handbook, 5 ed. New York. McGraw Hill 2002.p 1081-1084.*

- 6) Se calcula la rigidez requerida para proveer la frecuencia natural determinada en el paso 4.
- 7) Se determina la rigidez de cada uno de los aisladores dependiendo si están ubicados en serie o en paralelo.
- 8) Calcular la carga que soporta cada aislador de manera individual.
- 9) De acuerdo con los requisitos de rigidez del paso 7 y la capacidad de carga del paso 8 se realiza la selección del aislador.

Los cálculos efectuados en cada uno de los pasos para el proceso de selección se realizan como se muestra en la tabla 32

Tabla 32. Cálculo del aislador.

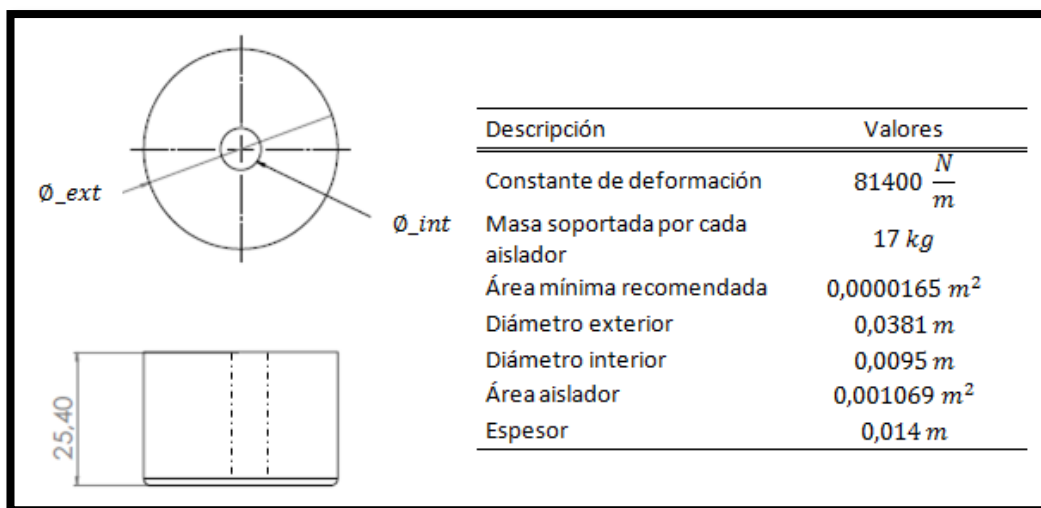
Parámetro	Ecuación	Valores
Eficiencia de aislamiento	η_{aisl}	0.8
Transmisibilidad	τ	0.2
Frecuencia de excitación de la vibración	$f = \frac{rpm}{60}$	15 [Hz]
Frecuencia natural f_n	$\tau = \frac{1}{\left(\frac{f}{f_n}\right)^2 - 1}$	6,12 [Hz]
Deflexión estática σ_{st}	$f_n = \frac{3,31}{\sigma_{st}^{1/2}}$	0,292 in
Rigidez del sistema	$f_n = \frac{\left[k_{sist} * \frac{g}{W_{sist}}\right]^{1/2}}{2 * \pi}$	1400 $\frac{lb}{in}$
Numero de aisladores	n	10
Rigidez individual	$k = \frac{k_{sist}}{n}$	140 $\frac{lb}{in}$

Carga total del sistema	W_{sist}	370 lb
Capacidad de carga de cada aislador	P	37 lb

Para el banco de decoquizado se selecciona un aislante que soporte las condiciones de carga de 17 kg, de material de caucho natural que tiene la más alta resistencia a la ruptura en comparación con los demás elastómeros sintéticos, cuenta con excelente resistencia a la abrasión, al desgarramiento y buena resistencia a la oxidación y lo más relevante es que tiene buenas propiedades a la fatiga ya que es de baja a media amortiguación. El módulo de rigidez (E) es de 4 Mpa y el módulo de cortante (G) es de 0,3 Mpa.

Determinando la frecuencia natural del aislador, por medio de la frecuencia de excitación del motor girando a 900 rpm y considerando un esfuerzo máximo de $\tau = 10$ Mpa como condición de diseño recomendado por la compañía Manson, se calculan las dimensiones del aislador. Los resultados del diseño del aislador de vibración se observan en la figura 47.

Figura 47. Resultados diseño del aislador de vibración.



3.5 MODULO DE CONTROL

En esta sección se realizara la selección de los distintos componentes que hacen parte de la parada y puesta en marcha del motor para realizar el proceso de perforación cuando sea necesario. Se pretende por medio de un final de carrera coordinar las longitudes de trabajo evitando daños en el reactor.

Se tendrán en cuenta medidas de prevención para los componentes eléctricos así como posibles fallos durante la operación.

Como medida de seguridad se implementara una parada de emergencia de fácil acceso para el operario cuando lo requiera.

Para desarrollar y diseñar el módulo de control se seleccionaron equipos de protección, señalización, maniobra y control teniendo en cuenta la tensión de red 220 VAC, potencia del motor 1,5 [hp], corriente del motor 7,4 [A], maniobras, frecuencia 60[Hz] y condiciones del lugar de trabajo.

Para realizar la selección de cada uno de los equipos estos se dividieron en las siguientes categorías:

- ❖ Equipos de Protección
- ❖ Equipos de Maniobra
- ❖ Equipos de Mando
- ❖ Equipos de control

3.5.1 Equipos de protección. Son los encargados de proteger la carga y los equipos acoplados a la red contra efectos de sobrecarga, cortocircuito y sobrecalentamiento, para el módulo de control se seleccionaron los siguientes interruptores:

3.5.1.1 Interruptor Termomagnético: Se seleccionaron dos interruptores termomagnéticos (monopolar y tripolar) estos son los encargados de aislar y proteger los equipos y la carga contra sobre cargas según norma IEC 60947 y cortocircuitos según norma IEC 60898, también protegen contra el calentamiento y descargas peligrosas originadas por tensiones de contacto debido a fallas de aislamiento.

Las especificaciones de los interruptores son las siguientes:

Interruptor Termomagnético Monopolar

- ❖ Referencia: 5SL4110-7 Siemens
- ❖ Capacidad: C10 es decir 10[A]
- ❖ Tipo de conexión: Tornillo
- ❖ Tipo de montaje: Riel DIN

En la figura 48 se muestra el interruptor monopolar.

Figura 48. Interruptor Monopolar Siemens.



Fuente: SIEMENS [en línea] disponible en: <http://www.Siemens.com>

Interruptor Termo magnético Tripolar Siemens

- ❖ Referencia: 5SL4310-7
- ❖ Capacidad: C10 es decir 10[A]

- ❖ Tipo de conexión: Tornillo
- ❖ Tipo de montaje: Riel DIN

En la figura 49 se muestra el Interruptor Termo magnético Tripolar Siemens

Figura 49. Interruptor Termo magnético Tripolar.



Fuente: SIEMENS. [en línea] disponible en: <http://www.Siemens.com>

3.5.1.2 Relé bimetálico. El relé de sobrecarga mide la corriente que el motor está consumiendo de la red y de esta forma lo protege contra efectos de sobrecarga, asimetría en las fases o por fallas en cada una de ellas al detectar un aumento en la corriente mayor a la establecida, una vez ocurre esto se accionan los contactos auxiliares desconectando la carga.

El relé bimetálico seleccionado tiene las siguientes especificaciones:

- ❖ Referencia: 3RU1126-1HBO
- ❖ Tamaño: S0
- ❖ Clase 10
- ❖ Regulación de corriente: 5.5 - 8 [A]
- ❖ Circuito auxiliar un contacto NO y uno NC
- ❖ Tipo de conexión por tornillo

En la figura 50 se muestra el relé bimetálico Siemens seleccionado.

Figura 50. Relé Bimetálico



Fuente: SIEMENS. [en línea] disponible en: <http://www.Siemens.com>

3.5.1.3 Guardamotor: El guardamotor tiene la función de proteger a los motores contra sobrepicos y cortocircuitos según norma (IEC 947-4 y 947-2), es de accionamiento manual por consiguiente para preservar su vida útil se aconseja emplearlo en conjunto con un contactor.

Cuenta con un potenciómetro para graduar la corriente de disparo.

Se seleccionó para la protección del motor una combinación de guardamotor y contactor.

Las especificaciones son las siguientes:

- ❖ Referencia: 3RA1123-1H Siemens
- ❖ Regulación de 5.5 a 8[A]
- ❖ Contactos auxiliares 2 NA, 2NC
- ❖ Tamaño: S0

En la figura 51 se muestra el montaje del guardamotor con el contactor.

Figura 51. Guardamotor y contactor



Fuente: SIEMENS. [en línea] disponible en : <http://www.Siemens.com>

3.5.2 Equipos de maniobra. Permiten vincular eléctricamente a la red con la carga controlando el paso de corriente hacia la misma permitiendo así su correcto funcionamiento.

Los equipos de maniobra seleccionados para el módulo de control se enunciarán a continuación con sus respectivas especificaciones.

3.5.2.1 Contactor: MEquipo de maniobra implementado para circuitos de fuerza, soportando una corriente de arranque varias veces mayor a la asignada (7,2 veces mayor según norma IEC 947), es un conmutador todo o nada capaz de cortar corrientes de sobrecarga, puede energizar equipos con carga o en vacío.

El contactor irá acoplado directamente con el guardamotor como se muestra en la figura 51.

3.5.2.2 Final de carrera. Los finales de carrera pueden ser dispositivos mecánicos situados al final de un recorrido con el objetivo de enviar una señal para modificar el estado de un circuito.

En el banco de decoquizado se limpiarán reactores de 95 y 65 cms de longitud es por ello que se debe emitir una señal para que tanto el operario como el

circuito perciban hasta qué punto es debido avanzar el carro cuando se esté realizando la limpieza del reactor de menor longitud. La señal emitida por el final de carrera será de off pues abrirá el circuito apagando el motor evitando que la broca siga girando y por ende el operario detendrá el carro.

Las características del final de carrera son:

- ❖ Referencia: 3SE5232-OHDO3 Siemens
- ❖ Vida útil mecánica: 15´000000 ciclos
- ❖ Especial para ambientes polvorientos
- ❖ Descripción: Vástago de rodillo
- ❖ Conexión por tonillo

Figura 52. Final de carrera, vástago de rodillo.



Fuente: SIEMENS. [en línea] disponible en [http://: www.Siemens.com](http://www.Siemens.com)

3.5.2.3 Relé de control. Es un dispositivo que ejecuta la acción lógica del sistema con el fin de conectar y desconectar circuitos del sistema de control ordenado al elemento que maneja la potencia (contactor), que ejecute un trabajo de conexión y de desconexión.

Figura 53. Relé de control



Fuente: : SIEMENS. [en línea] disponible en [http://: www.Siemens.com](http://www.Siemens.com)

3.5.3 Equipos de mando. Son los encargados de vincular a la instalación y los operadores con los aparatos de maniobra y protección. Para el módulo de control se seleccionaron los siguientes elementos:

3.5.3.1 Parada de emergencia: Ante un peligro o una eventualidad en el proceso de limpieza de los reactores todo el equipamiento eléctrico en especial el motor del banco de decoquizado se debe poder detener con la mayor rapidez posible con el fin de evitar riesgos para los operarios para ello se selecciona un parada de emergencia con las siguientes características:

- ❖ Referencia: 3SB6130-OAB20-1CAO (Siemens)
- ❖ Color: Rojo luminoso

Figura 54. Parada de emergencia



Fuente: SIEMENS. [en línea] disponible en <http://www.siemens.com>

3.5.3.2 Pulsadores: Son accionados de forma manual y directa, permiten la comunicación entre el operador y la máquina, se limitan a señales todo o nada.

Para el módulo de control se seleccionó un pulsador con dos elementos: señal de arranque del motor botón verde y señal de parada botón rojo como lo establece la norma DIN EN 60204-1. Por medio de los pulsadores el operario podrá encender y apagar el motor cuando el proceso de limpieza lo requiera.

Especificaciones del pulsador seleccionado:

- ❖ Referencia: 3SB3802-ODA3 (Siemens)
- ❖ Tipos de contacto: 1 NA, 1NC
- ❖ Numero de pulsadores: 2 (verde, rojo)

En la figura 55 se muestra el pulsador de dos elementos.

Figura 55. Pulsador Siemens.



Fuente: : SIEMENS. [en línea] disponible en <http://www.siemens.com>

3.5.3.3 Selector: El selector es un tipo de mando que se caracteriza porque tiene un enclavamiento mecánico.

La función del selector en el módulo es la de abrir o cerrar el circuito que transmite la señal emitida por el final de carrera hacia el motor. Las características del selector empleado son:

- ❖ Referencia: XB7ND21 Schneider
- ❖ De dos posiciones

En la figura 56 se muestra el selector de dos posiciones.

Figura 56. Selector de dos posiciones.



Fuente: SCHNEIDER. [en línea] disponible en <http://www.schneider.com>

3.5.3.4 Pilotos luminosos: Son dispositivos que detallan una condición en el circuito por medio de una señal luminosa, para el banco se emplearan dos pilotos luminosos (rojo y verde) los cuales indicaran la condición en que se encuentra el motor (marcha o parada).

En la figura 57 se muestran los pilotos luminosos seleccionados para el modulo.

Figura 57. Pilotos Luminosos Siemens



Fuente: SIEMENS. [en línea] disponible en: <http://www.Siemens.com>

3.5.4 Accesorios. Una vez seleccionados los elementos del módulo de control deben ser instalados en el banco, algunos de ellos (relé, contactor, guardamotor, interruptor monopolar y tripolar) se deben organizar, proteger y aislar. Para ello se disponen estratégicamente en una caja metálica de empalme con las siguientes dimensiones 37.5 alto, 37.5 ancho, profundidad 15 centímetros. En la figura 58 se muestra la caja de empalme.

Figura 58. Caja de empalme.



Fuente: SCHNEIDER [en línea] disponible en <http://www.schneider.com.co>

Para facilitar el acoplamiento y desplazamiento de los elementos en la caja de empalme se emplean rieles DIN.

Para una mejor distribución y organización de los cables en la caja de empalme se utilizaron canaletas ranuradas porta cables. El riel DIN y la canaleta ranurada se ilustran en la figura 59.

Figura 59. Riel DIN, canaleta ranurada Dexon Schneider.



Fuente: SCHNEIDER. [en línea] disponible en <http://www.schneider-electric.com.co>

Para una mejor organización de los cables en el momento de introducirlos a la caja de empalme se utilizaron prensaestopas de 1/2" y 3/8". En la figura 60 se muestra el prensaestopas.

Figura 60. Prensaestopas



Fuente: SCHNEIDER. [en línea] disponible en <http://www.schneider.com.co>

La selección del cable se realizó de acuerdo a la máxima corriente que se presentará en el sistema

- ❖ 12 AWG para conexiones de control (amarillo, azul y rojo)
- ❖ 12 AWG para conexiones de potencia de 220 [V], 3 fases (amarillo, azul y rojo), 1 neutro (negro).
- ❖ Cable encauchetado 4x12 AWG

El módulo de control y todos los equipos eléctricos del banco se energizarán a través de una clavija y un tomacorriente de alta seguridad brindando mayor

protección al operario. La clavija y el tomacorriente seleccionados se muestran en la figura 61.

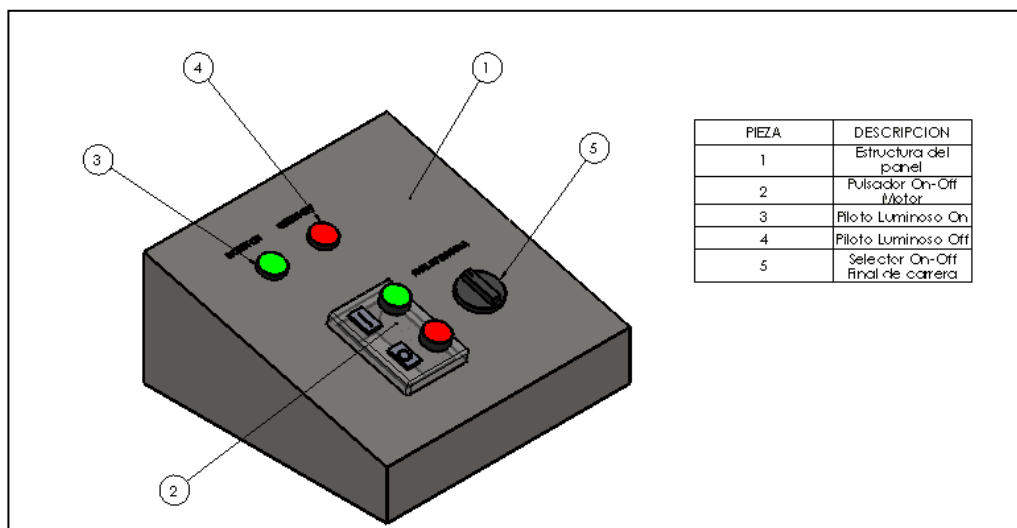
Figura 61 Clavija y tomacorriente de seguridad Schneider.



Fuente: SCHNEIDE. [en línea] disponible en: <http://www.Schneider.com.co>

Los equipos de mando se posicionaran estratégicamente en un panel de control donde podrá acceder fácilmente el operario evidenciando claramente la función de cada dispositivo. En la figura 62 se muestra el panel de control con sus componentes.

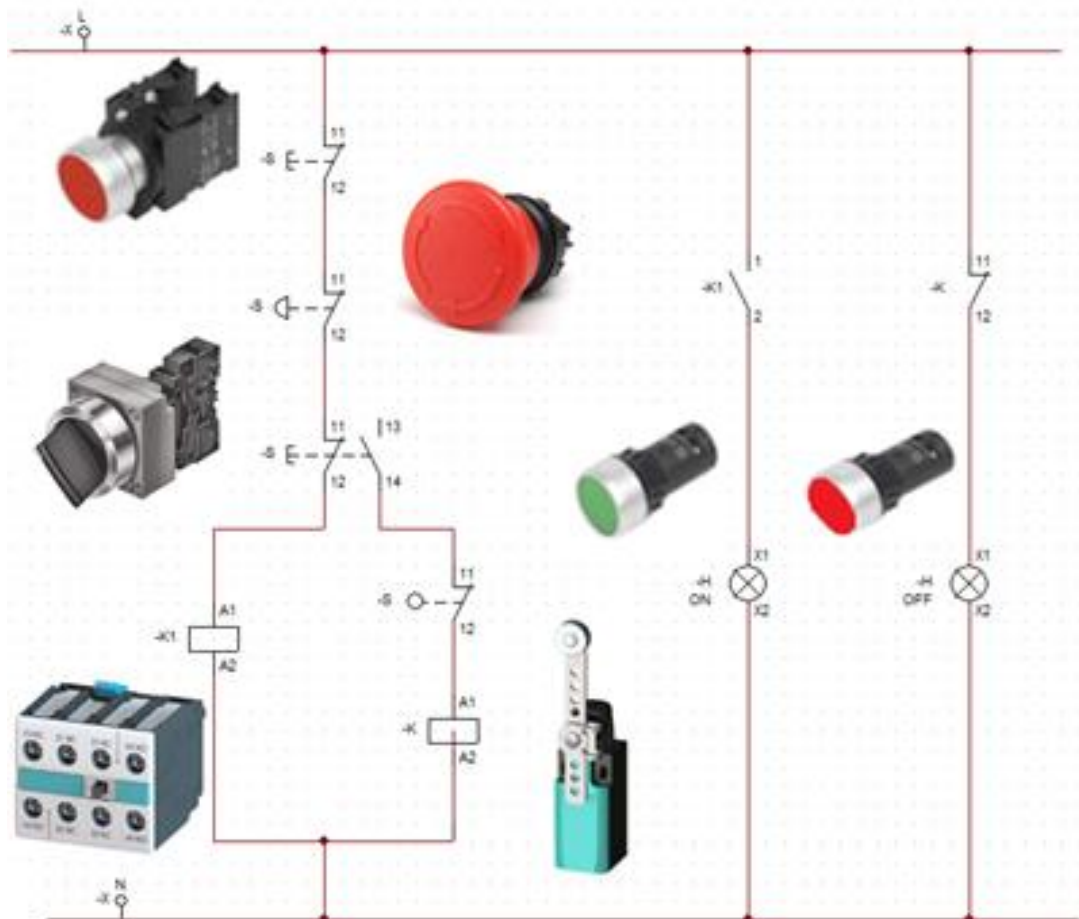
Figura 62. Panel de control



3.5.5 Diagramas de control y potencia. Este sistema tiene como finalidad evitar el contacto entre la broca y las paredes internas del reactor, así como detener el proceso ante cualquier eventualidad que constituya un riesgo para la operación de limpieza, tanto en los componentes como en el personal humano. En la figura 62 se representa el esquema de mando del banco que permitirá al operario controlar de forma inmediata el banco cuando se requiera.

