

TRITURADORA PULVERIZADORA DE ARCILLA

**JHONNATAN CASTAÑEDA CORZO
JHONNY JEFFREY RAMIREZ CARRILLO**

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

2014

TRITURADORA PULVERIZADORA DE ARCILLA

**JHONNATAN CASTAÑEDA CORZO
JHONNY JEFFREY RAMIREZ CARRILLO**

Trabajo de grado para optar al título de ingeniero mecánico

Director

JABID EDUARDO QUIROGA MENDEZ

Ingeniero Mecánico

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

2014

DEDICATORIA

A DIOS, pues su presencia diaria en mí, me dio la fortaleza suficiente para
cumplir mis sueños.

A mis padres, Graciela y Hernando

Que con su apoyo incondicional en todos los aspectos de mi vida, lograron
formarme y encaminarme por el buen camino.

A mi nonita Olimpa

Por ser parte fundamental de mi formación como persona

A mis hermanos

Por su presencia en cada una de las decisiones tomadas.

A mis tíos y primos

Que siempre estuvieron con las palabras precisas de apoyo.

A mi novia

Que estuvo apoyándome y acompañándome durante toda mi carrera.

JHONNATAN CASTAÑEDA CORZO

A Dios

Por haberme brindado salud, la fuerza y oportunidad para no renunciar a mis sueños.

A mi mamita

Por hacer todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por esa motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero mas que nada gracias por confiar en mí y ser mí amiga, por brindarme ese amor siempre tan natural y sincero que llenan mi vida de mucha felicidad.

A mi papá

Por ser mi orgullo, por sus ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por su acompañamiento, dedicación y haberme dado la mano cuando sentía que el camino y mi vida terminaban, a usted por siempre mi amor y agradecimiento.

A mi hermano

Gracias por ser una motivación mas para seguir con mi vida, por su acompañamiento en esos momentos tan difíciles que hemos pasado y que hoy Gracias a Dios solo son una bonita experiencia, pero más le agradezco por ser mi amigo.

A mi novia

Por su acompañamiento incondicional, su amor, apoyo, comprensión y sus deseos de verme siempre bien.

Y por último, a todas y cada una de las personas que nunca dudaron que lograria este triunfo y contribuirón a que lograra esta meta que me propuse en la vida.

JHONNY JEFFREY RAMIREZ CARRILLO

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Jabid Eduardo Quiroga, ingeniero mecánico, director de proyecto y amigo, por su respaldo, confianza y colaboración oportuna.

A nuestros padres y familiares por el apoyo y la ayuda que recibimos de ellos.

Al taller Leal Rojas Ltda. Por el acompañamiento y conocimientos brindados en la etapa de construcción de la máquina.

Al profesor Ricardo Jaimes por las asesorías prestadas.

A Henry cruz.

A Pedro Caldas de la División de Mantenimiento Tecnológico.

A todos nuestros amigos.

A todas las personas que de una u otra forma nos acompañaron y apoyaron para desarrollar satisfactoriamente este proyecto.

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

JHONNATAN CASTAÑEDA CORZO

JHONNY JEFFREY RAMIREZ CARRILLO

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	23
1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	24
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	24
1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA.....	25
1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO	26
1.3.1 Objetivos Generales	26
1.3.2 Objetivos Específicos.	26
1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN	27
1.4.1 Herramienta de modelado y simulación escogida	27
2. MARCO TEÓRICO.....	29
2.1 ANTECEDENTES	29
2.2 TIPOS DE ARCILLA.....	29
2.2.1 Según existan en la naturaleza.	29
2.3 CARACTERÍSTICAS DE LAS ARCILLAS.....	30
2.4 PROPIEDADES DE LA ARCILLA.	31
2.4.1 Plasticidad:	32
2.4.2 Merma:	32
2.4.3 Refractoriedad:.....	32
2.4.4 Porosidad:	32
2.4.5 Color:	32
3. PROCESOS DE MOLIENDA	34

3.1 TIPOS DE MOLINOS	34
3.1.1 Molino de Rodillos	34
3.1.2 Molino de barras.....	35
3.1.3 Molino de bolas	35
3.1.4 Molino de Martillos.....	36
3.2 REDUCCIÓN DE TAMAÑO	37
3.2.1 Tamaño del material y Grado de Trituración:	38
3.2.2 Determinación del diámetro medio del trozo:	39
3.2.3 Definición de los sistemas de trituración	39
3.2.4 Equipos involucrados en la reducción de tamaño.	40
3.2.5 Esfuerzos, Deformaciones unitarias.....	44
4. CÁLCULOS Y DISEÑO DE LAS PARTES	47
4.1 CAPACIDAD DE MOLIENDA.....	47
4.2 DISEÑO DE LOS MARTILLOS PARA LA TRITURACIÓN DE LA ARCILLA...49	
4.3 MATERIAL DE LOS MARTILLOS	51
4.4 CALCULO DE LA ENERGÍA DE TRITURACIÓN DE LA ARCILLA.....	52
4.4.1 Ley de Von Rittinger:.....	52
4.5 CÁLCULO DE LA VELOCIDAD ANGULAR DEL ROTOR	57
4.6 CÁLCULO DE LA VELOCIDAD TANGENCIAL FINAL.....	58
4.7 CÁLCULO DE LA VELOCIDAD ANGULAR FINAL (ω_c).....	60
4.8 FALLA POR CIZALLADURA	63
4.9 FALLA POR TRACCIÓN	65
4.10 DISEÑO DEL EJE DEL ROTOR DEL MOLINO	66

4.11 FUERZAS QUE ACTÚAN SOBRE EL EJE DEBIDO A LA CARGA DE LOS MARTILLOS.....	67
4.11.1 Cálculo del Torque de Pulverización (T_p):.....	67
4.11.2 Fuerza de Pulverización:	68
4.11.3 Fuerzas sobre el eje debidas a la transmisión por correas	69
4.11.4 Peso del Rotor.....	71
4.12 SIMULACIÓN (ANÁLISIS ESTÁTICO) DEL MARTILLO EN SOLIDWORKS	72
4.12.1 Cálculo de las Reacciones en el Molino	76
4.12.2 Criterio de Soderberg:	81
4.12.3 Material del Eje:.....	82
4.13 SIMULACIÓN (ANÁLISIS ESTÁTICO) DEL EJE EN SOLIDWORKS:	85
4.14 DISEÑO DE LOS DISCOS DEL ROTOR	88
4.14.1 Material de los Discos del Rotor:.....	91
4.14.2 Efecto de la Fuerza Centrífuga Sobre los Discos:	91
4.14.3 Efecto de la Fuerza Pulverizadora sobre el Disco:	93
4.14.4 Efecto de corte en los puntos de aplicación de fuerzas sobre el Disco:	94
4.14.5 Cálculo del espesor de los Discos (b):	94
4.15 DISEÑO DE LOS EJES DE ROTACIÓN DE LOS MARTILLOS.....	96
4.15.1 Longitud de los ejes (L_e):	96
4.16 SIMULACIÓN (ANÁLISIS ESTÁTICO) DEL EJE DE ROTACIÓN DE LOS MARTILLOS EN SOLIDWORKS:	100
4.17 DISEÑO DEL PROTECTOR DEL EJE O SEPARADOR DE LOS DISCOS	104
4.18 SELECCIÓN DE CHUMACERAS	105
4.19 SELECCIÓN DE LAS CORREAS	107
4.19.1 Selección del tipo de correa:	107