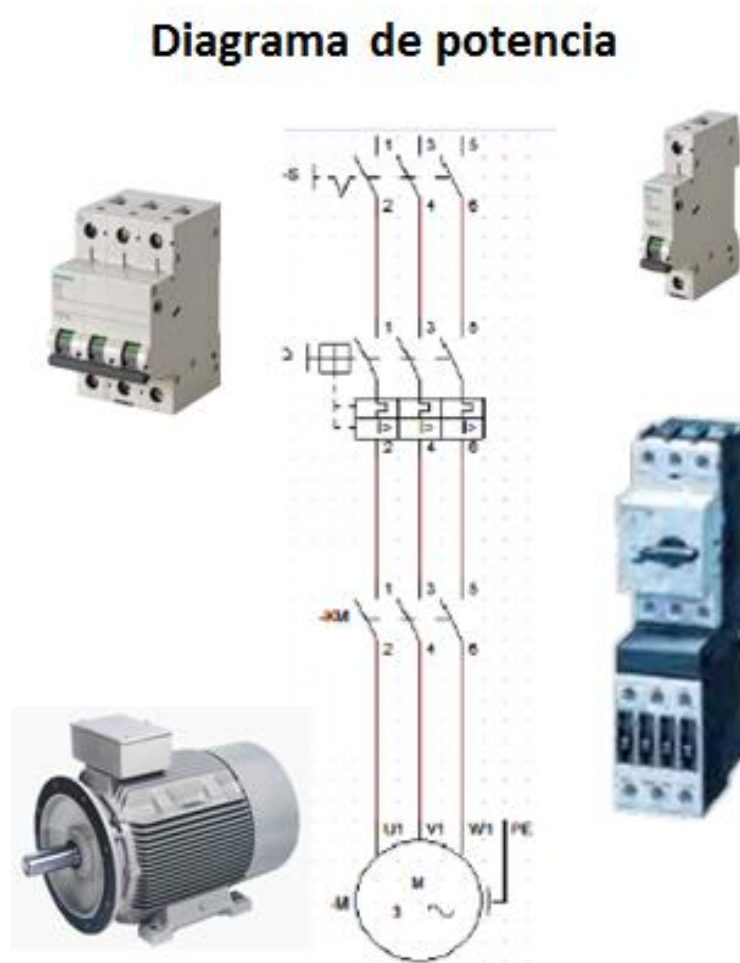
Figura 63. Diagrama de control

Diagrama de control



De igual manera se realizó el esquema eléctrico correspondiente al diagrama de potencia conformado por el interruptor Termomagnético tripolar, el guardamotor, el contactor y el motor trifásico como se muestra en la figura 64

Figura 64. Diagrama de potencia



3.6 MODULO DE ANCLAJE

Para la selección de los componentes en el módulo de anclaje se tuvo en cuenta dentro de las dos fases de operación del banco: desacople y limpieza sus principales funciones:

❖ Anclaje Fase desacople:

Mantener estático el reactor y soportar la pistola Wufu mientras es retirada la tapa Weco.

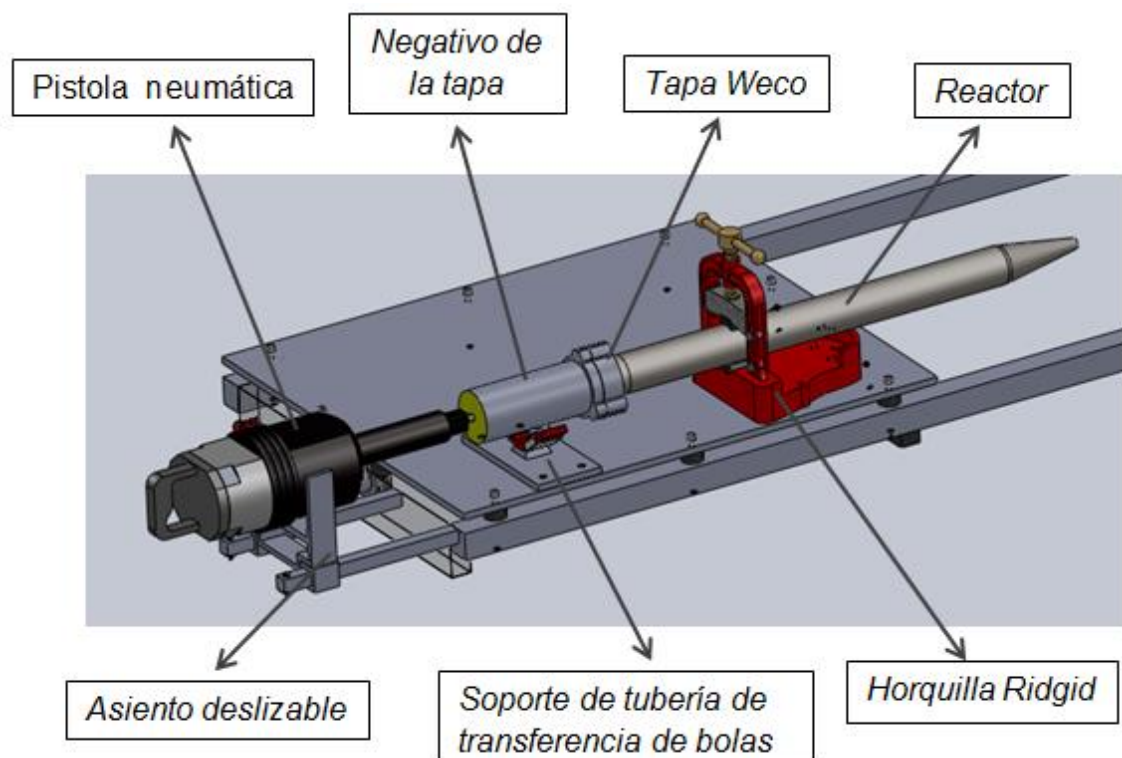
❖ Anclaje Fase limpieza:

Impedir que haya algún tipo de movimiento (giro, desplazamiento) en el reactor asegurando la concentricidad con la broca mientras se realiza el proceso de limpieza.

3.6.1 Anclaje fase desacople. Antes de realizar el proceso de limpieza en los reactores estos deben pasar por la fase de desacople que consiste en retirar la tapa Weco que se encuentra ubicada en uno de los extremos del reactor.

En la figura 65 se muestran los componentes empleados en la fase de desacople.

Figura 65. Componentes fase de desacople



3.6.1.1 Tornillo de banco con horquilla. La tapa Weco es retirada por medio de un negativo que se acopla a la pistola Wufu. Para ello se debe mantener el

reactor anclado evitando que se gire o se desplace en cualquier dirección asegurando que su superficie no sufra algún tipo de ralladura.

Para cumplir dicha función se selecciona una horquilla con las siguientes especificaciones:

- ❖ Nombre: Tornillo de banco con horquilla
- ❖ Marca: Ridgid
- ❖ Capacidad del tubo: 1/8 – 4 [in]
- ❖ Peso: 28 [Lb]
- ❖ Material: Hierro forjado

El tornillo de banco con horquilla es especial para la sujeción de tuberías de distintos diámetros y longitudes, además soporta torques superiores a los 12 [Nm] que se requieren para destapar la tapa Weco. El contacto lo hace por medio de tres pastillas especiales las cuales evitan daños superficiales en el reactor. En la figura 66 se muestra el tornillo de banco con horquilla.

Figura 66. Tornillo de banco con horquilla Ridgid.



Fuente: RIDGID [en línea] disponible en: [http:// www.ridgid.com.co](http://www.ridgid.com.co)

3.6.1.2 Soporte de transferencia de bolas. El acople es el encargado de conectar la pistola Wufu con el negativo de la tapa Weco. Por sus funciones y dimensiones (diámetro: 3", longitud: 8") requiere de un elemento como soporte

pero que a su vez le permita girar libremente. Para ello se selecciona un soporte de transferencia de bolas con las siguientes especificaciones:

- ❖ Nombre: Soporte de tuberías de transferencia de bolas
- ❖ Marca: Ridgid
- ❖ Capacidad del tubo: 2 ½ -12 [in]
- ❖ Peso: 7 [Lb]

En la figura 67 se muestra el soporte de transferencia de bolas.

Figura 67. Soporte de tuberías de transferencia de bolas Ridgid.



Fuente: RIDGID [en línea] disponible en: <http://www.ridgid.com>

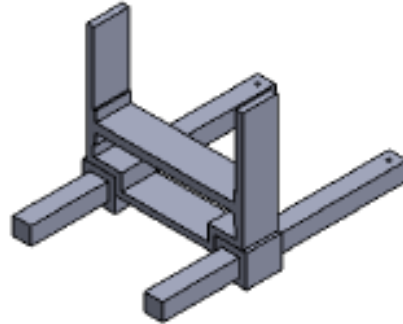
3.6.1.3 Asiento pistola Wufu: La pistola Wufu tiene un peso aproximado de 14 [kg] y debe generar un torque máximo de 12 [Nm] por lo que requiere un asiento donde se pueda posicionar.

El asiento posee un grado de libertad lo que le permitirá a la pistola desplazarse axialmente para desajustar la tapa, para ello se usaran unos pines que sirvan de bloqueo.

Con el fin de sujetar y soportar la pistola neumática para facilitar su accionamiento. Se diseñó una estructura con perfiles cuadrados de acero estructural A-36 para desplazar la pistola longitudinalmente como se requiera para conseguir adaptarla al negativo de la tapa como se muestra en la figura 3.45 y piezas en acero 1045 ensambladas entre sí para contener y soportar la

pistola. La pistola posee agujeros roscados, los cuales se usaran para atornillar las láminas firmemente a la pistola. Ver figura 68.

Figura 68. CAD asiento de la pistola neumática

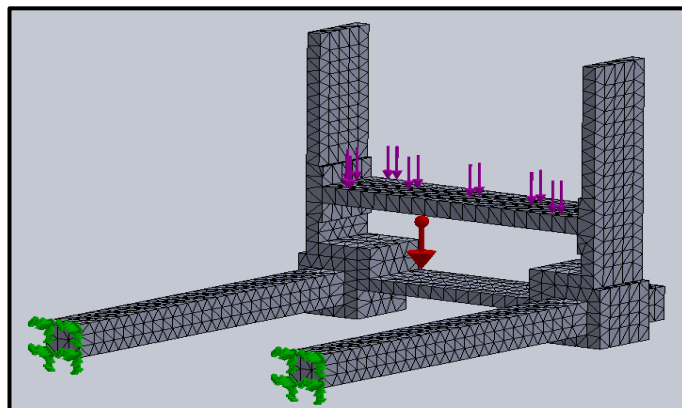


Análisis CAE del asiento

A partir del modelo CAD se realizó un modelo computacional en SolidWorks con el método de elementos finitos (FEA) de los que se obtuvieron el esfuerzo y desplazamiento máximo, junto con el factor de seguridad.

En la figura 3.49 se muestran la carga producida por el peso del asiento de la pistola neumática diseñada para soportar un peso superior al de la pistola. Los rieles en su extremo están soldados a la estructura. Ver figura 69

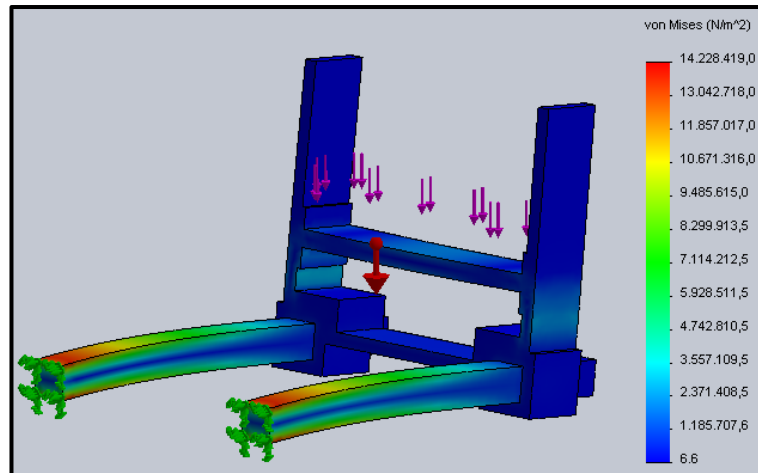
Figura 69. Análisis CAE del asiento, fuerzas aplicadas y malla



En la figura 69 se muestra la distribución de los esfuerzos a través de un mapa de colores según el criterio de falla de Von Mises.

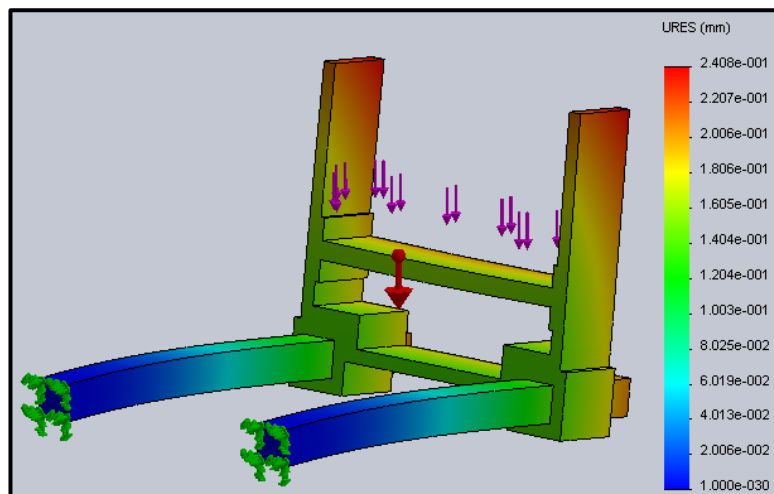
El esfuerzo máximo corresponde a $13,2 [Mpa]$ y se ubica cuando el asiento se apoya en el extremo del riel guía, el valor de dicho esfuerzo es significativamente menor al límite de fluencia del material de $625 [Mpa]$.

Figura 70. Análisis CAE del asiento, esfuerzo máximo



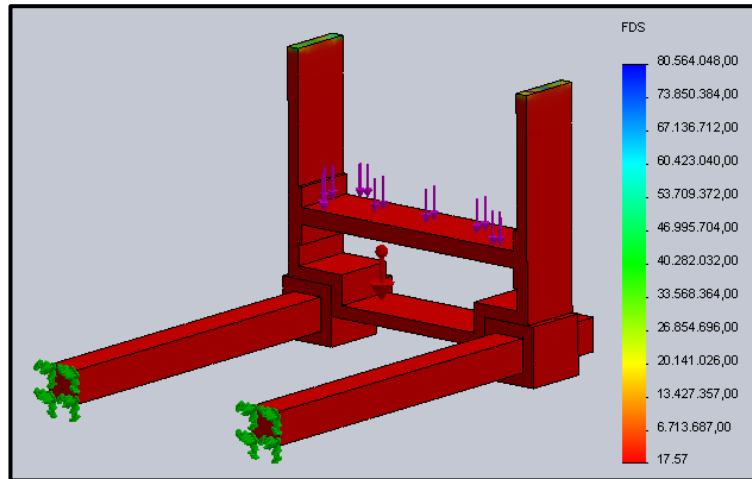
El desplazamiento máximo corresponde a $2,4 * 10^{-1} [mm]$ y se ubica las placas de acero 1045 como se muestra en la figura 71.

Figura 71. Análisis CAE del asiento, desplazamiento máximo



De acuerdo con el criterio de falla de Von Mises, el factor de seguridad mínimo en el eje guía es 17,6. Este factor de seguridad resulta de dividir el esfuerzo admisible S_y del material entre el esfuerzo de tensión en cada punto como se ilustra en la figura 72.

Figura 72. Análisis CAE del asiento, factor de seguridad.



3.6.1.4 Desacople de la tapa. Para transmitir el torque proporcionado por la pistola a la tapa Weco para desacoplarla del reactor es necesario de una pieza denominada desacople.

El desacople es una pieza cilíndrica hueca hecha de fundición maleable, en uno de sus extremos tiene la forma y dimensiones de la tapa Weco para acoplarse a ella y en su otro extremo tiene una extrusión como medio de anclaje a la pistola. Ver figura 73.

Figura 73. CAD negativo de la tapa

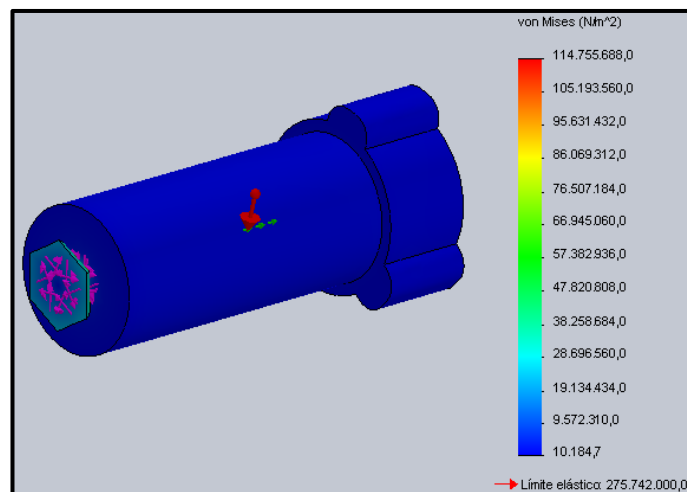


Análisis CAE del negativo

A partir del modelo CAD del desacople de la tapa se realizó un modelo computacional en SolidWorks con el método de elementos finitos (FEA) de los que se obtuvieron el esfuerzo y desplazamiento máximo, junto con el factor de seguridad.

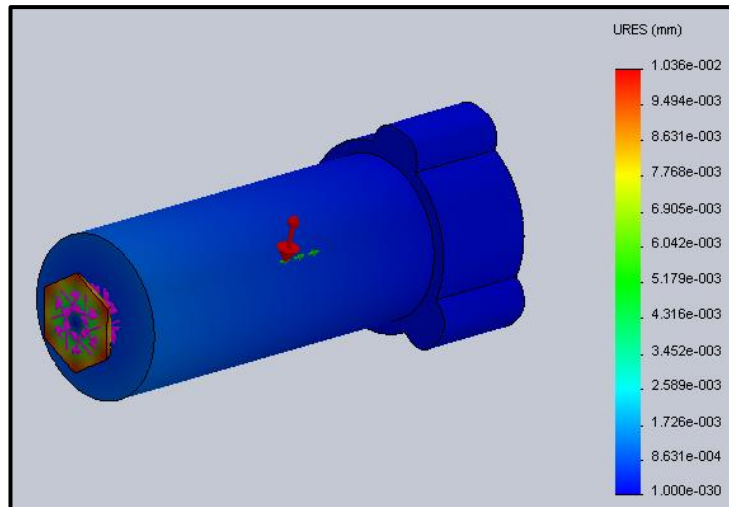
El esfuerzo máximo corresponde a 115 [Mpa] y se ubica en la extrusión del desacople en contacto con la pistola, el valor de dicho esfuerzo es significativamente menor al límite de fluencia del material de 275 [Mpa] de la fundición maleable.