4.19.2 Relación de transmisión	108
4.19.3 Diámetros de las poleas	109
4.19.4 Distancia entre ejes	109
4.19.5 Longitud de la correa.....	111
4.19.6 Cálculo del arco de contacto:	112
4.19.7 Prestación base de la correa.....	113
4.19.8 Potencia efectiva por correa:.....	113
4.19.9 Calculo del número de correas.....	113
4.20 SELECCIÓN DEL MOTOR PARA EL MOLINO	114
5. CONSTRUCCIÓN DEL MOLINO	116
5.1 CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLAJE DE LAS PIEZAS.....	116
6. PRUEBAS Y RESULTADOS.....	131
CONCLUSIONES	134
RECOMENDACIONES.....	136
BIBLIOGRAFÍA.....	138
ANEXOS.....	140

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Molino de Rodillos.	34
Figura 2. Molino de bolas.....	35
Figura 3. Molino de martillos.....	36
Figura 4. Interior del molino de martillos.....	37
Figura 5. Formas de reducción de tamaño.....	38
Figura 6. Esfuerzo vs deformación para el comportamiento elástico-lineal.....	45
Figura 7. Esfuerzo vs deformación para la deformación de una partícula.....	46
Figura 8. Ubicación de los Martillos y Discos.....	48
Figura 9. Impacto Arcilla – Martillo.....	49
Figura 10. Radio de Giro del Martillo.....	60
Figura 11. Esfuerzos de contacto, Martillo-Arcilla, Arcilla-Pared.....	61
Figura 12. Posición de los Martillos en Reposo.....	62
Figura 13. Posición de los Agujeros del Martillo.....	63
Figura 14. Falla por Desgarramiento.....	63
Figura 15. Fuerzas que actúan sobre el Rotor y zonas Críticas de Carga.....	70
Figura 16. Análisis de Desplazamientos del Martillo.....	73
Figura 17. Análisis de Tensiones del Martillo.....	74
Figura 18. Análisis de Deformaciones Unitarias del Martillo.....	75
Figura 19. Análisis del Factor de Seguridad del Martillo.....	76
Figura 20. D.C.L Plano X-Z del eje principal.....	77
Figura 21. D.C.L Plano Y-Z del eje principal.....	77
Figura 22. Diagrama de cortante plano x-z.....	78
Figura 23. Diagrama de Momento Flector plano x-z.....	79
Figura 24. Diagrama de cortante plano y-z.....	79

Figura 25. Diagrama de Momento plano y-z.....	80
Figura 26. Análisis de Desplazamientos del eje Principal.....	85
Figura 27. Análisis de Tensiones del eje Principal.....	86
Figura 28. Análisis de Deformaciones Unitarias del eje Principal.....	87
Figura 29. Análisis del Factor de Seguridad del eje Principal.....	88
Figura 30. Fuerzas que actúan sobre los Discos.....	92
Figura 31. DCL Eje de rotación de los martillos.....	97
Figura 32. Diagrama de cortante del eje de rotación de los martillos.....	98
Figura 33. Diagrama de Momento Flector del eje de rotación de los martillos.....	98
Figura 34. Análisis de Desplazamientos del eje de rotación de los Martillos.....	101
Figura 35. Análisis de Tensiones del eje de rotación de los Martillos.....	102
Figura 36. Análisis de Deformaciones Unitarias del eje de rotación de los Martillos	103
Figura 37. Análisis del Factor de Seguridad de los ejes de rotación de los Martillos	104
Figura 38. Selección de chumaceras P207 Según catalogo NKB.....	106
Figura 39. Soldadura citodur 600	Figura 40. Tratamiento Térmico.. 116
Figura 41. Martillo Templado	Figura 42. Martillo Maquinado ... 117
Figura 43. Disco Maquinado.....	117
Figura 44. Disco Central.....	118
Figura 45. Eje Maquinado.....	118
Figura 46. Separadores de los Martillos.....	119
Figura 47. Separador de discos Ensamblado.....	119
Figura 48. Ensamblaje De Piezas Del Molino.....	120
Figura 49. Corte De Las Paredes del Molino Con Oxicorte.....	121
Figura 50. Paredes Pulidas.....	121
Figura 51. Material de la Base.....	122
Figura 52. Ensamble paredes del molino y base.....	122
Figura 53. Criba maquinada de mayor diámetro.....	123
Figura 54. Criba maquinada de menor diámetro.....	124

Figura 55. Porta criba soldado a las paredes del molino	124
Figura 56. Criba ensamblada.....	125
Figura 57. Chumaceras	125
Figura 58. Tolva de Entrada de Material	126
Figura 59. Tolva de salida del Material	127
Figura 60. Guarda Bandas Maquinado.....	128
Figura 61. Proceso De Pintura Y Ensamblaje De La Maquina	129
Figura 62. Bloque de Arcilla	131
Figura 63. Arcilla a pulverizar.....	132
Figura 64. Arcilla pulverizada.....	132
Figura 65. Caja de control y pulsador de Seguridad	152
Figura 66. Diagrama de Control.....	153
Figura 67. Diagrama de potencia.....	153

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Propiedades de la arcilla según su color y porosidad	33
Tabla 2. Sistemas de trituración.....	40
Tabla 3. Equipos de trituración y molienda	41
Tabla 3. (Continuación).....	42
Tabla 4. Guía para la selección de los equipos de trituración y molienda	43
Tabla 5. Factores de selección de chumaceras.....	105
Tabla 6. Selección de la sección de correa	108
Tabla 7. Resultados de la prueba de pulverización.	132

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A. CLASIFICACION DEL SUELO SEGÚN SU TAMAÑO.....	141
ANEXO B.FICHA TECNICA DE LA SOLDADURA CITODUR 600.....	142
ANEXO C. ESPECIFICACIONES DE LA CRIBA.....	143
ANEXO D. TABLAS PARA LA SELECCIÓN DE CORREAS.....	143
ANEXO E. PROPIEDADES ACERO 4140	147
ANEXO F. PROPIEDADES ACERO 1045.....	148
ANEXO G. GUIA DE OPERACIÓN, SEGURIDAD Y MANTENIMIENTO DE LA TRITURADORA PULVERIZADORA DE ARCILLA	149
ANEXO H PLANOS	155

GLOSARIO

AMASADO: formado o manipulado como una masa.

ARCILLA: es un suelo o roca sedimentaria constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados, procedentes de la descomposición de rocas que contienen feldespato, como el granito. Presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene, desde el rojo anaranjado hasta el blanco cuando es pura.