Figura 74. Análisis CAE del desacople, esfuerzo máximo



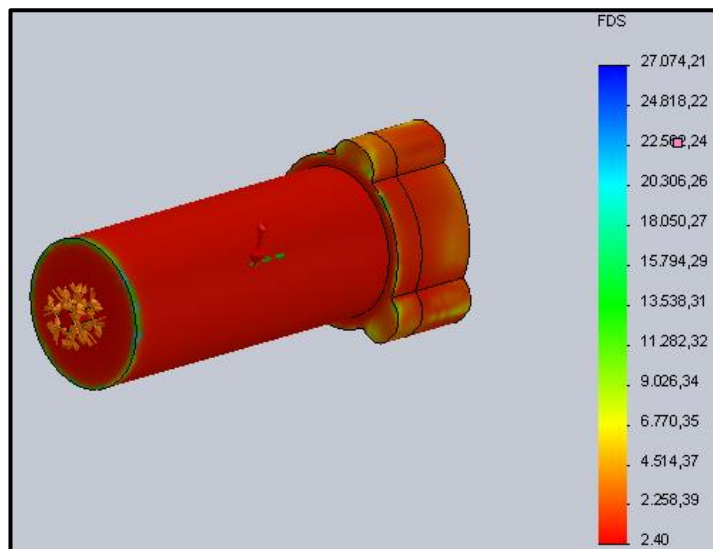
El desplazamiento máximo corresponde a $1,04 * 10^{-2}$ [mm] y se ubica en la extrusión del desacople en contacto con la pistola como se muestra en la figura 74

Figura 75. Análisis CAE del desacople, desplazamiento máximo



De acuerdo con el criterio de falla de Von Mises, el factor de seguridad mínimo en el desacople es 2.4. Este factor de seguridad resulta de dividir el esfuerzo admisible S_y del material entre el esfuerzo de tensión en cada punto como se ilustra en la figura 75.

Figura 76. Análisis CAE del desacople, factor de seguridad.



3.6.2 Anclaje fase de limpieza. Al momento de realizar la perforación del acero y el coque se producen torques, fuerzas radiales y axiales en el reactor. Para evitar que el reactor sea desplazado en cualquier dirección por dichas

4. CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- ✓ Se diseñó un banco compacto con el objetivo de desarrollar la metodología de limpieza que se requiere para dejar reactores limpios de diámetro de 2 ½" y longitudes 37" y 27" de acero austenítico con parámetros de diseño que garantizan una alta confiabilidad, seguridad en su uso y una buena operatividad, teniendo en cuenta factores como: las condiciones de trabajo, la ergonomía, costos, reducción de tiempos de limpieza, eliminación de sobre esfuerzos físicos, control de desechos y medidas de protección y control del proceso.
- ✓ Mediante las pruebas destructivas se consiguió determinar el esfuerzo uniaxial de compresión en promedio del petcoke de 34 Mpa.
- ✓ Se implementaron y adecuaron equipos eléctricos y mecanismos para eliminar sobre esfuerzos físicos en las operaciones como lo son pistola Neumática, el motor eléctrico y el tornillo de potencia. La fuerza de accionamiento del volante para el movimiento del tornillo es menor a 2 lbf.
- ✓ Se logró estimar la fuerza específica de corte (k_c) del coque cuya propiedad es indispensable para hallar las variables de corte. Dicha fuerza es considerablemente baja facilitando de esta manera las operaciones de taladrado.
- ✓ Se realizó un estudio de las propiedades del coque para realizar una selección apropiada de su herramienta de corte y con esto estimar un rango apropiado de los parámetros: velocidad de corte y avance en la perforación del petcoke.

- ✓ Se seleccionó una broca cañón como mejor alternativa para conseguir remover el termo pozo de acero inoxidable para las profundidades especificadas teniendo en cuenta los parámetros recomendados por el fabricante.
- ✓ Se seleccionó una broca Bosch Quadro-x HC5073 con punta de carburo como mejor alternativa para remover el petcoke del interior del reactor teniendo en cuenta los parámetros recomendados por el fabricante.
- ✓ Se logró reducir los tiempos de 3 horas en promedio a un tiempo estimado de 30 minutos en el desarrollo de la metodología de limpieza como se muestra en la siguiente tabla. El tiempo total para la limpieza de un reactor se calcula a partir de la velocidad promedio de operación del volante recomendada para una velocidad de giro del motor de 900 rpm.

Operación/Etapa	Tiempo estimado	Vel del volante recomendada
Montaje y sujeción	10 [<i>min</i>]	---
Desacople	3 [<i>min</i>]	---
Corte broca guía	2 [<i>min</i>]	30 [<i>rpm</i>]
Corte broca cañón	5 [<i>min</i>]	20 [<i>rpm</i>]
Corte broca Bosch	10 [<i>min</i>]	20 [<i>rpm</i>]
Grata lija	2 [<i>min</i>]	---
Tiempo total	32 [<i>min</i>]	

4.2 OBSERVACIONES

- ✓ Para manipular el banco se requiere del uso de elementos de protección personal para el operario; botas de seguridad, casco, gafas y auriculares.
- ✓ Antes de la puesta en marcha el operario deberá verificar el estado de funcionamiento del final de carrera y el panel de control.
- ✓ La instalación de la maquina se debe realizar con pernos de media pulgada
- ✓ Se recomienda delimitar las áreas de operación del operario y ubicar señales de advertencia, salvamento, prohibición, obligación como lo indica la normativa OHSAS 18001.
- ✓ En el diseño del banco se tomaron medidas de control de riesgos involucrados en el desarrollo de la metodología de limpieza siguiendo la norma de sistemas de gestión y salud ocupacional OHSAS 18001 como se muestra en la tabla 4.1.
- ✓ El operario deberá accionar el volante a una velocidad aproximada de 30 rpm para no exceder los parámetros de avance y velocidad de corte recomendados que eviten un desgaste excesivo de las herramientas de corte prolongando su vida útil. Para la remoción del coque residual de la superficie interna del reactor con la grata lija el operario podrá exceder esta velocidad.

Tabla 33. Medidas del control del riesgo del banco

RIESGO	CONTROL DEL RIESGO
Vibraciones y ruido	Diseño de aisladores antivibratorios para disminuir las vibraciones y ruidos
Esfuerzo físico Fase Limpieza	Los siguientes componentes del banco se diseñaron y/o seleccionaron con el fin de cumplir las tareas teniendo en cuenta que el operario no deba esfuerzos físicos: <ul style="list-style-type: none"> • Sistema mecánico: tornillo de potencia impulsado por el operario por medio de un volante. • Implementación de un motor eléctrico trifásico
Esfuerzo físico Fase desacople	Los siguientes componentes del banco se diseñaron y/o seleccionaron con el fin de cumplir las tareas teniendo en cuenta que el operario no deba realizar esfuerzos físicos: <ul style="list-style-type: none"> • Implementación de la pistola neumática. • Asiento para la pistola neumática.
Voladura del material desprendido en el proceso de limpieza	En caso que una partícula del material perforado se desprenda con fuerza se diseñó una cubierta en acrílico.
Residuos	Los residuos provenientes de la perforación ubicados adecuadamente para evitar la contaminación del lugar, para ello se diseñó una cubeta metálica.
Posiciones inadecuadas del operario	Para evitar posiciones inadecuadas del operario el banco este se diseñó teniendo en cuenta las medidas promedio de una persona, La operación de la maquina no exige posiciones inadecuadas o de difícil alcance para el operario.
Riesgo eléctrico	Los siguientes componentes se seleccionaron con el fin de evitar accidentes en el sistema eléctrico del banco: <ul style="list-style-type: none"> • Clavija y tomacorriente de alta seguridad. • Interruptores Termomagnéticos. • Cables encauchetados.

RIESGO	CONTROL DEL RIESGO
Errores en la manipulación del banco	Para evitar errores en la manipulación del banco se realizó la debida señalización de los componentes especialmente en el panel de control. Además de ello se utilizaron colores para los pulsadores de encendido y apagado teniendo en cuenta la normativa DIN EN 60204-1.
Fallo del sistema	Para un posible fallo en el sistema se dispuso de una parada de emergencia, de fácil acceso y visibilidad para el operario.
Contacto con elemento motriz	La ubicación del motor en el banco hace que sea de difícil acceso, además de ello el proceso exige que el operario deba estar posicionado en la parte posterior manteniéndolo alejado del mismo brindándole seguridad y confort para operar la máquina.
Deterioro de los componentes del banco	Para evitar el deterioro prematuro de los componentes del banco lo que podía inducir a una posible falla se diseñaron componentes que permiten el acople y desacople de los mismos facilitando su mantenimiento. En el caso de los bujes para disminuir la fricción se diseñó con unas graseras Ntp permitiendo su debida lubricación.
Accidente por longitud de mecanizado	La limpieza es requería para reactores de longitudes diferentes, para ello se dispuso un final de carrera quien al hacer contacto con el carro apaga el motor evitando que la broca siga girando, siendo esta una señal al operario para que detenga el carro, todo esto ocurre para la limpieza del reactor de menor longitud.

Fuente: Autores.

BIBLIOGRAFIA

AUTOMATION, Creation. Propiedades mecánicas de los materiales[en línea].[United States of America]: Matweb, nov. 2012[cited 25 marzo 2014] disponible en: :<URL:http://www.matweb.com/>

BLANPAIN Eduardo, Teoría y práctica de las herramientas de corte, editorial Gustavo GIL, 1962.

BOSCH, Robert. Especificaciones broca Bosch SDS MAX [en línea]. [United States of America]: Bosch Tools, feb.2013 [cited 10 mayo 2014].disponible en: <URL:http://www.boschtools.com/Products/Accessories/Pages/BoschAccessoryDetail.aspx?pid=HC5092>

H. W. Jackman and R. J. Helfinstine, coke crushing characteristics

HAMROCK, Bernard J. Diseño de elementos de Maquinas. Mc GRAW HILL.

HARRIS' Shock and Vibration Handbook, McGraw- Hill2002.

James H Gary, Glenn E. Refino de petróleo. Tecnología y economía REVERTÉ S.A 2003 p58-59.

NORTON Robert L. Diseño de Maquinas, editorial Pearson, 4ta edición, 2011.

RIDGID.Catálogo general de productos [en línea],[Bogota ,Colombia]: Ridgid Inc, 2014. Disponible en: <URL:file:///C:/Users/pc/Downloads/Spanish%20Catalog%20999-997-198.10%20(3).pdf>

SANDVIK, Catálogo general herramientas de taladrado [en línea]. [Sandviken, Suecia]: Sandvick, 20 enero 2012. Disponible en. <URL:<http://www.sandvik.coromant.com>>

SCHNEIDER Electric, Catálogo de equipos [online], [Berlin, Germany]:

SCHNEIDER Electric, feb. 2014.[en línea disponible en: <URL:<http://www.schneider-electric.com/press/es/es/schneider-electric-presenta-su-nuevo-catalogo-de-equipos-didacticos-para-2014/>>

SIEMENS S.A, Catálogo de equipos Siemens [en línea], [Germany]: SIEMENS, marzo. 2013. Disponible en: <URL:<http://www.industry.siemens.com/home/aan/es/colombia/Documents/2014/LP%20INDUSTRY%20BAJA%2027dic%202013.pdf>>

SKF, Catálogo general de rodamientos de bolas [en línea], [Dortmund, Germany]: SKF, abril 2014.disponible en: <URL:<http://www.skf.com/co/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/single-row/index.html>>

TAYLOR AND FRANCIS GROUP, LLC 2011mechanics of rock fracture under a drill bit.

WUFU, Especificaciones Pistola Neumática [en línea]. [United States of America]: Wufu Tools, marzo. 2014. Disponible en: <URL:[http://www.wufutools.com/products/Pneumatic_Tools/Impact_Wrench/1__1Mpact_Wrench\(WF-030\).htm](http://www.wufutools.com/products/Pneumatic_Tools/Impact_Wrench/1__1Mpact_Wrench(WF-030).htm)>

REFERENCIA

[1] BLANPAIN Eduardo, Teoría y práctica de las herramientas de corte, editorial Gustavo GIL, 1962.

[2] BOSCH, Robert. Especificaciones broca Bosch SDS MAX [online]. [United States of America]: Bosch Tools, feb.2013 [cited 10 mayo 2014]. Available from internet:<URL:<http://www.boschtools.com/Products/Accessories/Pages/BoschAccessoryDetail.aspx?pid=HC5092>>

[3] Harris' Shock and Vibration Handbook, McGraw- Hill2002.

[4] HAMROCK, Bernard J. Diseño de elementos de Maquinas. Mc GRAW HILL.

[5] H. W. Jackman and R. J. Helfinstine, coke crushing characteristics

[6] James H Gary, Glenn E. Refino de petróleo. Tecnología y economía REVERTÉ S.A 2003 p58-59.

[7] NORTON Robert L. Diseño de Maquinas, editorial Pearson, 4ta edición, 2011.

[8] AUTOMATION, Creation. Propiedades mecánicas de los materiales[online].[United States of America]: Matweb, nov. 2012[cited 25 marzo 2014] Available from internet:<URL:<http://www.matweb.com/>>

[9] RIDGID.Catálogo general de productos [online],[Bogota ,Colombia]: Ridgid Inc, 2014. Available from de internet:<URL:[file:///C:/Users/pc/Downloads/Spanish%20Catalog%20999-997-198.10%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/pc/Downloads/Spanish%20Catalog%20999-997-198.10%20(3).pdf)>

[10] SANDVIK, Catálogo general herramientas de taladrado [online]. [Sandviken, Suecia]: Sandvick, 20 enero 2012. Available from internet:

< URL:<http://www.sandvik.coromant.com>>

[11] SCHNEIDER Electric, Catálogo de equipos [online], [Berlin, Germany]: SCHNEIDER Electric, feb. 2014. Available from internet:

<URL:<http://www.schneider-electric.com/press/es/es/schneider-electric-presenta-su-nuevo-catalogo-de-equipos-didacticos-para-2014/>>

[12] SIEMENS S.A, Catálogo de equipos Siemens [online], [Germany]: SIEMENS, marzo. 2013. Available from internet:

<URL:<http://www.industry.siemens.com/home/aan/es/colombia/Documents/2014/LP%20INDUSTRY%20BAJA%2027dic%202013.pdf>>

[13] SKF, Catálogo general de rodamientos de bolas [online], [Dortmund, Germany]: SKF, abril 2014. Available from internet:

<URL:<http://www.skf.com/co/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/single-row/index.html>>

[14] Taylor and Francis Group, LLC 2011 mechanics of rock fracture under a drill bit.

[15] WUFU, Especificaciones Pistola Neumática [online]. [United States of America]: Wufu Tools, marzo. 2014. Available from internet

<URL:[http://www.wufutools.com/products/Pneumatic_Tools/Impact_Wrench/1_1Impact_Wrench\(WF-030\).htm](http://www.wufutools.com/products/Pneumatic_Tools/Impact_Wrench/1_1Impact_Wrench(WF-030).htm)>

ANEXOS

Anexo A. Catálogo de selección de la broca guía

CoroDrill® 861 20 x D_c
Mango cilíndrico

Diámetro de broca: 3,00-12,00 mm (0,118-0,472 pulg.)
Profundidad máx. de agujero: $20 \times D_c$

Recubrimiento: Multicapa TiAlN
Tolerancia de agujero: H8 - H9

Refrigerante: Emulsión o refrigerante

Tolerancias: $dm_m = h6$
 $D_c = m7$

Broca piloto CoroDrill 861 para aplicar antes de taladrar con CoroDrill 861 de longitud superior a $12 \times D_c$.

l_4 = profundidad de taladrado máx. recomendada

D_c mm	D_c pulgadas	Código de pedido	Entrada de refrigerante interior				Dimensiones, milímetros, pulgadas (mm, pulg.)						
			GC	PC	PC	PC	dm_m mm	l_2 mm	l_2 in.	l_4 mm	l_4 in.	l_6 mm	l_6 in.
3.00	.1181	861.1-0300-060A1-GM	*	*	*	*	6.00	111	4.370	60	2.362	69	2.716
3.18	.1252	861.1-0318-064A1-GM	*	*	*	*	6.00	115	4.528	64	2.520	73	2.874
3.30	.1299	861.1-0330-066A1-GM	*	*	*	*	6.00	118	4.646	66	2.598	76	2.992
3.50	.1378	861.1-0350-070A1-GM	*	*	*	*	6.00	122	4.803	70	2.756	80	3.150
3.57	.1406	861.1-0357-071A1-GM	*	*	*	*	6.00	124	4.882	71	2.795	82	3.228
3.80	.1496	861.1-0380-076A1-GM	*	*	*	*	6.00	129	5.079	76	2.992	87	3.425
3.97	.1563	861.1-0397-079A1-GM	*	*	*	*	6.00	133	5.236	79	3.110	91	3.583
4.00	.1575	861.1-0400-080A1-GM	*	*	*	*	6.00	134	5.276	80	3.150	92	3.622
4.20	.1654	861.1-0420-084A1-GM	*	*	*	*	6.00	139	5.472	84	3.307	97	3.819
4.37	.1720	861.1-0437-087A1-GM	*	*	*	*	6.00	142	5.591	87	3.425	100	3.937
4.50	.1772	861.1-0450-090A1-GM	*	*	*	*	6.00	145	5.709	90	3.543	103	4.055
4.76	.1874	861.1-0476-095A1-GM	*	*	*	*	6.00	152	5.984	95	3.740	110	4.331
4.80	.1890	861.1-0480-096A1-GM	*	*	*	*	6.00	152	5.984	96	3.780	110	4.331
5.00	.1969	861.1-0500-100A1-GM	*	*	*	*	6.00	157	6.181	100	3.937	115	4.528
5.16	.2031	861.1-0516-103A1-GM	*	*	*	*	6.00	161	6.339	103	4.055	119	4.685
5.50	.2165	861.1-0550-110A1-GM	*	*	*	*	6.00	168	6.614	110	4.331	126	4.961
5.56	.2189	861.1-0556-111A1-GM	*	*	*	*	6.00	170	6.693	111	4.370	128	5.039
5.80	.2283	861.1-0580-116A1-GM	*	*	*	*	6.00	175	6.890	116	4.567	133	5.236
6.00	.2362	861.1-0600-120A1-GM	*	*	*	*	6.00	180	7.087	120	4.724	138	5.433
6.35	.2500	861.1-0635-127A1-GM	*	*	*	*	8.00	188	7.402	127	5.000	146	5.748
6.50	.2559	861.1-0650-130A1-GM	*	*	*	*	8.00	191	7.520	130	5.118	149	5.866
6.75	.2657	861.1-0675-135A1-GM	*	*	*	*	8.00	197	7.756	135	5.315	155	6.102
6.80	.2677	861.1-0680-136A1-GM	*	*	*	*	8.00	198	7.795	136	5.354	156	6.142
7.00	.2756	861.1-0700-140A1-GM	*	*	*	*	8.00	203	7.992	140	5.512	161	6.339
7.14	.2811	861.1-0714-143A1-GM	*	*	*	*	8.00	206	8.110	143	5.630	164	6.457
7.50	.2953	861.1-0750-150A1-GM	*	*	*	*	8.00	214	8.425	150	5.906	172	6.772
7.94	.3126	861.1-0794-159A1-GM	*	*	*	*	8.00	225	8.858	159	6.260	183	7.205
8.00	.3150	861.1-0800-160A1-GM	*	*	*	*	8.00	226	8.898	160	6.299	184	7.244
8.50	.3346	861.1-0850-170A1-GM	*	*	*	*	10.00	241	9.488	170	6.693	195	7.677
9.00	.3543	861.1-0900-180A1-GM	*	*	*	*	10.00	253	9.961	180	7.087	207	8.150
9.50	.3740	861.1-0950-190A1-GM	*	*	*	*	10.00	264	10.394	190	7.480	218	8.583
9.53	.3752	861.1-0953-191A1-GM	*	*	*	*	10.00	265	10.433	191	7.520	219	8.622
10.00	.3937	861.1-1000-200A1-GM	*	*	*	*	10.00	278	10.866	200	7.874	230	9.055
10.50	.4134	861.1-1050-210A1-GM	*	*	*	*	12.00	295	11.614	210	8.268	241	9.488
11.00	.4331	861.1-1100-220A1-GM	*	*	*	*	12.00	307	12.087	220	8.661	253	9.961
11.11	.4374	861.1-1111-222A1-GM	*	*	*	*	12.00	310	12.205	222	8.740	256	10.079
11.50	.4528	861.1-1150-230A1-GM	*	*	*	*	12.00	318	12.520	230	9.055	264	10.394
12.00	.4724	861.1-1200-240A1-GM	*	*	*	*	12.00	330	12.992	240	9.449	276	10.868

Calidad de la broca enteriza.

GC34 (HC) – M25 (M15-M30)

Sustrato de metal duro de grano fino combinado con una capa de recubrimiento nanoestructurado de PVD de TiAlN. Ofrece una seguridad de la línea del filo muy buena, así como gran dureza y tenacidad en esta calidad. El recubrimiento proporciona una superficie suave para una excelente evacuación de las virutas. Una buena elección para la producción mixta en todo tipo de materiales.

Anexo B. Especificaciones broca guía

DETALLE	Símbolo	Descripción
Código de tamaño de conexión	CZC	12
diámetro de corte	Dc	12 mm
longitud utilizable	LU	258
longitud total	OAL	327,055 mm
longitud de desahogo para viruta	LCF	276 mm
longitud de punta	PL	2,18382 mm
ángulo de punta	SIG	140 deg
grupo estándar básico	BSG	COROMANT
tolerancia del agujero alcanzable	TCHA	H9
Código de modelo de entrada del refrigerante	TSYC	1: axial concentric entry
Calidad	GRADE	GC34
numero de filos efectivo frontal	ZEFF	2
Longitud funcional	LF	324,81618 mm
diámetro del cuerpo	BD	12 mm
longitud del cuerpo	LB	282,055 mm
mano	HAND	R
ángulo de desprendimiento ortogonal	GAMO	19,8318 deg
peso del elemento	WT	0,311
recubrimiento	COATING	PVD
código del material del cuerpo	BMC	2

código de modelo de salida de refrigerante	CXSC	1: axial concentric exit
diámetro de conexión	DCON	12 mm
código de diseño de desahogo	FDC	SSK
ángulo de hélice de desahogo	FHA	29,13728084 deg
numero de desahogos	NOF	2
rectificaciones máximas	NORGMX	3
ID de paquete de emisión	RELEASEPACK	12,1
longitud de rectificado	RGL	10 mm
velocidad de giro máxima	RPMX	50000 rpm
relación de diámetro de longitud utilizable	ULDR	21,5

Anexo C. Parámetros para determinar la fuerza específica de corte (K_c).

$$K_c = K_{c1} * (f_z * \sin(K_r))^{-m_o} * \left[1 - \frac{\gamma_o}{100} \right]$$

Según el código MC del catálogo Sandvik del material de trabajo se seleccionan los parámetros de fuerza específica de corte (K_{c1}), el factor exponencial m_o y la dureza nominal.

Código MC	Grupo de materiales	Subgrupo de materiales	Proceso de fabricación	Tratamiento térmico	nom	Fuerza de corte específica, K_{c1} (N/mm ²)	m_o							
P5.0.Z.AN	5	0	Z	fojado/laminado/ estirado en frío	AN	recocido	200 HB	1800	0.21					
P5.0.Z.HT					HT	endurecido+revenido	330 HB	2300	0.21					
P5.0.Z.PH					PH	templado por precipitación	330 HB	2800	0.21					
P5.0.C.UT				0	grupo principal	C	fundición	UT	sin tratar	250 HB	1900	0.25		
P5.0.C.HT								HT	endurecido+revenido	330 HB	2100	0.25		
P5.1.Z.AN								5	1	acero de fácil mecanizado	Z	fojado/laminado/ estirado en frío	AN	recocido
M1.0.Z.AQ	1	0	Z	fojado/laminado/ estirado en frío	AQ	recocido/templado con agua o recocido	200 HB	2000	0.21					
M1.0.Z.PH	1	0	Z	en frío	PH	templado por precipitación	300 HB	2400	0.21					
M1.0.C.UT					UT	sin tratar	200 HB	1800	0.25					
M1.1.Z.AQ					1	maquinabilidad mejorada (como SANMAC)	Z	fojado/laminado/ estirado en frío	AQ	recocido/templado con agua o recocido	200 HB	2000	0.21	
M1.1.Z.AQ				2					acero de fácil mecanizado		AQ	200 HB	1800	0.21
M1.3.Z.AQ				3					estabilizado Ti		AQ	200 HB	1800	0.21
M1.3.C.AQ				3	0	grupo principal	C	fundición	AQ		200 HB	1800	0.25	
M2.0.Z.AQ	2	superaustenítico, Ni≥20%	AQ	200 HB					2300		0.21			
M2.0.C.AQ	2	0	C	fundición	AQ	200 HB	2150	0.25						
M3.1.Z.AQ	3	1	Z	fojado/laminado/ estirado en frío	AQ	recocido/templado con agua o recocido	230 HB	2000	0.21					
M3.1.C.AQ							1	>60% ferrita (regla práctica N<0.10%)	C	fundición	AQ	230 HB	1800	0.25
M3.2.Z.AQ		2	2	Z	fojado/laminado/ estirado en frío		AQ	260 HB	2400	0.21				
M3.2.C.AQ								2	<60% ferrita (regla práctica N≥0.10%)	C	fundición	AQ	260 HB	2200

El parámetro γ_o corresponde al ángulo de desprendimiento ortogonal como se muestra en la tabla de especificaciones de la broca guía del anexo A.2.

La broca guía seleccionada corresponde a la clasificación de brocas enterizas de metal duro, por lo cual se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

Brocas enterizas de metal duro:

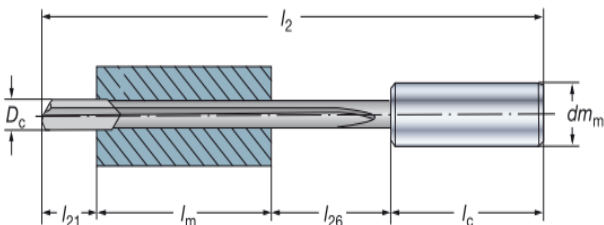
$$f_z = f_n/2$$

$$KAPR = 70^\circ$$

Anexo D. Catálogo de selección broca cañón

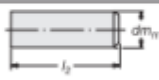
Gun Drills

Solid carbide heads CoroDrill® 428.9 and 428.2



l_2 = Overall length with or without driver
 D_c = Drill diameter
 l_{21} = Addition for regrinding
 l_m = Depth of hole
 l_{26} = Minimum chip evacuation distance
 l_c = Length of drive
 dm = Driver diameter

Diameter range		Ordering code	Dimensions, millimeter, inch (mm, in.)			
D_c mm	D_c inch	P M K N S	l_{21} mm	l_{21} in.	l_{26} mm	l_{26} in.
1.90-2.60	.075-.102	xxxxx-AAAA-BBB	10	.394	25	.984
2.61-3.35	.103-.132	xxxxx-AAAA-BBB	13	.512	25	.984
3.36-4.05	.133-.159	xxxxx-AAAA-BBB	13	.512	30	1.181
4.06-5.15	.160-.202	xxxxx-AAAA-BBB	19	.748	30	1.181
5.16-7.05	.203-.277	xxxxx-AAAA-BBB	23	.906	30	1.181
7.06-8.55	.278-.336	xxxxx-AAAA-BBB	25	.984	40	1.575
8.56-13.05	.337-.513	xxxxx-AAAA-BBB	25	.984	50	1.969
13.06-18.05	.514-.710	xxxxx-AAAA-BBB	25	.984	55	2.165
18.06-23.00	.711-.905	xxxxx-AAAA-BBB	30	1.181	65	2.559
23.01-26.50	.906-1.043	xxxxx-AAAA-BBB	35	1.378	65	2.559
26.51-32.00	1.044-1.259	xxxxx-AAAA-BBB	40	1.575	80	3.150
32.01-40.50	1.260-1.594	xxxxx-AAAA-BBB	45	1.772	90	3.543

Drivers for gun drills 428.2 and 428.9	Diameter range, mm	Driver ³⁾	Dimensions, mm						Shank type
	D_c mm	No.	dm_m	D_1	l_1	l_2	l_{21}	l_c	
	0,98- 1,94	004	4	-	-	30	-	-	Cylindrical
	1,90- 4,50	006	6	-	-	36	-	-	
	1,90- 7,30	010	10	-	-	40	-	-	
	1,90-12,40	016	16	-	-	48	-	-	
	1,90-15,90	020	20	-	-	50	-	-	
	6,00-19,50	025	25	-	-	56	-	-	

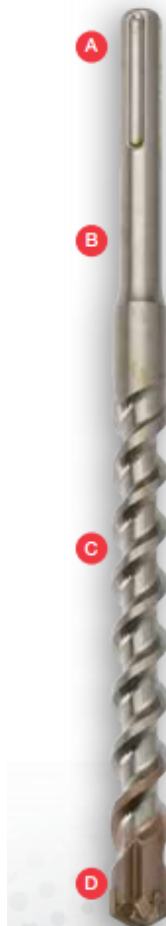
Anexo E. Broca para taladrado de coque



SDS Max Hammer Drill Bits

Perfect for.....

Heavy duty, large diameter and deep hole drilling



Manufactured to top industry standards at our factory in Sheffield, all our SDS Max feature:

- A** Precision machined shanks which operate in SDS Max machines and are manufactured to Bosch and PGM specifications
- B** European sourced high alloy steel to ensure strength and durability
- C** Automatically straightened on purpose made machines to 75% above PGM tolerance targets for a smoother drilling action with less machine stress
- D** Proven flute geometries which enable maximum spoil removal, speed and durability

SDS Max can be used in:

- Heavy duty concrete
- General concrete
- Hard bricks
- Soft bricks
- Lightweight blocks
- Natural stone
- Constructional granite
- Limestone

SDS Max are ideal when drilling holes for:

- Fixings and anchors
- Through holes for cables & wires
- Through holes for pipes
- Pilot holes for coring
- Property maintenance

Material	SDS Max	SDS Plus Qfds	SDS Plus a-line	K-Taper	Threaded Shank	Professional Masonry	Standard Masonry
Heavy Duty Concrete	●	●	■	●	●	●	■
General Concrete	●	●	●	●	●	●	●
Hard Bricks	●	●	■	●	●	●	■
Soft Bricks	●	●	●	●	●	●	●
Lightweight Blocks	●	●	●	●	●	●	●
Natural Stone	●	●	●	●	●	●	●
Constructional Granite	●	●	■	●	●	●	■
Limestone	●	●	●	●	●	●	●

Product selector...
Simply choose the material you need to drill and use our rating guide to choose which is the best tool for you.

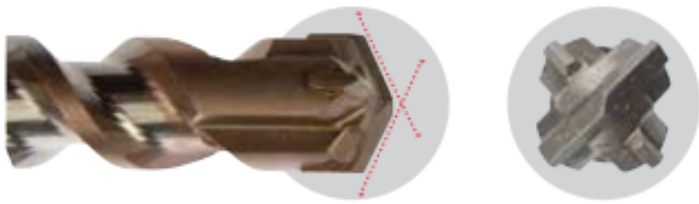
Since 1973 Carbide Tipped hammer drill bits have been at the heart of our manufacturing heritage. Over the years our ranges have expanded and evolved leaving us in the enviable position of being the UK's only manufacturer of Carbide Tipped masonry and hammer drill bits. The SDS Qfds shank design is unique to Armeg and provides users with an easy-location option when inserting SDS Plus hammer drill bits in to chuck machines.

● Very suitable
● Suitable
● Suitable but better alternative
■ Not suitable

Como se puede verificar el catalogo ARMEG la broca Bosch seleccionada de denominación HC5073 1-1/4"X36" SDS Max Rotary Hammer bit es la mejor opción para taladrar materiales como rocas naturales y piedra caliza, que presentan propiedades de mayor resistencia al corte que el coque.

SDS Max Cross Head

The high quality solution for truer, rounder holes – ideal for precise technical fixing applications.



Cross Head Design
Unique Armeg Cross Head design ensures all 4 cutting edges work at the same time to provide a smoother drilling action

Carbide Side Tips
Purpose designed carbide side tips are complimentary cutters to the main carbide tip and help provide a more effective drilling action

Deep Clearways
Deep precision machined clearways in between carbide tips allow spoil to flow quickly away from the cutting edge, avoiding trapped material and providing longer tool life

Co-Planer Faceting
The 30° rake angle on the main carbide tip is matched by an identical 30° facet on the supporting steel. This allows spoil to flow along an uninterrupted path down the carbide edge for faster drilling and longer life

Anexo F. Especificaciones del motor.

Motores trifásicos de baja tensión

Tablas de selección

Motores estándares 1LE1/1LA7/1LG4 y
N-COMPACT 1LA8/1PQ8 de una velocidad, EFF2, IP55

Tablas de selección

Referencia (alternativa 1LA7 para versiones no disponibles como 1LE1)	Relación entre par de arranque y par nominal M_A/M_N	corriente de arranque y corriente nominal I_A/I_N	par máximo y par nominal M_K/M_N	Clase par	Momento de inercia J kgm ²	Ruido Presión so- nora en sup. de medida 50 Hz L_{pA} dB(A)	Potencia sonora 50 Hz L_{WA} dB(A)	Máxima velocidad mecánica admisible ¹⁾ n_{max} min ⁻¹	Conductores en paralelo necesarios 230 V 400 V 500 V 690 V
8 polos 750 min ⁻¹ a 50 Hz 900 min ⁻¹ a 60 Hz, clase F, utilización B, IP 55									
1LA7 070-8AB□□	1,9	2,2	1,7	13	0,0008	36	47	3000	aluminio
1LA7 073-8AB□□	2,2	2,2	2	13	0,0008	36	47	3000	
1LA7 080-8AB□□	1,7	2,3	1,9	13	0,0014	41	52	3000	
1LA7 083-8AB□□	2	2,6	2,2	13	0,0017	41	52	3000	
1LA7 090-8AB□□	1,6	2,9	1,8	13	0,0023	41	53	3000	
1LA7 096-8AB□□	1,7	3	1,9	13	0,0031	41	53	3000	
1LA7 106-8AB□□	1,9	3	2,2	16	0,0056	60	72	3000	
1LA7 107-8AB□□	2	3,2	2,3	16	0,0078	60	72	3000	
1LA7 113-8AB□□	1,9	3,4	2,1	16	0,0094	63	75	3000	
1LA7 130-8AB□□	1,7	3,9	2,4	13	0,019	63	75	3000	
1LA7 133-8AB□□	1,8	3,9	2,2	13	0,024	63	75	3000	
1LA7 163-8AB□□	1,7	3,8	2,3	13	0,044	63	75	3000	
1LA7 164-8AB□□	1,6	4	2,2	13	0,056	63	75	3000	
1LA7 166-8AB□□	1,7	3,8	2,2	13	0,077	63	75	3000	

Anexo G. Curvas de operación del motor.

S

Protocolo de pruebas especiales - Motor Trifásico Parte 1

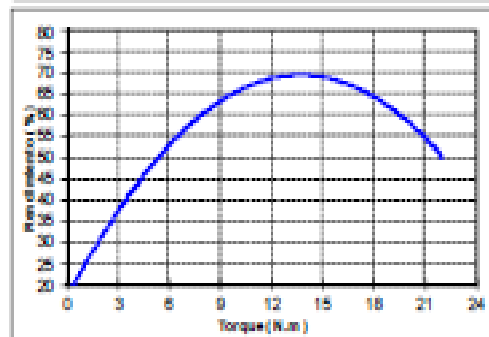
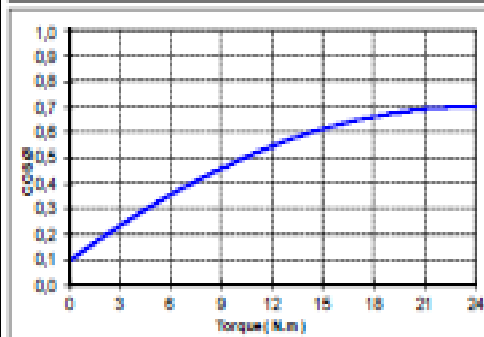
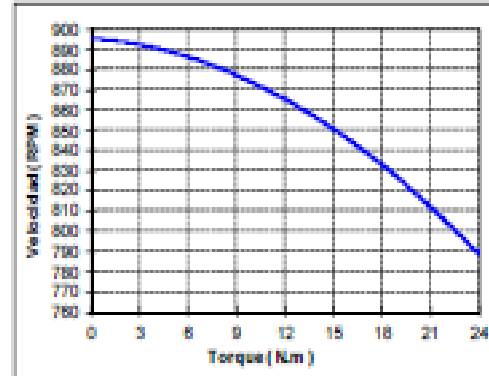
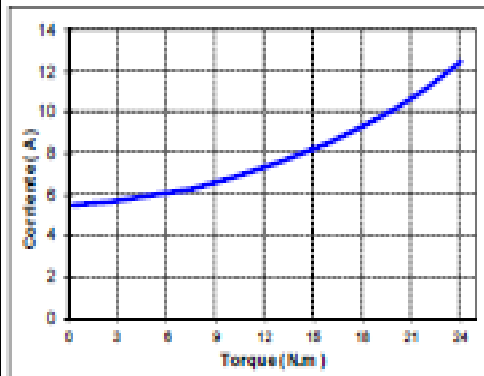
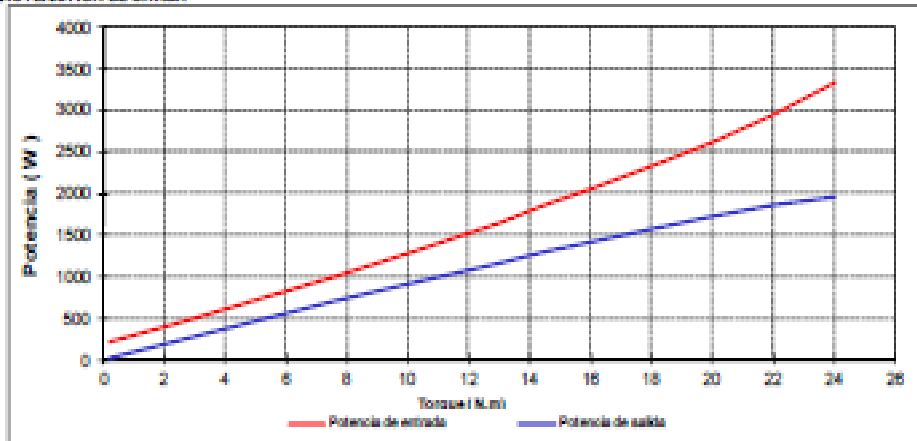
División: Industry

Departamento PLM-MO

04/12/2014

REFERENCIA	1LA7 111-8Y880	VOLTAJE	220 / 440	V	YYY
POTENCIA	1.5 HP 1,119 kW	CORRIENTE	7,4/ 3,7	A	AFS
CALCULO	891.44802A	VELOCIDAD	850	rpm	
No DE FABRICA		FACTOR DE SERVICIO	1,15		

CARACTERISTICA DE CARGA



ELABORADO	JOSÉ DURÁN	REVISADO	LUIS ACUÑA	HOLIA	1/1
-----------	------------	----------	------------	-------	-----

Formato Base : F4206001.001

Código Documento : F73n703.301

Anexo H. Anexo propiedades mecánicas del acero.