CAD: diseño asistido por computadora, por sus siglas en inglés (computer-aided desing).

CAE: ingeniería asistida por computador, por sus siglas en inglés (computer-aided engineering).

DEFORMACIÓN: es el cambio en el tamaño o forma de un cuerpo debido a esfuerzos internos producidos por una o más fuerzas aplicadas sobre el mismo o la ocurrencia de dilatación térmica.

DUREZA: es la oposición que ofrecen los materiales a alteraciones como la penetración, la abrasión, el rayado, la cortadura, las deformaciones permanentes, entre otras.

EFICIENCIA: se define como la capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un objetivo determinado con el mínimo de recursos posibles viable.

ELASTICIDAD: propiedad de un material que le hace recuperar su tamaño y forma original después de ser comprimido o estirado por una fuerza externa.

MODELADO: proceso de creación de una representación o imagen (el modelo) de un objeto real, y consiste en la elaboración manual, generalmente en arcilla o cera, de una imagen tridimensional de dicho objeto.

MOLINO: es un artefacto o máquina que sirve para moler utilizando la fuerza del viento o del agua.

PLASTICIDAD: es la propiedad mecánica de un material, biológico o de otro tipo, de deformarse permanentemente e irreversiblemente cuando se encuentra sometido a tensiones por encima de su rango elástico.

POROSIDAD: es una medida de espacios vacíos en un material, y es una fracción del volumen de huecos sobre el volumen total, entre 0-1, o como un porcentaje entre 0-100%.

PULVERIZACIÓN: procedimiento mediante el cual un cuerpo sólido se convierte en pequeñas partículas de polvo.

REFRACTARIEDAD: propiedad de los tejidos excitables que determina la proximidad con la que pueden producirse dos potenciales de acción.

RENDIMIENTO: es la capacidad de la máquina de hacer su trabajo por unidad de tiempo.

TRITURACIÓN: es el nombre de los diferentes métodos de procesamiento de materiales. El triturado es también el nombre del proceso para reducir el tamaño de las partículas de una sustancia por la molienda, como por moler los polvos en un mortero con un mazo.

RESUMEN¹

TITULO:

TRITURADORA PULVERIZADORA DE ARCILLA

AUTORES:

Jhonnatan Castañeda Corzo

Jhonny Jeffrey Ramirez Carrillo

PALABRAS CLAVES:

Trituradora, pulverizadora, molienda, reducción de tamaño, molino, arcilla.

DESCRIPCIÓN:

El objetivo principal de este proyecto consiste en diseñar y construir un prototipo de una máquina trituradora pulverizadora de arcilla. El resultado al final será una arcilla totalmente pulverizada con una molienda de alta calidad, con la cual se construyen diferentes tipos de ladrillos que posteriormente serán utilizados en la industria de la construcción.

La máquina realiza su trabajo mediante un sistema simple de encendido y apagado que controla el motor eléctrico de 5HP de potencia, el cual suministra la velocidad al molino de martillos mediante un sistema de transmisión de correas y un juego de poleas con una relación de 1.333 entre la polea mayor y la polea menor, además el molino está constituido de un eje principal, 3 discos, 4 ejes porta-martillos y 32 martillos aparte de esto tiene una criba que es la que garantiza la calidad de la molienda y esta soportado por 2 chumaceras, la maquina también cuenta con un dispositivo de seguridad para beneficiar al operario en caso de cualquier contrariedad.

La máquina trituradora pulverizadora de arcilla está diseñada con una geometría y dimensiones de acuerdo a las necesidades del cliente, para brindar una óptima calidad del producto al igual que una sencilla y segura manipulación de la máquina.

*Trabajo de grado

**Facultad de Ingeniería Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica. Ing. Jabid Eduardo Quiroga

ABSTRACT

TITLE:

CRUSHER CLAY POWDER

AUTHORS:

Jhonnatan Castañeda Corzo

Jhonny Jeffrey Ramírez Carrillo

KEYWORDS:

Shredder, spray, grinding, size reduction, mil and clay²

DESCRIPTION:

The main objective of this project was to design and build a prototype of a clay crusher machine. The end result was a totally pulverized clay with a high quality grinding, used to build different types of bricks which will be implemented in the construction industry.

The machine works using a simple on-off control, which acts over an electric 5hp power motor, which supplies the power to a hammer mill through a belt drive system and a set of pulleys with a ratio of 1.333 between larger and lower pulley. The mill consists of a main shaft, 3 discs, 4 axle flail holders and 32 hammers besides that has a sieve, which ensures the milling quality and is supported by two bearings, the machine also features a safety device to benefit the operator in case of any inconvenience.

The clay crusher machine is designed with geometry and dimensions according to customer needs, for optimal quality product as well as a simple and safe handling of the machine.

*Degree Work.

**Physical-Mechanical Engineering Faculty. Mechanical Engineering School. Eng. Jabid Eduardo Quiroga

INTRODUCCIÓN

Los hombres han utilizado los ladrillos como un material de construcción por miles de años. En China, los ladrillos fueron utilizados para construir varias partes de la Gran Muralla. Los ladrillos utilizados en tiempos antiguos eran bloques moldeados a lo bruto producidos de paja y barro, secados al sol. Con la introducción de maquinarias modernas, la arcilla es procesada en forma consistente en tamaños estándares, y horneados para producir ladrillos fuertes, durables y atractivos. Debido a que muchas maquinarias han sido automatizadas en años recientes, los costos de operación, así como el costo de las materias primas han disminuido. Así, la demanda de ladrillos permanece elevada. En consecuencia, la producción de ladrillos es una parte muy importante en la industria de la construcción. Los ladrillos son utilizados en todo tipo de proyectos de construcción alrededor del mundo. Como las construcciones en países desarrollados alrededor del mundo continúan creciendo, entonces la demanda para estos ladrillos también continuará creciendo.

La arcilla es el material básico del ladrillo, debido a que cuando se humedece se convierte en una masa fácil de manejar y se moldea muy fácilmente, por lo que para proceder a fabricar ladrillos, hay que humedecer bien la arcilla. Ya manejable se moldea y para endurecerla y convertirla en ladrillo se procede por el método de secado, éste es de los más antiguos o por cocción que resulta más rápido.

Esta tesis tiene por objetivo implementar un nuevo sistema de producción de arcilla, el cual será versátil y barato, con lo que se pretende reducir los tiempos y maximizar el volumen de producción que actualmente hay en las diferentes ladrilleras de nuestra región. La elección del modelo se basará tomando en cuenta capacidad de molienda, tiempos de producción, espacio físico y costos.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

A continuación se hará una recapitulación de los objetivos planteados, el contexto de aplicación y la forma en que se desarrolla el proyecto.

1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La tierra arcillosa (sin cocer) ha sido utilizada para construir en todos los continentes y en todas las edades de la humanidad, desde que los hombres primitivos decidieron juntarse en asentamientos permanentes. Lo que quiere decir que tiene unos 10.000 años de historia en la edad moderna, se ha estimado que entre un tercio y la mitad de la población del mundo vive en casas hechas de tierra.

A nivel local los procesos de obtención de arcilla para propósitos de producción de ladrillo prensado son ineficientes y demandan tiempo y esfuerzo, por el carácter manual de la operación, el cual se realiza a través del tamizado del material disponible. Se pretende con esta propuesta diseñar y construir un equipo que produzca una arcilla con características adecuadas para la producción de ladrillos de una forma rápida y con un menor esfuerzo.

El presente proyecto busca diseñar y construir una trituradora pulverizadora de arcilla capaz de facilitar la obtención de materia prima de alta calidad y especificaciones requeridas que permita a la Universidad Industrial de Santander ofrecer asesoría a la industria para solucionar los problemas antes expuestos.

1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA

Dado que la situación actual en la industria de la construcción con arcilla se está retomando en nuestro país, y aún más en nuestro departamento donde la evidente falta de inversión y la forma de producción, en mucho de los casos sea obsoleta y rudimentaria, ha hecho que los empresarios se vean interesados en la inversión de procesos, así como también en nueva maquinaria.

La realización de este proyecto se justifica primero desde el punto de vista ingenieril, ya que en el diseño y la construcción del molino se requerirán criterios y parámetros de diseño importantes y necesarios para el buen funcionamiento, y segundo, porque una de las maneras de mejorar la producción y aumentar la competitividad de las empresas, no solo nacionales es el de remplazar los antiguos procesos artesanales de producción donde es utilizada la vida animal para la operación de los molinos , por procesos más eficientes y de alta calidad.

Por lo antes mencionado la importancia de este proyecto es alta, ya que por un lado se reafirmaran y se aplicaran los conocimientos adquiridos durante la carrera y por otro lado, la industria interesada contara con un molino que mejorara la calidad y eficiencia en el proceso de pulverizar arcilla, reduciendo los costos y tiempos de producción.

1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.3.1 Objetivos Generales

Apoyar la formación de personas con alta calidad profesional en el cumplimiento de la misión de la Universidad Industrial De Santander, que generen conocimientos y soluciones a las diferentes necesidades de la industria, especialmente la de la construcción , desarrollando así una máquina trituradora pulverizadora de arcilla cuyos resultados apoyen la formación académica y fomenten su aplicación.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- Diseñar y construir una maquina pulverizadora trituradora de arcilla con una reducción del tamaño de la misma, pasando de grava gruesa (>20mm) a limo (0.02-0.005mm) (ver anexo A), con capacidad de molienda de 200 a 400 Kg/h y molino de martillos montado en estructura metálica con base para motor y soporte de los componentes que cumpla con las siguientes características:
 - Motor eléctrico con potencia alrededor de 5 hp
 - Molino de martillos fabricado en lámina 1045 con revestimiento de soldadura citodur 600. (ver ficha técnica citodur 600 ANEXO B).
 - Tipo de alimentación por tolva a la entrada y salida del molino
 - Criba fabricada en lámina de acero.(ver ANEXO C)
 - Desarrollo de catálogo con especificaciones de uso y mantenimiento respectivo.

- Realizar la simulación del equipo a través de herramientas CAD-CAE teniendo en cuenta los parámetros geométricos, para posteriormente analizar el comportamiento de esfuerzos y deformaciones según las fuerzas que actúan tanto en el eje principal del molino como en los martillos.
- Determinar mediante la experimentación que capacidad de molienda tiene el equipo construido con buena calidad en el producto final (la calidad trata que dicha molienda no sobrepase un tamaño mayor a 0.005mm, en conclusión que pase de grava a limo).

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN

Por medio de la elaboración de este trabajo, se pretende ampliar conocimientos en la línea investigativa de diseño de máquinas; además de llevar a la práctica la construcción de una trituradora pulverizadora, para contribuir en la formación de estudiantes de ingeniería mecánica y personas en general capaces de buscar soluciones a cualquier tipo de problema.

1.4.1 Herramienta de modelado y simulación escogida

Para el análisis de las piezas y los sistemas mecánicos, se debe seleccionar una herramienta computacional que nos permita realizar simulaciones bastante aproximadas para tener un margen de diseño muy confiable y seguro, para complementar las ecuaciones y los modelos matemáticos utilizados durante décadas en el desarrollo de la ingeniería.

Para el modelado de las piezas y componentes de la trituradora pulverizadora de arcilla diseñada, se escogió el software SolidWorks ya que es un programa de

excelentes alcances, en el cual se desarrollara la geometría de todos los componentes que posteriormente serán analizados y finalmente construidos. En los últimos años ha sido una herramienta muy utilizada en nuestra formación como ingenieros, lo que hace que nuestro desempeño en el software sea bastante avanzado, y además nuestra escuela de Ingeniería mecánica cuenta con la licencia de uso.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

Las arcillas se producen por la descomposición de rocas silíceas, feldespatos de las rocas lignas, las mismas que tienen óxido de hierro, feldespato (sodio, potasio y calcio) y cuarzo, pueden clasificarse de distintas maneras según el aspecto que se tenga en cuenta: color, plasticidad, fusibilidad, según se encuentren en la naturaleza, factores todos ellos a tener en cuenta a la hora de elaborar una pieza cerámica, puesto que son de vital importancia en el desarrollo y acabado de la misma. La composición química de las arcillas: Arcilla pura ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (*aluminio, silicio y agua*) Toda arcilla está compuesta por un núcleo de H_2O llamado de adsorción y la capa exterior se la denomina de absorción. Se produce el fenómeno de la higroscopicidad a través del cual las moléculas de arcilla absorben la humedad en el lugar que están o en el medio en el que se encuentran.

La arcilla es una sustancia mineral terrosa compuesta en gran parte de hidrosilicato de alúmina que se hace plástica cuando se humedece y dura semejante a la roca cuando se cuece. Otra definición podría ser la disgregación y descomposición de las rocas feldespáticas durante millones de años para dar lugar a partículas pequeñísimas.

2.2 TIPOS DE ARCILLA

2.2.1 Según existan en la naturaleza.

Podemos hablar de dos tipos de arcillas: las primarias y las secundarias.

2.2.1.1 Arcillas primarias o residuales:

Son las formadas en el lugar de sus rocas madres y no han sido por tanto transportadas por el agua, el viento o el glaciar. Estas tienden a ser de grano grueso y relativamente no plásticas. Cuando han sido limpiadas de fragmentos de roca, son relativamente puras, blancas y libres de contaminación con materiales arcillosos. La mayoría de los caolines son arcillas primarias.

2.2.1.2 Arcillas secundarias:

Son las que han sido desplazadas del lugar de las rocas madres originales. Aunque el agua es el agente más corriente de transporte, el viento y los glaciares pueden también transportar arcilla. Éstas son mucho más corrientes que las anteriores y tienen una constitución más compleja debido a que están compuestas por material procedente de distintas fuentes: hierro, cuarzo, mica, materias carbonosas y otras impurezas.