❖ Acero AISI 1045 hot rolled

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	7.85 g/cc	0.284 lb/in ³	

Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Brinell	179	179	
Hardness, Knoop	200	200	Converted from Brinell hardness.
Hardness, Rockwell B	88	88	Converted from Brinell hardness.
Hardness, Vickers	188	188	Converted from Brinell hardness.
Tensile Strength, Ultimate	625 MPa	90600 psi	
Tensile Strength, Yield	530 MPa	76900 psi	
Elongation at Break	12 %	12 %	In 50 mm
Reduction of Area	35 %	35 %	
Modulus of Elasticity	205 GPa	29700 ksi	Typical for steel
Bulk Modulus	140 GPa	20300 ksi	Typical for steel
Poissons Ratio	0.29	0.29	Typical For Steel
Machinability	55 %	55 %	Based on AISI 1212 steel. as 100% machinability
Shear Modulus	80.0 GPa	11600 ksi	Typical for steel

❖ Acero AISI 1020 hot rolled

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	7.87 g/cc	0.284 lb/in ³	

Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Brinell	111	111	
Hardness, Knoop	128	128	Converted from Brinell Hardness
Hardness, Vickers	112	112	Converted from Brinell Hardness
Tensile Strength, Ultimate	380 MPa	55100 psi	
Tensile Strength, Yield	205 MPa	29700 psi	
Elongation at Break	25 %	25 %	
Reduction of Area	50 %	50 %	
Modulus of Elasticity	200 GPa	29000 ksi	Typical for steel
Bulk Modulus	140 GPa	20300 ksi	Typical for steel
Poissons Ratio	0.29	0.29	
Shear Modulus	80.0 GPa	11600 ksi	Typical for steel

Anexo I. Anexo selección de la cuña norma ASME B17-167

ASME B17.1 B7 ■ 0759670 0042532 8 ■

USA STANDARD

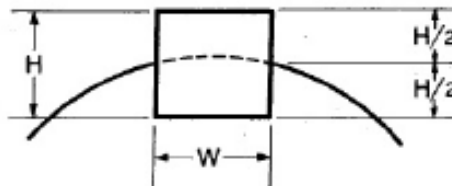


Table 1 Key Size Versus Shaft Diameter

NOMINAL SHAFT DIAMETER		NOMINAL KEY SIZE			NOMINAL KEYSEAT DEPTH	
Over	To (Incl.)	Width, <i>W</i>	Height, <i>H</i>		<i>H/2</i>	
			Square	Rectangular	Square	Rectangular
5/16	7/16	3/32	3/32		3/64	
7/16	9/16	1/8	1/8	3/32	1/16	3/64
9/16	7/8	3/16	3/16	1/8	3/32	1/16
7/8	1-1/4	1/4	1/4	3/16	1/8	3/32
1-1/4	1-3/8	5/16	5/16	1/4	5/32	1/8
1-3/8	1-3/4	3/8	3/8	1/4	3/16	1/8
1-3/4	2-1/4	1/2	1/2	3/8	1/4	3/16
2-1/4	2-3/4	5/8	5/8	7/16	5/16	7/32
2-3/4	3-1/4	3/4	3/4	1/2	3/8	1/4
3-1/4	3-3/4	7/8	7/8	5/8	7/16	5/16
3-3/4	4-1/2	1	1	3/4	1/2	3/8
4-1/2	5-1/2	1-1/4	1-1/4	7/8	5/8	7/16
5-1/2	6-1/2	1-1/2	1-1/2	1	3/4	1/2
6-1/2	7-1/2	1-3/4	1-3/4	1-1/2*	7/8	3/4
7-1/2	9	2	2	1-1/2	1	3/4
9	11	2-1/2	2-1/2	1-3/4	1-1/4	7/8
11	13	3	3	2	1-1/2	1
13	15	3-1/2	3-1/2	2-1/2	1-3/4	1-1/4
15	18	4		3		1-1/2
18	22	5		3-1/2		1-3/4
22	26	6		4		2
26	30	7		5		2-1/2

*Some key standards show 1-1/4 in. Preferred size is 1-1/2 in.
 Shaded areas: See Part 3, page 1.
 All dimensions given in inches.

Anexo J. Especificaciones de la pistola neumática WF-30



» **Model:** WF-030

» **Category:** [Pneumatic Tools](#) > [Impact Wrench](#)

» Description

APPLICATIONS AND FEATURES:

- Die cast aluminum body designed in lightweight, lower vibration, lower noise, great power.
- High torque and speed adjusted quickly and strongly for finishing works in short time.
- Different torque and speed adjustable follow different working requirements and conditions.
- Safety and easy operation
- Good application for general repair works on cars, trucks, heavy equipments and assembly&disassembly jobs on different machinery.

1"EXTENDED ANVIL AIR IMPACT WRENCH (SINGLE HAMMER)

FEATURES:

- Built-in adjustable speed regulator.oil bath lubrication
- Removable side handel for greater control
- Extended anvil reaches into deep truck wheel easily
- Ideal for general repair work on trucks,tires and heavy equipments
- Side exhaust
- Packge:1box/ctn

WF-030 Kit

- Available sockets for choose:32mm,33mm,34mm

Free speed	Air consumption	Max torque	Bolt capacity	Length	Weight	Working Pressure	Air Inlet	Size of Ctn	G.W./N.W.
RPM	CFM	N-M FT-LB	mm	mm in	KG LB	Mpa		cm	Kgs
45000	15	2500 1850	41	570 22.44	14 30.8	0.6-1.0	1/2"	72.5x25.8x18	14/15

Anexo K. Estimación de la fuerza específica de corte del coque

Propiedades mecánicas del taladrado en el coque: teniendo en cuenta ecuaciones definidas para las velocidades de penetración de las rocas que se requieren bajo las condiciones de operación dadas y las propiedades de los materiales de la broca y el coque, se obtuvieron los datos relevantes de velocidad de avance recomendada y fuerza específica de corte como se muestra en la siguiente tabla.

Parámetro	Ecuación	Valores mínimos
Diámetro de corte	D_c	32 mm
Velocidad de corte	V_c	$90 \frac{m}{min}$
Velocidad por revolución	f_n	$0,1 \frac{mm}{rev}$
Velocidad del husillo	$N_1 = \frac{1000 * V_c}{\pi * D_c}$	900 rpm
Factor de penetración de la roca	R_f	135
Esfuerzo uniaxial de compresión (UCS)	S_c	34 Mpa
Fuerza aplica sobre la broca por unidad de longitud	$W = \frac{N_1}{5,7 * 10^{-5} * (R_f - 28 * \log(0,145 * S_c))}$	$0,89 \frac{Kg}{mm}$
Velocidad del husillo en rev/h	N	54000 rph
Área	$A = \frac{\pi * dc^2}{4}$	$8 * 10^{-4} m^2$
Fuerza aplicada sobre la broca	F	182 N
Coeficiente de esfuerzo de la broca	CRS	0,64
Energía específica	$E_s = 13900 * CRS + 15500$	$24396 \frac{Lb}{in^2}$

Energía específica en $[N/m^2]$	$S = E_s * 6904,5$	$1,68 * 10^8 \frac{N}{m^2}$
Torque	$T = \left(\frac{S * A - F}{2 * \pi} \right) * \frac{P}{N}$	2,15 Nm
Potencia neta	$P_c = \frac{T_c * \pi * N_1}{30 * 10^3}$	0,2 Kw
Fuerza específica de corte	$k_c = \frac{240 * 10^3}{f_n * \pi * V_c * D_c}$	$200 \frac{N}{mm^2}$

Fuente: Bhalchandra V. Gokhale. Rotary drilling and blasting in large surface mines. 2011 CRC Press, chapter 9.

FACTOR DE PENETRACION DE LA ROCA (R_f)

Rock description	Uniaxial comp. strength psi	Uniaxial comp. strength MPa	Rock factor
Very Hard	More than 30000	More than 207	61
Hard	15000–30000	103–207	180
Moderate	10000–15000	69–103	100
Soft	5000–10000	34–69	135
Very Soft	1000–5000	7–34	200
Extremely Soft	Less than	1000 Less than 7	300

En esta tabla se relaciona los resultados del esfuerzo uniaxial de compresión del coque con el tipo de roca de descripción suave para la operación de taladrado con un factor de roca adimensional de 200.

COEFICIENTE DE ESFUERZO EN LA ROCA (CRS)

Rock name	CRS	Rock name	CRS
Humboldt Iron Silicate	2.39	Shelly Limestone	0.57
Hornblende Schist	1.64	Mount Iron Taconite	1.47
Granite Pegmatite	0.77	Aurora Taconite	2.62
Wausau Quartzite	0.78	Babbitt Taconite	2.84
Wausau Argillite	2.28	Sabbitt Diabase	2.44
Mankato Stone	0.45	Ely Gabbro	1.21
New Ulm Quartzite	0.75	Trap Rock	0.64
Jaspar Quartzite	1.01	Anorthosite	0.73
Rockville Granite	0.84	Duluth Basalt	2.11
Charcoal Granite	1.21	Marble	0.98
Diamond Gray Granite	0.82	Primax Gabbro	1.02
Dresser Basalt	2.86	Iron Ore	1.23

En esta tabla se relaciona el coeficiente de esfuerzo CRS del tipo particular de roca Trap rock.

Anexo L. Tapa Weco.

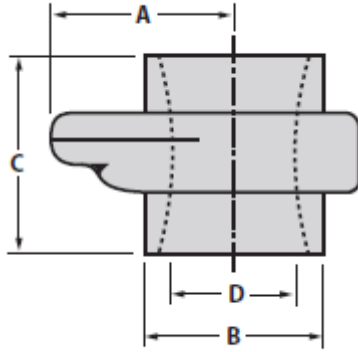


Figure 200 - 2,000 psi (138 bar) cold working pressure

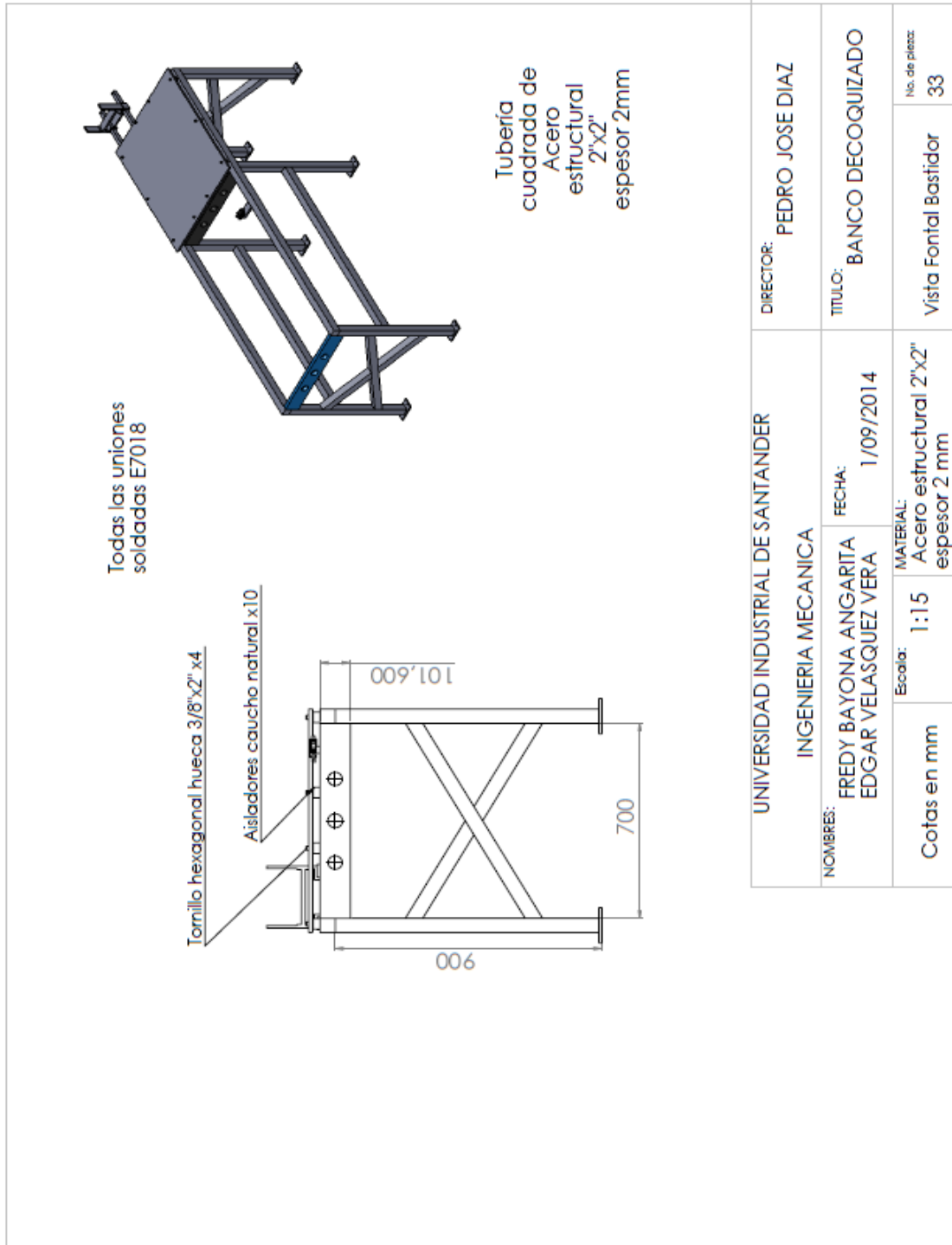
Nominal Pipe Size	in.	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4
Union Part No. Qty/Carton		3200829 40	3200960 28	3200773 28	3200778 16	3200899 10	3200782 6	3200912 4
A Clearance Radius	in. mm	1 1/8 50	2 1/4 57	2 1/2 64	3 76	3 1/2 90	4 102	4 1/2 119
B Outside Diameter	in. mm	1 1/2 40	2 51	2 1/4 57	2 3/4 74	3 1/2 84	4 1/2 104	5 1/2 130
C End-to-end Threaded	in. mm	2 1/2 66	2 3/4 71	2 3/4 71	3 1/2 90	4 1/2 105	4 3/4 115	4 3/4 125
D Inside Diameter	in. mm	1 1/4 28	1 3/4 37	1 3/4 43	2 1/2 55	2 3/4 65	3 1/4 81	4 1/4 106
Weight	lb kg	2 0.9	2 0.9	3 1.4	5 2.3	9 4.1	13 5.9	18 8.2
Material, Sub Material, Nut		CS DI	CS DI	CS DI	DI DI	CS DI	SF SF	SF SF

Figure 206 - 2,000 psi (138 bar) cold working pressure

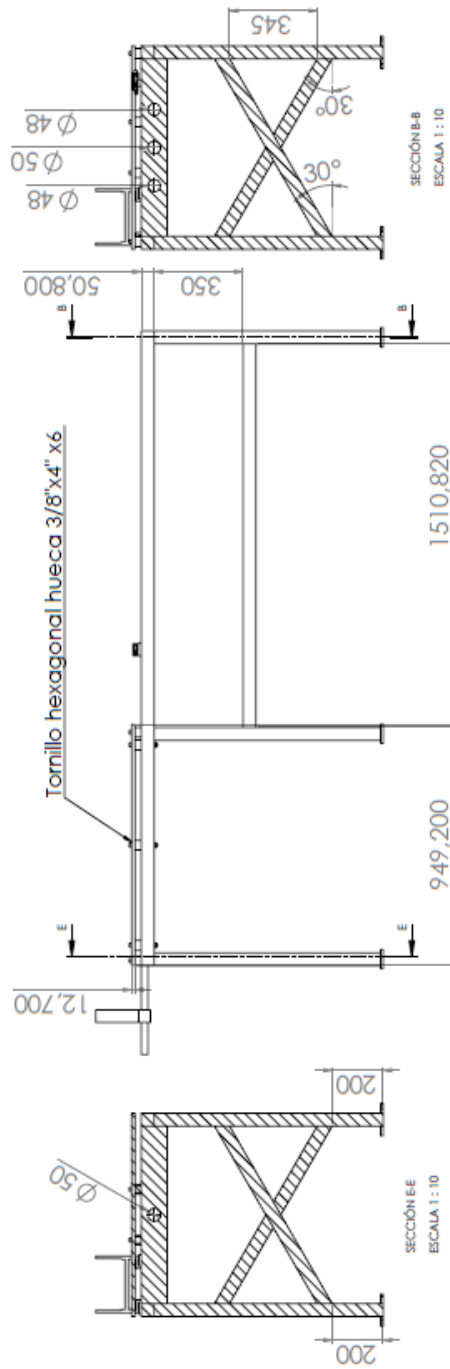
Nominal Pipe Size	in.	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	6	8	10
Union Part No. Qty/Carton		3207627 40	3207633 28	3207636 28	3207281 16	3207278 10	3203048 6	3205449 4	3202521 1	3202552 1	3202566 1
A Clearance Radius	in. mm	2 51	2 1/4 57	2 1/2 64	3 76	3 1/2 90	4 102	4 1/2 119	6 1/4 159	7 1/2 189	9 229
B Outside Diameter	in. mm	1 1/2 40	1 3/4 50	2 1/4 57	2 3/4 71	3 1/2 85	4 1/2 104	5 1/2 130	7 1/2 191	9 1/2 243	11 1/2 292
C End-to-end Threaded	in. mm	2 3/4 67	2 3/4 71	2 3/4 71	3 1/2 83	4 1/2 105	4 3/4 115	5 127	6 3/4 169	7 1/2 183	9 1/2 231
D Inside Diameter	in. mm	1 1/4 28	1 3/4 37	1 3/4 43	2 1/2 55	2 3/4 65	3 1/2 81	4 1/2 106	6 1/2 160	8 1/4 209	10 1/4 262
Weight	lb kg	2 0.9	2 0.9	3 1.4	5 2.3	8 3.6	13 5.9	18 8.2	42 19.1	65 29.5	90 40.8
Material, Sub Material, Nut		CS DI	CS DI	CS DI	SF DI	CS DI	SF SF	SF SF	SF SF	SF SC	SF SC

Materials: AS - Alloy Steel, CS - Carbon Steel, DI - Ductile Iron Casting, SC - Steel Casting, SF - Steel Forging