2.3 CARACTERÍSTICAS DE LAS ARCILLAS.

LA TIERRA PARA ADOBES: Se trata de una arcilla superficial adecuada para hacer adobes o ladrillos secados al sol. Casi no tiene plasticidad y contiene un alto porcentaje de arena.

ARCILLA APEDERNALADA: Es una arcilla refractaria que ha sido compactada en una masa relativamente dura, densa, parecida a la roca.

EL ESQUISTO: Es una roca metamórfica formada por la naturaleza a partir de la arcilla sedimentaria, con poca plasticidad a menos que se pulverice finamente y se deje humedecer durante largo tiempo. Puede utilizarse como aditivo o como principal ingrediente para ladrillos y otros productos pesados de arcilla.

LA BENTONITA: Es una arcilla de origen volcánico. Aunque su composición química es parecida a la arcilla, su naturaleza física difiere en que tiene más material coloidal. Se utiliza para dar plasticidad a las pastas de arcilla y como

emulsionante en los vidriados. No puede utilizarse por sí sola debido a su tendencia a hincharse cuando se humedece y por su pegajosidad y contracción elevada.

ARCILLA PARA TERRACOTA: Arcilla de cocción a bajo fuego que puede utilizarse en la fabricación de grandes piezas de terracota. Tiene un grano grueso que permite un secado rápido y uniforme.

LA BAUXITA O DIÁSPORA: Poseen un alto contenido en alúmina. Pueden ser altamente refractarias y se usan como materia prima para la producción de aluminio metálico.

EL GUMBO: Es una arcilla superficial o del suelo, muy plástica y pegajosa que contiene una cantidad considerable de materia orgánica.

LA GREDA: Arcilla de quema blanca y poca plasticidad. En el comercio se encuentra en forma de polvo o grumos que una vez se haya sedimentado se emplean como engobes sobre cacharros de barro.

OCRE, UMBRA Y SIENA: Arcillas con gran contenido de combinaciones férricas y de manganeso que puede variar por ello es aconsejable efectuar ensayos previamente. Se pueden emplear para colorear algunos tipos de vidrio.

2.4 PROPIEDADES DE LA ARCILLA.

Son muy corrientes y suelen contener hierro y otras impurezas minerales por lo que su grado de cocción es de 950-1.100°C. En bruto esta arcilla es roja, marrón, verdosa o gris por la presencia del óxido de hierro, y tras su cocción puede variar de color. La *arcilla roja común* por sí sola es demasiado plástica, llegando a ser pegajosa, aunque a veces contiene arena u otros fragmentos pétreos que dificultan su plasticidad. La *arcilla azul* contiene mucha cal y se trata de la arcilla más plástica de todas al natural. Estando mojada tiene un color azul grisáceo que

al cocerse se convierte en un color amarillento. Hay quien opina de ella que no es la arcilla ideal debido a que no tiene carácter suficiente y por su falta de color.

2.4.1 Plasticidad:

Mediante la adición de una cierta cantidad de agua, la arcilla puede adquirir la forma que uno desee. Esto puede ser debido a la figura del grano (cuanto más pequeña y aplanada), la atracción química entre las partículas, la materia carbonosa así como una cantidad adecuada de materia orgánica.

2.4.2 Merma:

Debido a la evaporación del agua contenida en la pasta se produce un encogimiento o merma durante el secado.

2.4.3 Refractariedad:

Todas las arcillas son refractarias, es decir resisten los aumentos de temperatura sin sufrir variaciones, aunque cada tipo de arcilla tiene una temperatura de cocción.

2.4.4 Porosidad:

El grado de porosidad varía según el tipo de arcilla. Esta depende de la consistencia más o menos compacta que adopta el cuerpo cerámico después de la cocción. Las arcillas que cuecen a baja temperatura tienen un índice más elevado de absorción puesto que son más porosas.

2.4.5 Color:

Las arcillas presentan coloraciones diversas después de la cocción debido a la presencia en ellas de óxido de hierro, carbonato cálcico.

SEGÚN EL COLOR Y POROSIDAD:

Tabla 1. Propiedades de la arcilla según su color y porosidad

Pastas porosas coloreadas	Pastas porosas blancas
<p>Tejares y alfares en bruto, barnizadas, estanníferas</p> <p><i>Arcillas fusibles</i></p> <p>850-1.100°C</p>	<p>Mayólicas finas</p> <p>Sanitarias y productos refractarios</p> <p><i>Arcillas refractarias</i></p> <p>1.000- 1.550° C</p>
Pastas impermeables coloreadas	Pastas impermeables blancas
<p>Gres finos, comunes, Clinker</p> <p><i>Arcillas vitrificables</i></p> <p>1.100-1.350°C</p>	<p>Porcelanas duras, tiernas, china vidriada</p> <p><i>Caolines</i></p> <p>1.250- 1.460°C</p>

3. PROCESOS DE MOLIENDA

3.1 TIPOS DE MOLINOS

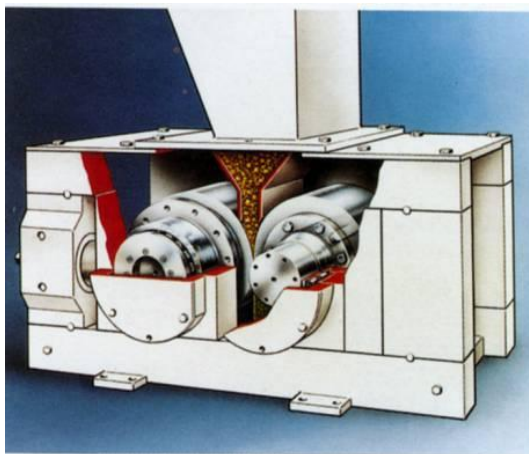
3.1.1 Molino de Rodillos

El molino de rodillos es uno de los más usados en la actualidad. Su sistema está formado por dos rodillos, generalmente contruidos de hierro fundido o de acero colado. Los rodillos tienen las superficies estriadas, giran en sentido contrario el uno del otro a velocidades reducidas.

Los rodillos son regulables a precisión, con esto poco a poco se reduce la separación entre los rodillos para de esta manera ir reduciendo el tamaño de grano. Todo el proceso de molienda consiste en hacer pasar el grano a través de una serie de molinos en sección.

Generalmente esta sección está formada por 10 molinos. El producto de cada fase es pasado por tamices de diferentes diámetros hasta llegar a la granulometría del producto final.

Figura 1. Molino de Rodillos.



Fuente: <http://www.quiminet.com/pr8Martillo%2Bde%2BReflejos.htm>.

3.1.2 Molino de barras

Utilizado para reducir a polvo la materia prima mediante la rotación de un tambor que contiene barras de acero o de otro material. Este tipo de molinos se utiliza con frecuencia en la industria minera

3.1.3 Molino de bolas

Molino de bolas es un equipo clave para el siguiente proceso de elaboración: Tras ser triturado, el material sufrirá otro procedimiento de trituración. Este equipo es ampliamente utilizado en los siguientes campos: cemento, productos de silicato, nuevos materiales de construcción, materiales a prueba de fuego, fertilizante, metal negro y de color, cerámica y vidrio, etc. Puede usarse para triturar de forma seca o húmeda diversas clases de minas y otros materiales que se puedan moler. En este sentido, la forma seca será para: materiales a prueba de fuego, cemento, fertilizantes y vidrio. Mientras la húmeda será para: minas, cerámica e industria química.

Figura 2. Molino de bolas

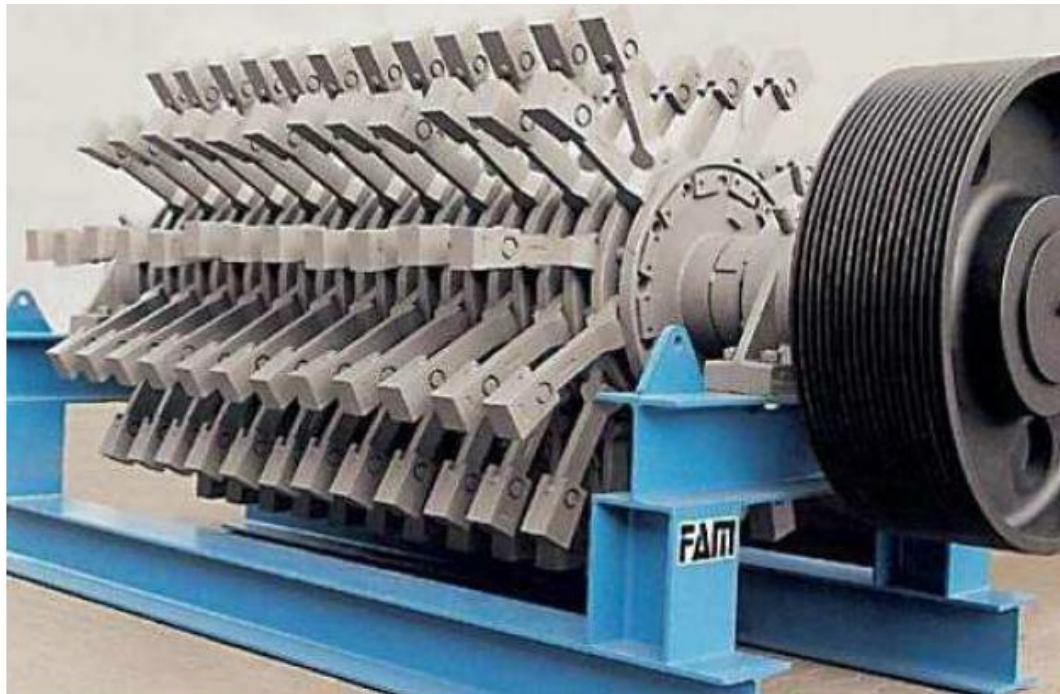


Fuente: http://www.trituradoras.net/Ball_Mill.html

3.1.4 Molino de Martillos

El molino de martillo usa una serie de masas para triturar el material, usualmente ubicados horizontalmente sobre un eje que rota. La fractura del material no se produce por frotamiento, sino por el choque y corte entre martillos y el material. El material molido sale a través de orificios ubicados abajo del molino.

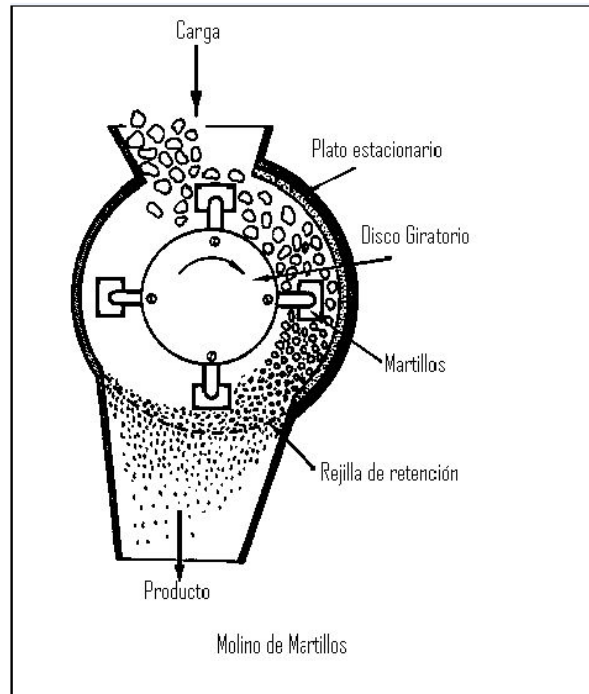
Figura 3. Molino de martillos



Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/fam/trituradoras-martillos-7253-291968.html>

En la figura se muestra un prototipo de molino de martillos para triturar piedras. Este modelo posee martillos fijos a los discos, existen molinos que poseen los martillos de diferente geometría, esto depende del uso. Estos martillos pueden estar fijos al disco (soldado), o con cierta movilidad, para que en reposo se encuentren en posición vertical.

Figura 4. Interior del molino de martillos

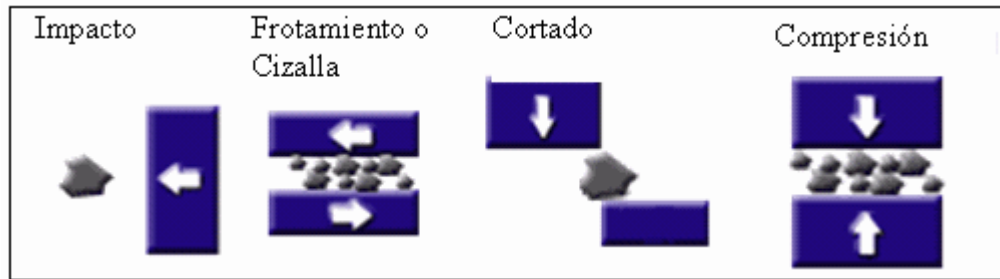


Fuente: <https://www.google.com.co/search?q=molino+de+martillos>

3.2 REDUCCIÓN DE TAMAÑO

La **Reducción de Tamaño** es la operación unitaria en la que el tamaño medio del material es reducido por la aplicación de fuerzas de impacto, compresión, cizalla (abrasión) y/o cortado. La compresión se usa para reducir sólidos duros a tamaños más o menos grandes. El impacto produce tamaños gruesos, medianos y finos, la frotación o cizalla, produce partículas finas y el cortado se usa para obtener tamaños prefijados.

Figura 5. Formas de reducción de tamaño



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos55/analisis-volumetrico/analisis-volumetrico.shtml>

3.2.1 Tamaño del material y Grado de Trituración:

Se llama grado de trituración, a la relación entre diámetros medios de las mezclas de los trozos del material inicial y del fraccionado, constituyendo tanto material inicial como el desmenuzado, mezclas de trozos diferentes en lo que se refiere a su forma y dimensiones.