Anexo M. Planos del banco de decoquizado

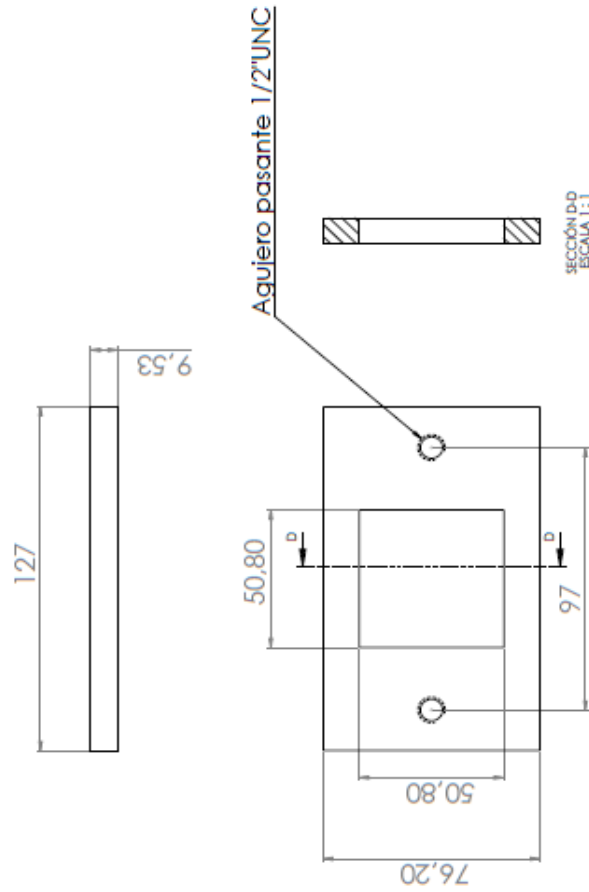
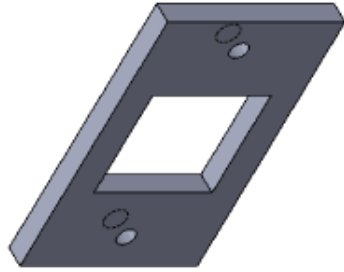


Todas las uniones
soldadas E7018

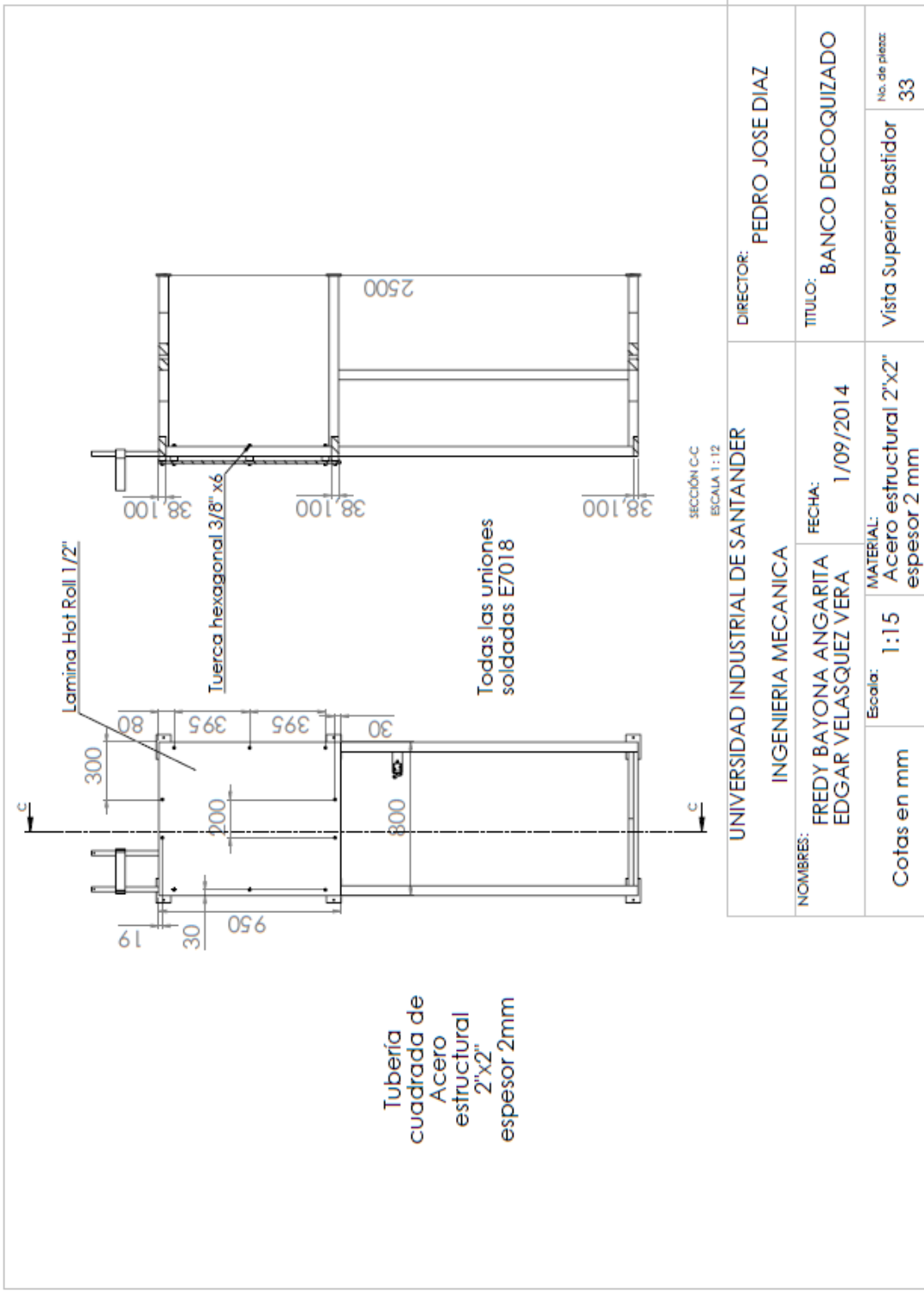


Tubería
cuadrada de
Acero
estructural
2"x2"
espesor 2mm

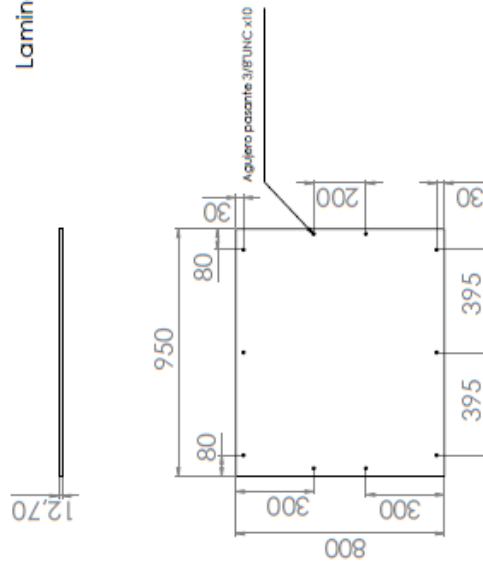
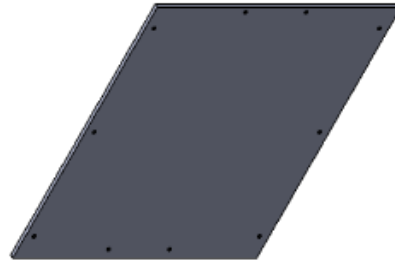
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		DIRECTOR: PEDRO JOSE DIAZ	
INGENIERIA MECANICA		TITULO: BANCO DECOQUIZADO	
NOMBRES: FREDY BAYONA ANGARITA EDGAR VELASQUEZ VERA		FECHA: 1/09/2014	
Escala: 1:15		MATERIAL: Acero estructural 2"x2" espesor 2 mm	
Cotas en mm		No. de plaza: 33	
		Vista Lateral Bastidor	



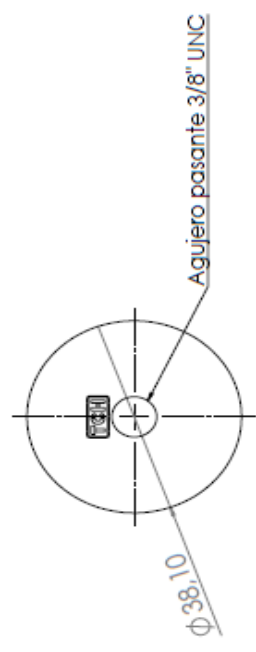
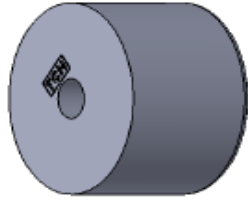
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		DIRECTOR: PEDRO JOSE DIAZ	
INGENIERIA MECANICA		TITULO: BANCO DECOQUIZADO	
NOMBRES: FREYDY BAYONA ANGARITA EDGAR VELASQUEZ VERA	FECHA: 1/09/2014	NOMBRE: Lamina anclaje	No. Pieza 28
Cotas en mm	Escala: 1:1	MATERIAL: Lamina 3/8"	



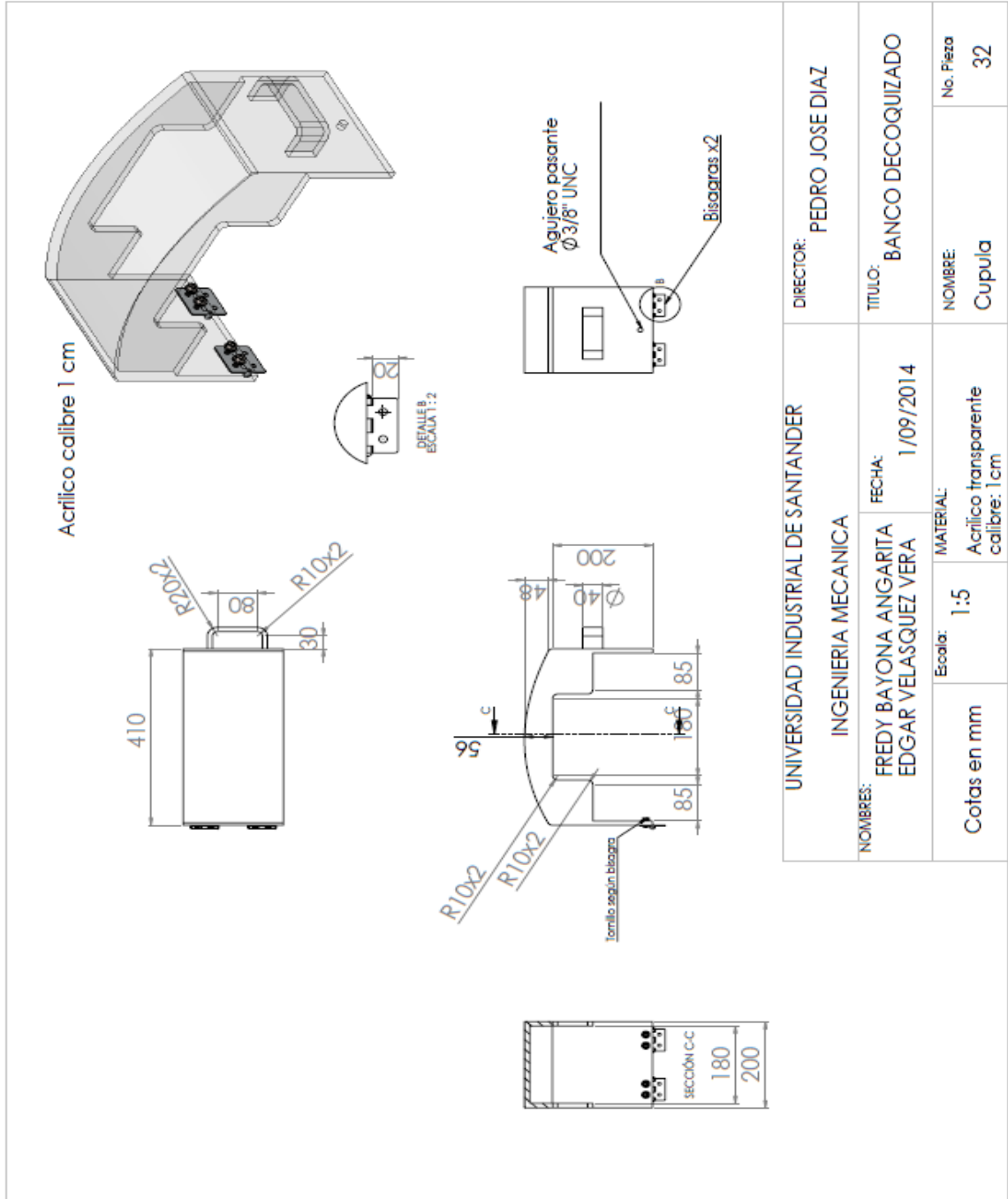
Lamina Hot Roll 1/2"



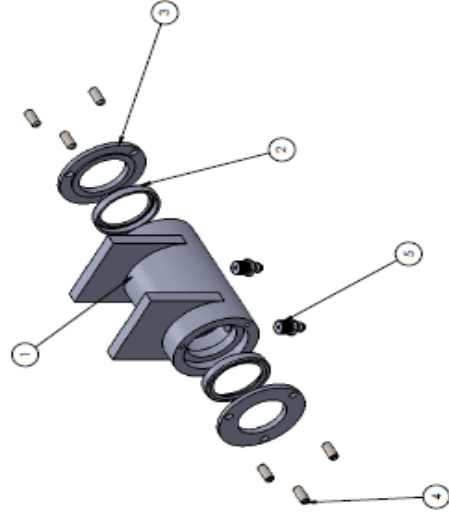
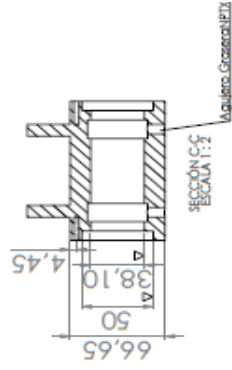
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		DIRECTOR: PEDRO JOSE DIAZ	
INGENIERIA MECANICA		TITULO: BANCO DECOQUIZADO	
NOMBRES: FREYD BAYONA ANGARITA EDGAR VELASQUEZ VERA	FECHA: 1/09/2014	NOMBRE: Lamina sopote motor	
Cotas en mm	Escala: 2:1	No. Pieza 8	
MATERIAL: Lamina Hot Roll 1/2"			



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		DIRECTOR: PEDRO JOSE DIAZ	
INGENIERIA MECANICA		TITULO: BANCO DECOQUIZADO	
NOMBRES: FREYD BAYONA ANGARITA EDGAR VELASQUEZ VERA	FECHA: 09/08/2014	NOMBRE: Aislador	No de Fiezas: 19
Cotas en mm	Escala: 2:1	MATERIAL: Caucho Natural	



PISTA
INTERNA EN
BRONCE



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Buje guía	Buje con patá deslizable de bronce	1
2	almohada	Acero 1045	2
3	Buje	Buje de bronce-lubricado	2
4	33-LA 331 0,25-330,625-R4-C	Pistónero cabeza hexagonal hueco 1/4 30,625 UNC.	6
5	Grasera	Grasera 1041	2

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

INGENIERIA MECANICA

NOMBRES: FREDY BAYONA ANGARITA
EDGAR VELASQUEZ VERA

FECHA: 1/09/2014

DIRECTOR: PEDRO JOSE DIAZ

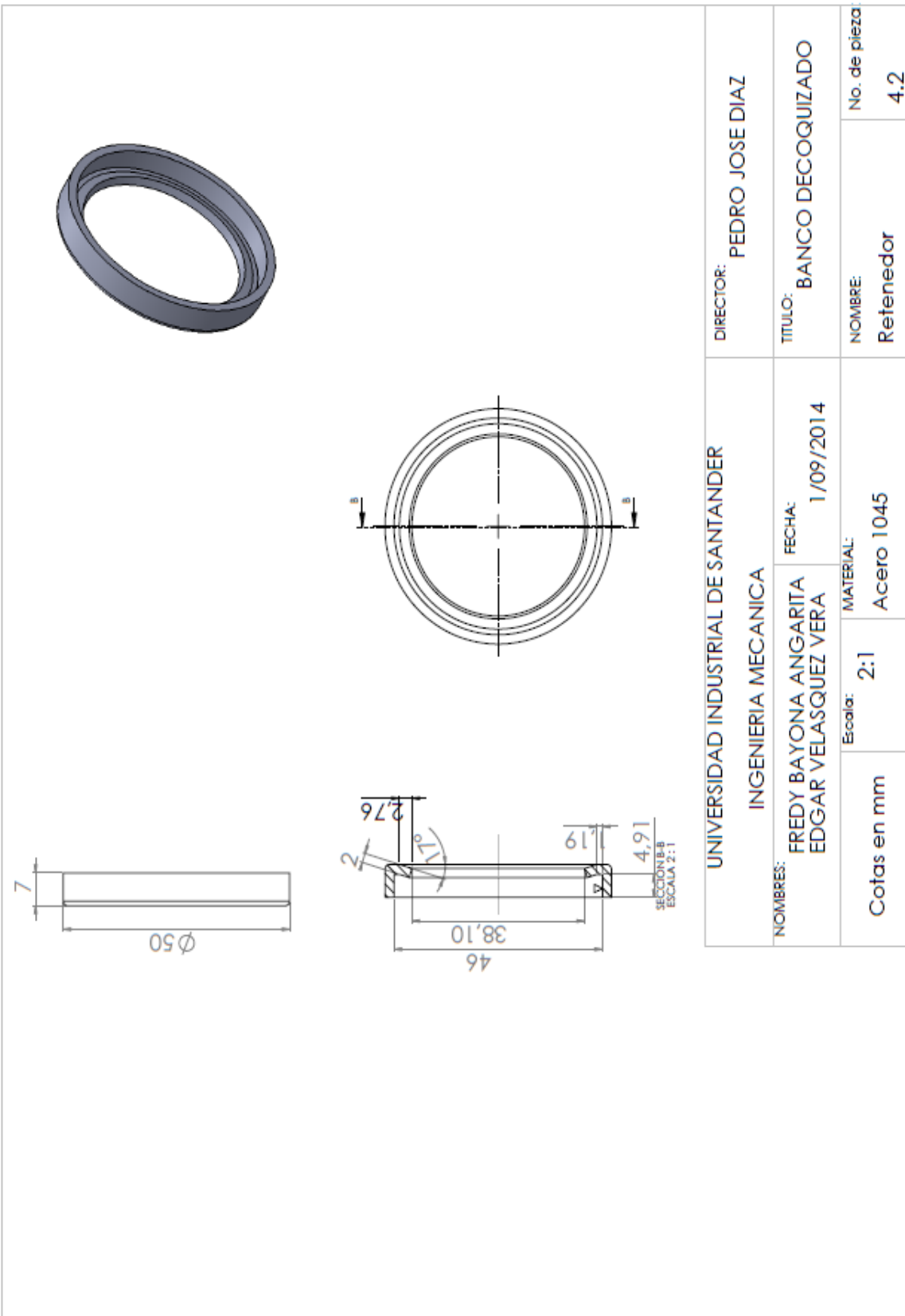
TITULO: BANCO DECOQUIZADO

Escala: 1:1 MATERIAL: Acero 1045-Bronce

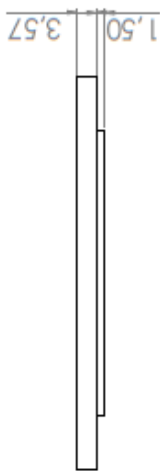
NOMBRE: Explosion Buje

Nº. de pieza 4

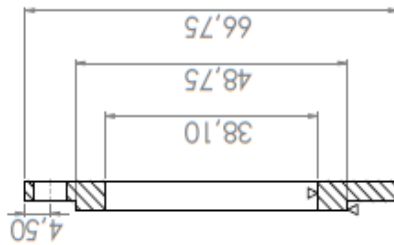
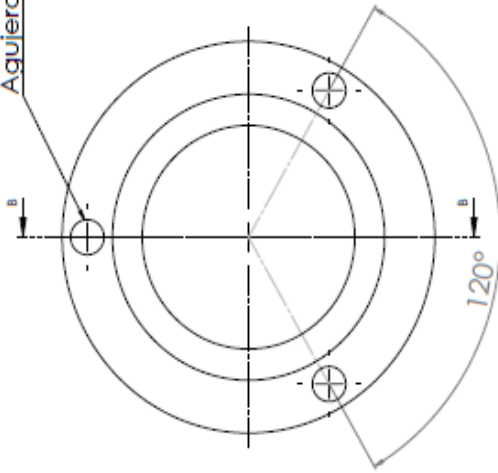
Cotas en mm