La determinación exacta de las dimensiones de los trozos que generalmente se presentan en forma irregular y la de sus dimensiones medias, resulta sumamente dificultosa, por lo tanto se acostumbra a definir tamaño de los trozos por su dimensión lineal media (diámetro) y el grado de trituración por la relación de sus diámetros medios , es decir:

$$R_D = \frac{D_1}{d_1}$$

Siendo:

R_D = Grado de trituración

d_1 =Diametro del trozo después de fraccionado

D_1 =Diámetro del material entrante

Es así que el grado de trituración (R_D) depende de los diámetros de entrada y de salida.

3.2.2 Determinación del diámetro medio del trozo:

El diámetro medio de trozo se suele definir como el promedio de sus tres dimensiones más importantes:

$$d_1 = \frac{a_1 + c_1 + l_1}{3}$$

Siendo:

a_1 =El Ancho

c_1 =El espesor

l_1 =El largo

3.2.3 Definición de los sistemas de trituración

Por el general la materia prima procedente de la cantera, no puede ser utilizada inmediatamente, así como tampoco son posibles las grandes reducciones de tamaño, sino que se requieren de varias etapas de reducción.

En la industria comúnmente se conocen tres grados diferentes de trituración, según la intensidad del fraccionamiento existente. Estos procedimientos son: Quebrantar, triturar o moler o pulverizar. En cuanto a los procesos más corrientes tenemos:

- a. En el quebrantado o trituración primaria, se fracciona el material muy grueso hasta reducirlo a trozos más pequeños.
- b. En la trituración secundaria, se reduce nuevamente de tamaño hasta reducir un grano intermedio fino, pero fácilmente apreciable a simple vista.

- c. En la molienda o pulverización, el grano se divide tan finamente que no se puede diferenciar la mezcla si no a través de una lupa o microscopio. En este proceso se obtiene una pulverización fina a partir de los tamaños medios de granos.

En la siguiente tabla se aprecia los diversos procesos de reducción de tamaño de minerales.

Tabla 2. Sistemas de trituración.

TRITURACIÓN	MOLIENDA		OTROS PROCESOS	
	Pulverización	Desintegración	Corte	Emulsificación
Primaria	Gruesa	Gruesa	En máquinas herramientas	Pulverizado
Secundaria	Fina	Fina	Encamación	

Las etapas de los procesos más corrientes, están caracterizados por:

- El tamaño del producto final.
- El tamaño del material de alimentación.
- La razón de reducción resultante.

3.2.4 Equipos involucrados en la reducción de tamaño.

Existe una amplia variedad de equipos para la reducción de tamaño. Las principales razones de la falta de estandarización son la variedad de sustancias que se pueden triturar y las calidades requeridas para el producto final, la limitada información útil que se tiene de molienda y los requisitos de diferentes industrias en el balance económico entre el coste de inversión y el de operación.

El equipo se clasifica de acuerdo con la forma en que las fuerzas se aplican de la siguiente manera:

1. Entre dos superficies solidas: trituración o desgarramiento.
2. Impacto sobre una superficie solida: o entre partículas.
3. Por acción del medio circundante: molino de coloides.
4. Aplicación no mecánica de energía (choque térmico, fragmentación explosiva, electrohidráulica).

Tabla 3. Equipos de trituración y molienda

a. Quebrantadoras de mandíbula	b. Trituradoras giratorias	c. Molinos de impacto para trabajos pesados.
1. Blake	1. Primarias	1. Rompedoras de rotor
2. Excéntrica superior	2. Secundarias	2. Molinos de martillos
	3. De cono	3. Impactadores de jaulas
d. Quebrantadores de rodillos.	e. Molinos de bandejas secas y de fileteado.	f. Desmenuzadores
1. Rodillos lisos(dobles)		1.Desmenuzadores dentados.
2. Rodillos dentados (de uno o de dos rodillos).		2. Desintegradores de jaulas
3. Rodillos prensores.		

g. Cortadoras y rebanadoras rotatorias.	h. Molinos con medios de molienda	i. Molinos de velocidad periférica media.
	1. Molinos de bolas, piedras, varillas y compartimientos	1. Molinos de anillo y rodillos y de taza.
	2. Molinos agitados de bolas y arenal.	2. Molinos de rodillos, tipo cereal.
	3. M. vibratorios.	3. Molinos de rodillos, tipos para pintura y caucho.
j. Molinos de alta velocidad periférica		k. Molinos hidráulicos superfinos
1. Molinos de martillos para molienda fina		1. De chorro centrifugo
2. Molinos de clavijas		2. De chorro apuesto
		3. De chorro con yunque

Tabla 3. (Continuación)

Fuente: manual del ingeniero químico. PERRY, R. / GREEN, D.

Tabla 4. Guía para la selección de los equipos de trituración y molienda

Operación de reducción de tamaño	Dureza del material	Tamaño *				Relación de reducción***	Tipos de equipos
		Gama de alimentación in**		Gamma de productos, in **			
		Máx.	Mín.	Máx.	Mín.		
<i>Trituración</i>							
<i>Primaria</i>	<i>Duro</i>	60	12	20	4	3 a 1	<i>A a D</i>
		20	4	5	1	4 a 1	
<i>Secundaria</i>	<i>Duro</i>	5	1	1	0,2	5 a 1	<i>A a F</i>
		1,5	.25	0,185	0,03	7 a 1	
	<i>Suave</i>	20	4	2	0,4	10 a 1	<i>C a G</i>
<i>Molienda</i>							
<i>Pulverización</i>							
<i>Gruesa</i>	<i>Duro</i>	0,185	0,033	0,023	0,003	10 a 1	<i>D a 1</i>
		(4)	(20)	(28)	(200)		
<i>Fina</i>	<i>Duro</i>	0,046	0,0058	0,003	0,00039	15 a 1	<i>H a K</i>
		(14)	(100)	(200)	(1250)		
<i>Desintegración</i>							
<i>Gruesa</i>	<i>Suave</i>	0,5	0,065	0,0023	0,003	20 a 1	<i>F,J</i>
<i>Fina</i>	<i>Suave</i>	0.156	0,0195	0,03	0,00039	50 a 1	<i>I a K</i>
		(5)	(32)	(200)	(12350)		

Fuente: manual del ingeniero químico. PERRY, R. / GREEN, D.

* 85por 100 en peso menor que el tamaño dado.

** Número de mallas entre paréntesis

3.2.5 Esfuerzos, Deformaciones unitarias

Para producir reducción de tamaño se debe aplicar esfuerzos y producir fractura. Un análisis teórico cuantitativo es solamente posible para estados de esfuerzos Relativamente simples, pero los conceptos que surgen de estos resultados son beneficiosos para entender en forma cualitativa las complejas condiciones de esfuerzo en trituradoras y molinos industriales.

Cuando un material sólido es sometido a un esfuerzo sufre una deformación. El estudio de este fenómeno corresponde a la mecánica del medio continuo. La descripción del comportamiento del sólido requiere la postulación de una ecuación constitutiva que relacione esfuerzos y deformaciones y que debe obtenerse de la experimentación con el material. Sometiendo diversos materiales a esfuerzos de tensión conocidos, es posible medir cada deformación producida y clasificar su comportamiento como **elástico** o **inelástico**.