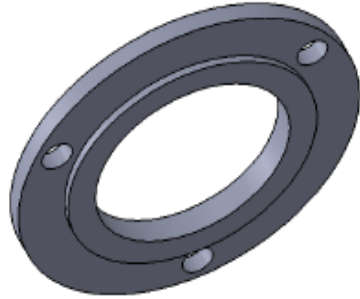
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		DIRECTOR: PEDRO JOSE DIAZ	
INGENIERIA MECANICA		TITULO: BANCO DECOQUIZADO	
NOMBRES: FREDY BAYONA ANGARITA EDGAR VELASQUEZ VERA	FECHA: 1/09/2014	NOMBRE: Refenedor	No. de pieza: 4.2
Cotas en mm	Escala: 2:1	MATERIAL: Acero 1045	



Agujero para Prisionero 1/4" x 3 UNC

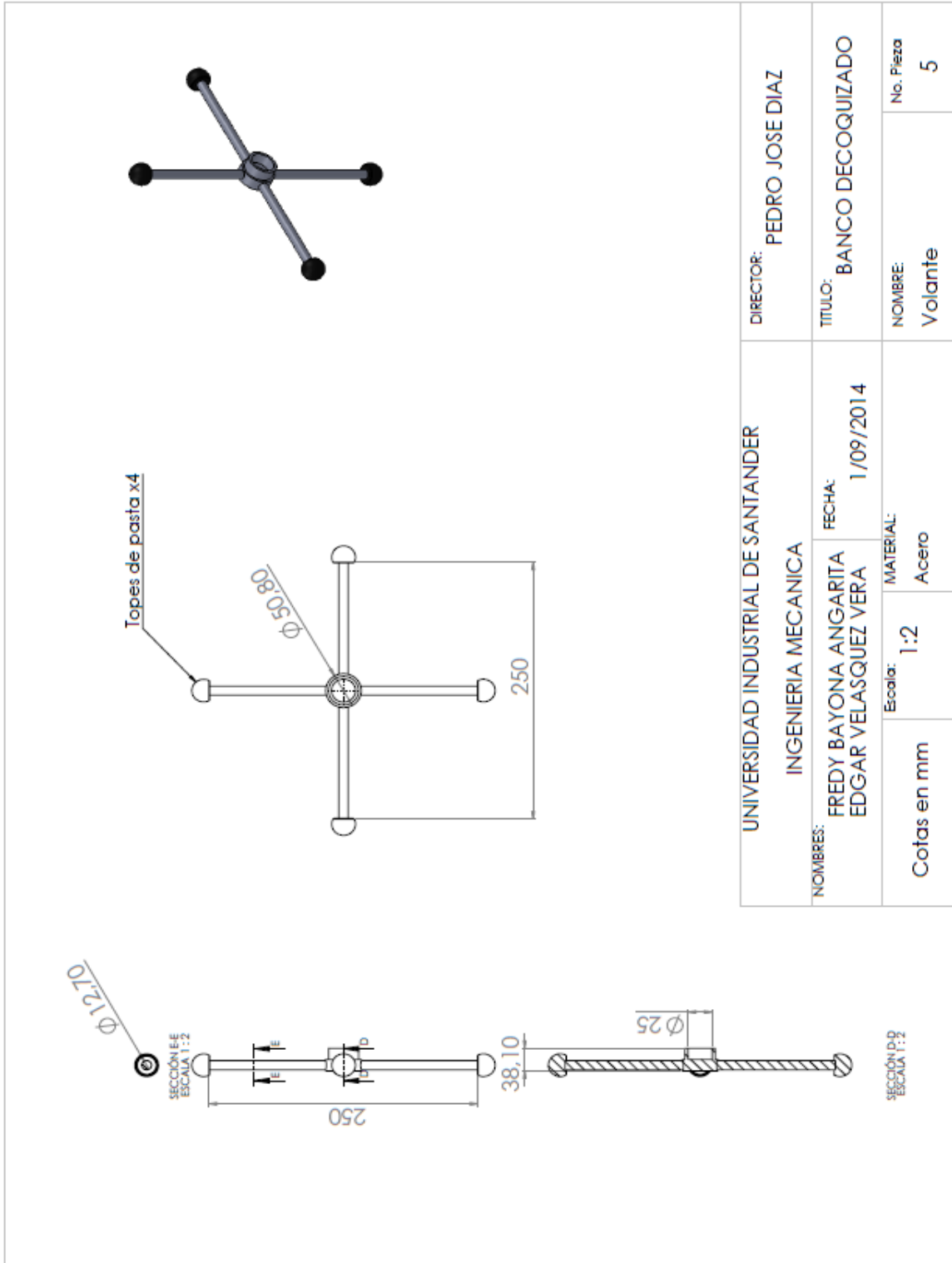


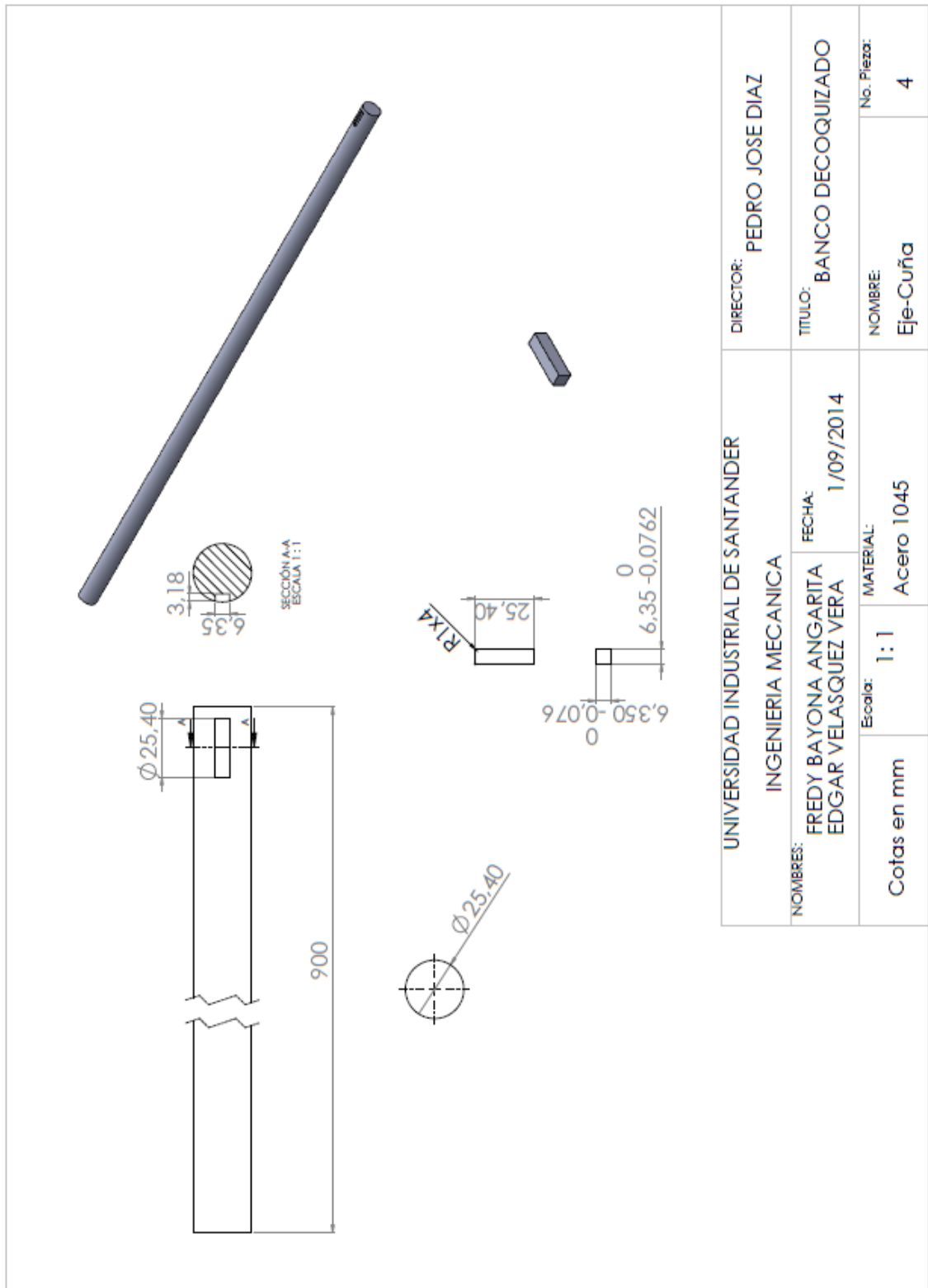
SECCIÓN B-B
ESCALA 2:1



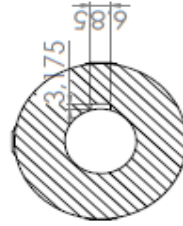
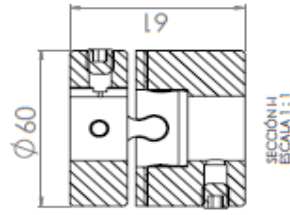
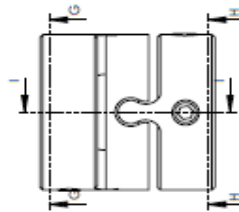
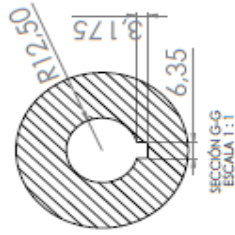
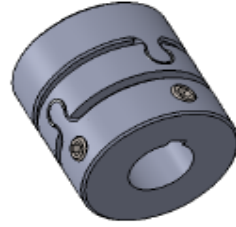
separacion entre agujeros de 120°

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER INGENIERIA MECANICA		DIRECTOR: PEDRO JOSE DIAZ	
NOMBRES: FREDY BAYONA ANGARITA EDGAR VELASQUEZ VERA		FECHA: 1/09/2014	TITULO: BANCO DECOQUIZADO
Cotas en mm	Escala: 2:1	MATERIAL: Acero 1045	NOMBRE: Tapa buje
			No. de piezas: 4.3

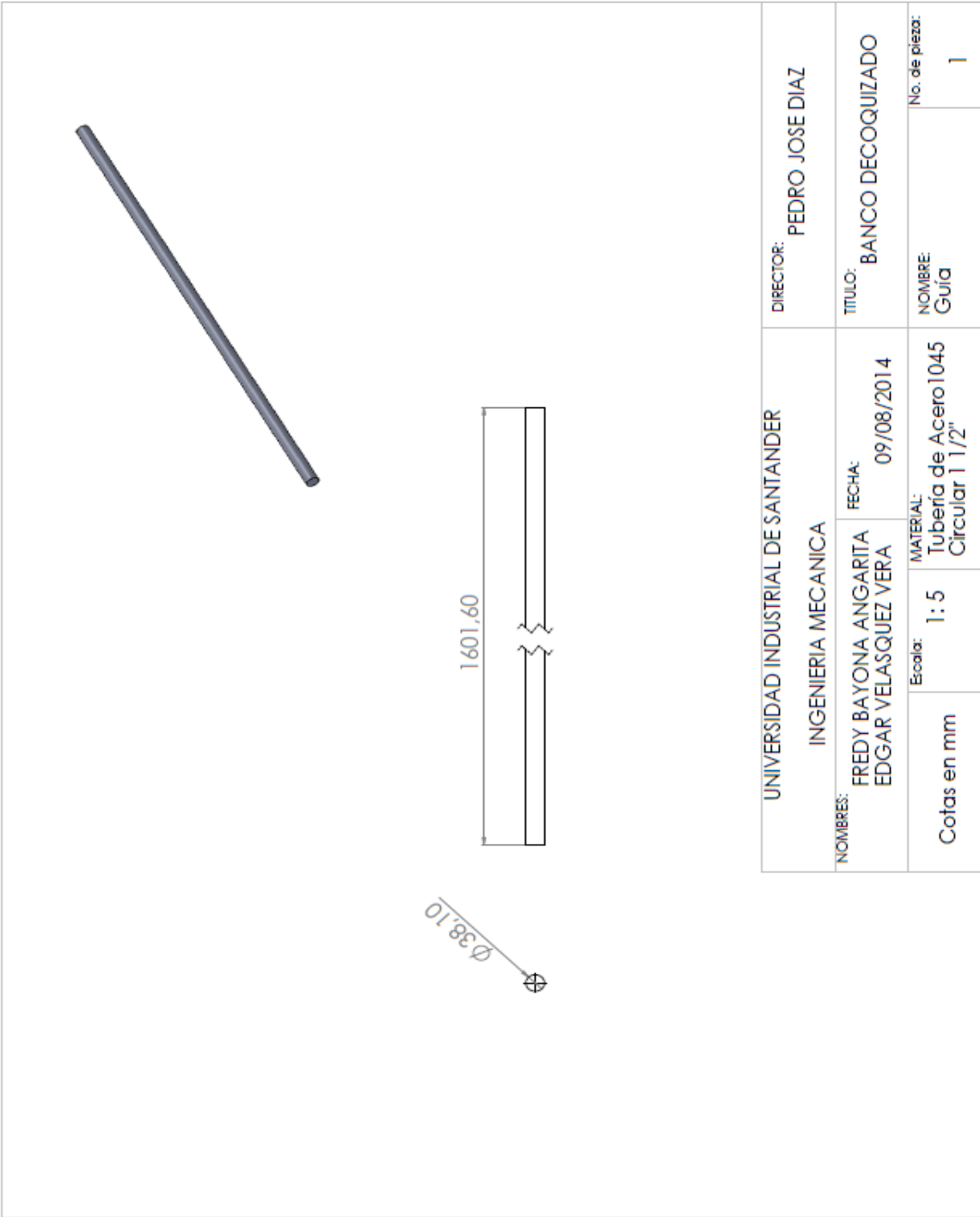


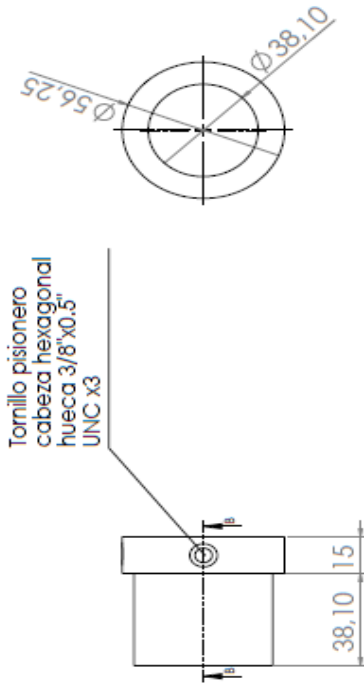
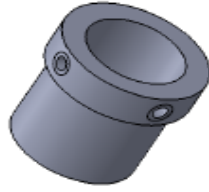


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		DIRECTOR: PEDRO JOSE DIAZ	
INGENIERIA MECANICA		TITULO: BANCO DECOQUIZADO	
NOMBRES: FREDY BAYONA ANGARITA EDGAR VELASQUEZ VERA		FECHA: 1/09/2014	No. Piezas: 4
Cotas en mm		MATERIAL: Acero 1045	NOMBRE: Eje-Cuña
Escala: 1:1			

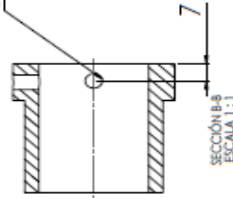


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		DIRECTOR: PEDRO JOSE DIAZ	
INGENIERIA MECANICA		TITULO: BANCO DECOQUIZADO	
NOMBRES: FREDY BAYONA ANGARITA EDGAR VELASQUEZ VERA		FECHA: 1/09/2014	No. Piezo 30
Cotas en mm		MATERIAL: Acero 1045	NOMBRE: Acople
		Escala: 2:1	

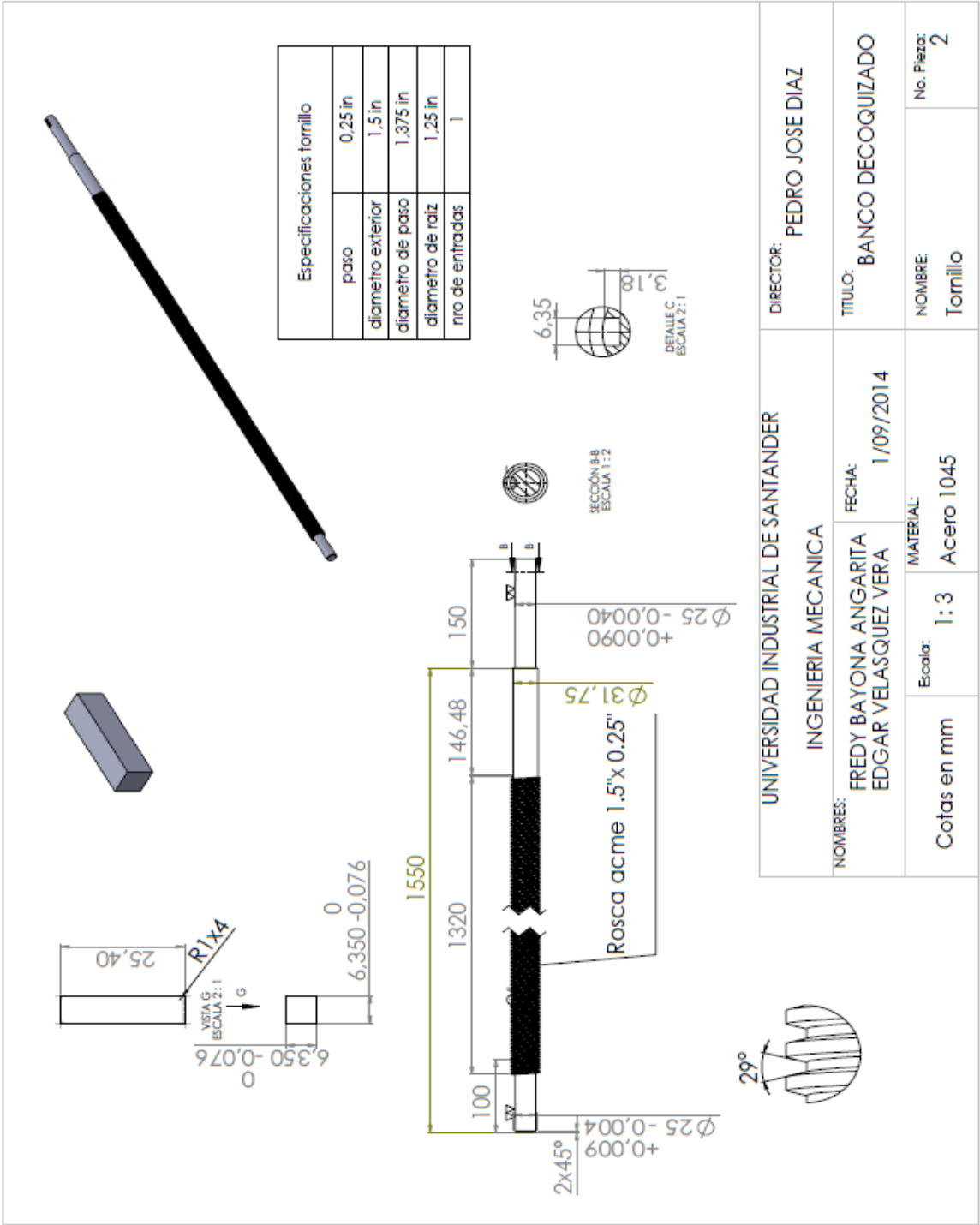




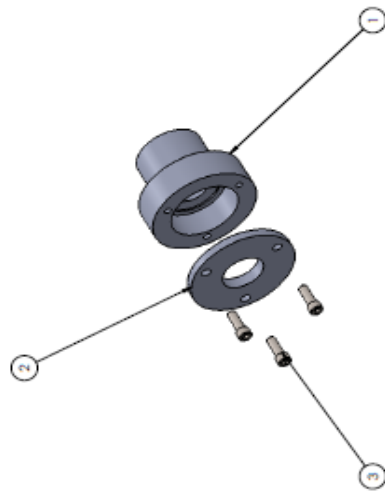
Agujero pasante para prisionero
3/8"UNC X3



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		DIRECTOR: PEDRO JOSE DIAZ	
INGENIERIA MECANICA		TITULO: BANCO DECOQUIZADO	
NOMBRES: FREDY BAYONA ANGARITA EDGAR VELASQUEZ VERA		FECHA: 1/09/2014	No. de pieza: 21-31
Cotas en mm		Escala: 1:1	NOMBRE: Final Guía
		MATERIAL: ACERO 1045	

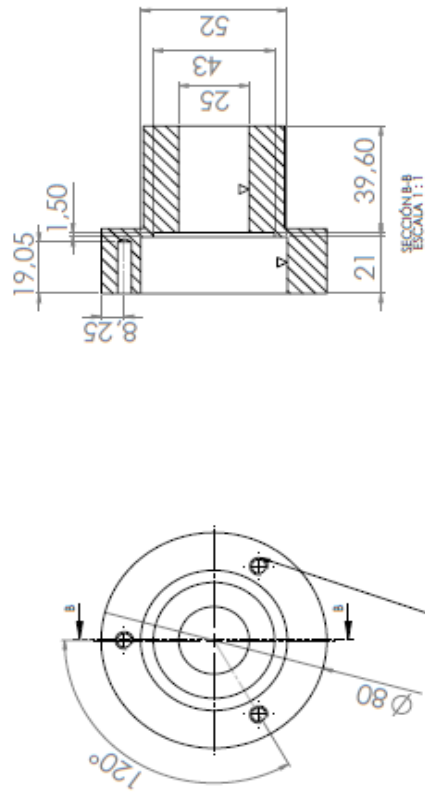
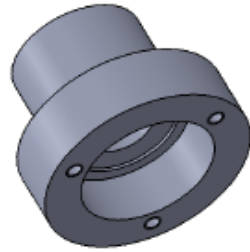
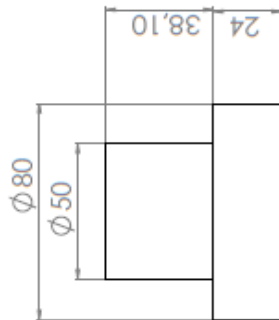


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		INGENIERIA MECANICA		DIRECTOR: PEDRO JOSE DIAZ	
NOMBRES: FREDY BAYONA ANGARITA EDGAR VELASQUEZ VERA		FECHA: 1/09/2014		TITULO: BANCO DECOQUIZADO	
Cotas en mm		Escala: 1:3		MATERIAL: Acero 1045	
				NOMBRE: Tornillo	
				No. Piezas: 2	



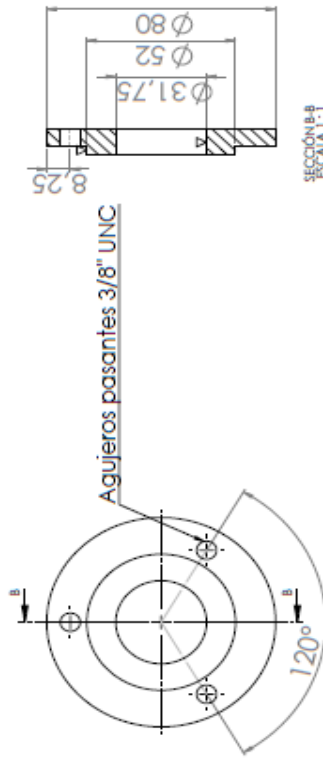
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCION	CANTIDAD
1	Base tornillo	Acero 1045	1
2	Tapa Base tornillo	Acero 1045	1
3	HX-3HCS 0.25-20x1.75d/75-C	Tornillo cabeza hexagonal tuerca 1/4"x3/8" UNC	3

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		DIRECTOR: PEDRO JOSE DIAZ	
INGENIERIA MECANICA		TITULO: BANCO DECOQUIZADO	
NOMBRES: FREDY BAYONA ANGARITA EDGAR VELASQUEZ VERA		FECHA: 09/08/2014	NOMBRE: Explosión tapa tornillo
Cotas en mm		Escala: 1:2	No. de piezas: 20
		MATERIAL: Acero 1045	



Agujero tornillo 1/4"x3/8" UNC X3

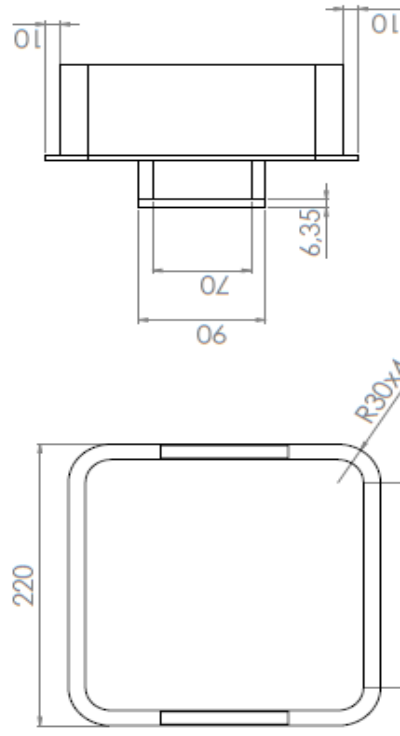
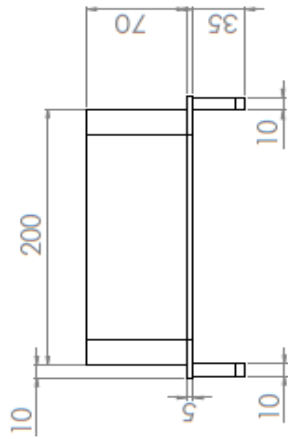
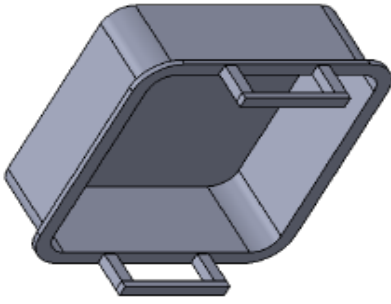
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		DIRECTOR: PEDRO JOSE DIAZ	
INGENIERIA MECANICA		TITULO: BANCO DECOQUIZADO	
NOMBRES: FREDY BAYONA ANGARITA EDGAR VELASQUEZ VERA		FECHA: 1/09/2014	
Escala: 1:1		MATERIAL: Acero 1045	
Cotas en mm		No. Pieza: 20.1	
		NOMBRE: Soporte tornillo	



Agujeros pasantes 3/8" UNC

Separación entre agujeros de 120°

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		DIRECTOR: PEDRO JOSE DIAZ	
INGENIERIA MECANICA		TITULO: BANCO DECOQUIZADO	
NOMBRES: FREDY BAYONA ANGARITA EDGAR VELASQUEZ VERA		FECHA: 1/09/2014	
Escala: 2:1		MATERIAL: Acero 1045	
Cotas en mm		No de pieza: 20.2	
		Nombre: Tapa soporte tornillo	



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
INGENIERIA MECANICA

DIRECTOR: PEDRO JOSE DIAZ

NOMBRES: FREDY BAYONA ANGARITA
EDGAR VELASQUEZ VERA

TITULO: BANCO DECOQUIZADO

FECHA: 1/09/2014

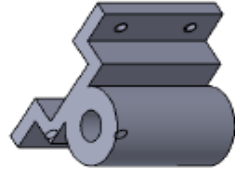
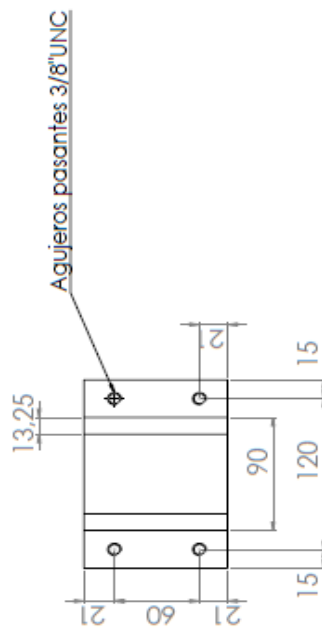
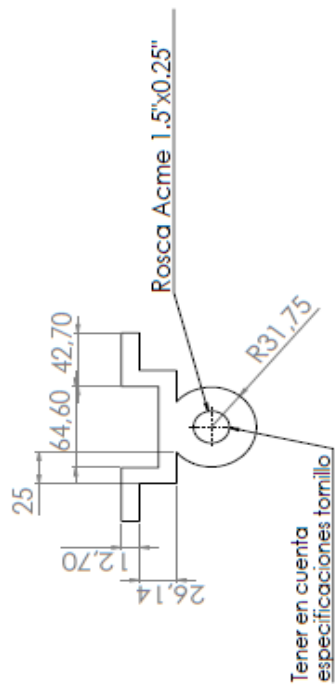
MATERIAL:
Aluminio
lamina espesor 2mm

Escala: 1:2

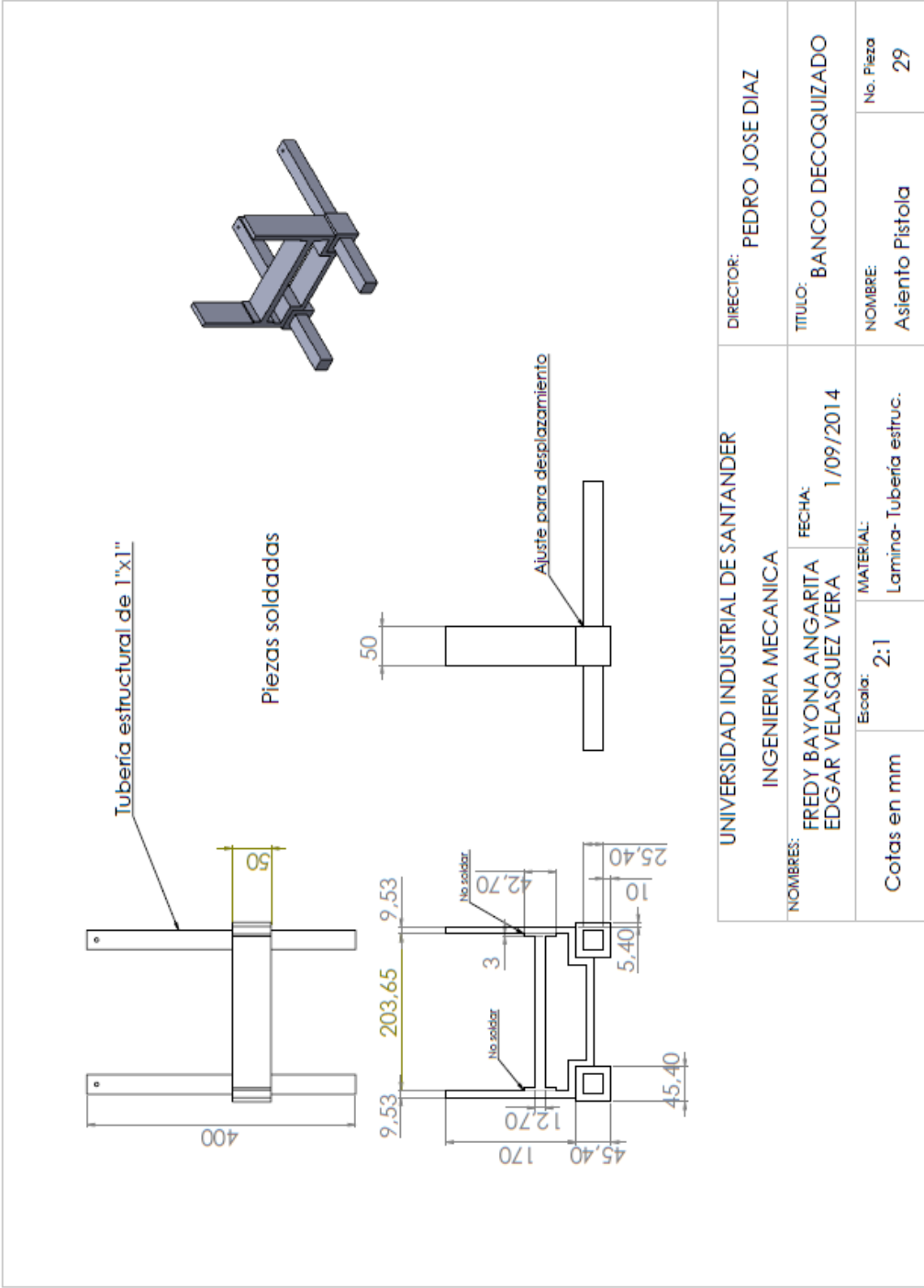
NOMBRE:
Cubeta

No. DE PIEZA:
7

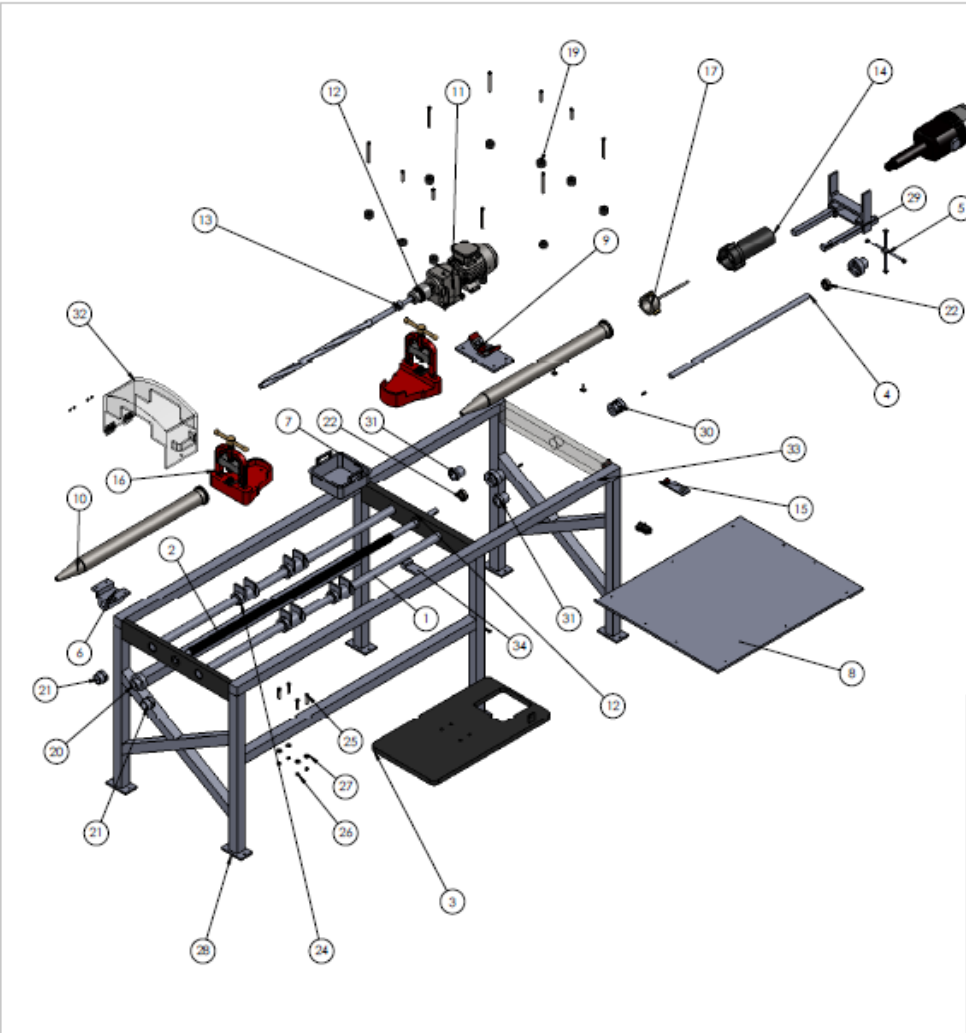
Cotas en mm




UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		DIRECTOR: PEDRO JOSE DIAZ	
INGENIERIA MECANICA		TITULO: BANCO DECOQUIZADO	
NOMBRES: FREYDY BAYONA ANGARITA EDGAR VELASQUEZ VERA	FECHA: 1/09/2014	NOMBRE: Husillo	No. de pieza: 6
Cotas en mm		Escala: 1:2	MATERIAL: Acero 1045



Anexo N. Explosión del banco de decoquizado



N.º DE PIEZA	NOMBRE DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Cilindro guía	Acero 1045 $\varnothing 1.5"$	2
2	Tomillo rosca Acme	1.5"x0.25"	1
3	Lamina Soporte	Lamina Hot roll 1"	1
4	Eje	Acero 1045	1
5	Cruceca	Volante Acero 1045	1
6	Huillo	Acero 1045 Rosca Acme 1.5"x0.25	1
7	Cubeta	Lamina de Acero Inox.	1
8	Lamina soporte motor	Lamina Hot Roll 1/2"	1
9	Soporte de tubería de triax. bolas	Rigid soporte reactor	1
10	Reactor	Reactor ASTM	2
11	Motor	Motor trifasico 1.5hp@900rpm 220Volts	1
12	Mandril	Mandril de 3/4"	1
13	Broca	Broca Bosch	1
14	Negativo	Negativo desacople tapa Hammer	1
15	Pulsador ON/OFF	Pulsador Siemens	1
16	Horquilla Rigid	Horquilla	2
17	Tapa reactor	Tapa weco	1
19	Aislador	Aislador de caucho natural	10
20	Tapa Tomillo Rosca Acme	Acero 1045	3
21	Terminal barra guía	Acero 1045	2
22	SKF - 6205 - RSH*	Rodamiento rigid de bolas	3
24	Buje	Buje de bronce-Lubricado	4
25	tomillo prisionero	cabezahexagonal hueco 3/8" UNF	4
26	Tuerca	Tuerca hexagonal 3/8" UNF	4
27	Regulador FW 0.375	Arandela 3/8"	10
28	Lamina anclaje	Lamina 3/8"	6
29	Asiento Pistola Neumatica	Riel Posicionamiento Pistola Wuhu	1
30	Acople	Acople para ejes	1
31	terminal barra guía	Acero 1045	2
32	Cupula	Domo de protección-material Acrilico	1
33	Estructura	Buje con pista deslizable de bronce	4
34	Soporte para Sensor	Lamina soporte para sensor	1

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		
INGENIERIA MECANICA		
NOMBRES:		DIRECTOR:
Fredy A. Bayona Edgar A. Velasquez		Pedro J. Diaz
TITULO:		N- DE DIBUJO:
BANCO DECOQUIZADO		Explosión BANCO
ESCALA:	FECHA:	Formato:
1:12	01/09/2014	A2

Anexo O. Ensamble banco de decoquizado.