El comportamiento **elástico** de un material se caracteriza porque la respuesta a los esfuerzos es afectada sólo por el esfuerzo presente. No existen efectos de memoria que comprometan la respuesta posterior del material. La energía acumulada durante la carga del sólido es recuperada íntegra e instantáneamente durante la descarga. Si la ecuación constitutiva de un material sólido elástico es lineal, se dice que su comportamiento es elástico-lineal. La ecuación constitutiva de un material elástico lineal en una dimensión se denomina ley de Hooke y es:

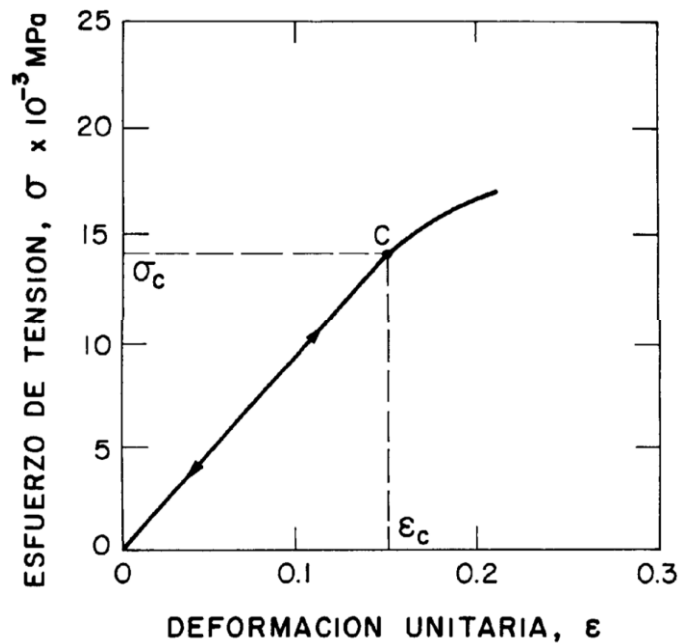
$$\sigma = Y * \varepsilon$$
$$\varepsilon = \frac{(d - d_0)}{d_0}$$

Donde ε es igual a la deformación unitaria; d y d_0 son el tamaño actual y tamaño inicial de la muestra. El parámetro Y (módulo de Young), representa la pendiente de la recta. El material se comporta elásticamente hasta el punto C. El valor del

esfuerzo y de la deformación unitaria en este punto se denota por σ_c y ϵ_c , siendo σ el esfuerzo de tensión. El módulo de Young queda expresado por:

$$y = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Figura 6. Esfuerzo vs deformación para el comportamiento elástico-lineal



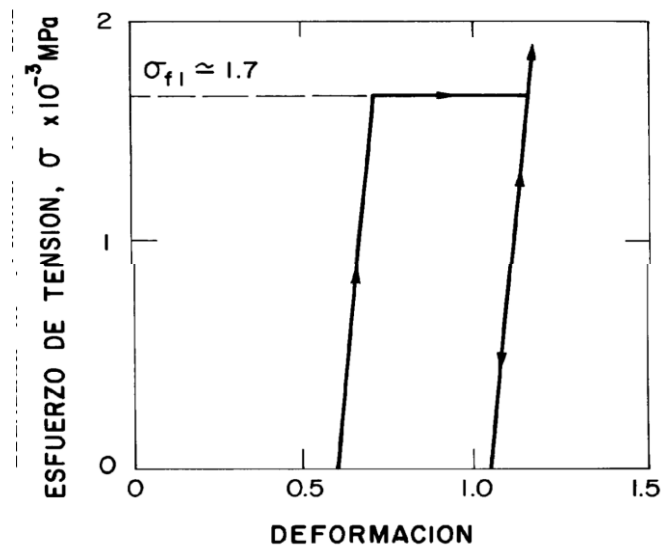
Fuente: Resistencia de Materiales de Gere

Para un cristal perfecto, depende de las orientaciones de los esfuerzos, pero los materiales de mayor interés para nosotros son sólidos frágiles poli cristalinos con una distribución de cristales al azar, de manera tal que Y resulta ser una constante isotrópica elástica efectiva.

Existen materiales cuya respuesta a una sollicitación no es elástica. La razón puede ser que el material se deforma permanentemente o que su comportamiento depende del tiempo. Ambos disipan energía durante la deformación. Se puede distinguir dos tipos de inelasticidad, el comportamiento plástico y el

comportamiento viscoso. Estos tipos de inelasticidad se superponen al comportamiento elástico y constituyen lo que se denomina comportamiento **elasto-plástico** y comportamiento **visco-elástico**. El comportamiento elasto-plástico (Fig.6) lleva a una deformación permanente del material, que no desaparece con el tiempo, por lo que se la trata como independiente de éste. La descripción se basa en el límite de fluencia como constante del material, además del módulo de Young. La energía disipada corresponde al área bajo la curva σ versus deformación. El comportamiento visco-elástico se caracteriza por su gran dependencia de la velocidad con que se lleva a efecto. Mientras más lenta la carga, más inelásticamente se comporta el material (Fig.7). Un material se puede comportar elásticamente en tiempos cortos, y visco-elásticamente en tiempos mayores, dependiendo el rango de comportamiento elástico de la temperatura. Por esta razón cuando se desea romper materiales visco-elásticos, tales como el cloruro de polivinilo, se debe controlar la temperatura y la velocidad de aplicación de los esfuerzos para que el material se comporte elásticamente.

Figura 7. Esfuerzo vs deformación para la deformación de una partícula



Fuente: Resistencia de Materiales de Gere

4. CÁLCULOS Y DISEÑO DE LAS PARTES

4.1 CAPACIDAD DE MOLIENDA

La capacidad de molienda es el primer parámetro que se requiere para el diseño del molino. Este valor de acuerdo a los criterios empíricos y a las necesidades del interesado es de una capacidad otorgada alrededor de 600 kg/h a 900 kg/h. Al consultar catálogos sobre este tipo de molinos se comprobó que esta capacidad está dentro del rango de capacidades obtenibles para este tipo de máquina.

Considerando que el valor recomendado para la velocidad angular de un molino de martillos (especificaciones y recomendaciones de productores americanos y brasileros), oscila entre las 1500 y 3000 [rpm], y no se quiere trabajar al límite de revoluciones, además de que el trabajo del motor será continuo, se ha escogido un valor de 2320 [rpm]. Con este valor podemos determinar la siguiente operación.

Si se divide la cantidad de gramos por minuto que se necesita triturar, para las 2320 [rpm] escogidas, se obtiene aproximadamente la cantidad en gramos que se deberían moler por cada revolución del eje del motor, es decir:

$$\frac{15000 \frac{\text{g}}{\text{min}}}{2320[\text{r. p. m}]} = 6,47 \times 10^{-3} \frac{\text{g}}{\text{rev}}$$

Con esto tenemos dos datos importantes que son:

$\omega = 2320[\text{rpm}]$, donde $\omega \rightarrow$ es la velocidad angular del rotor

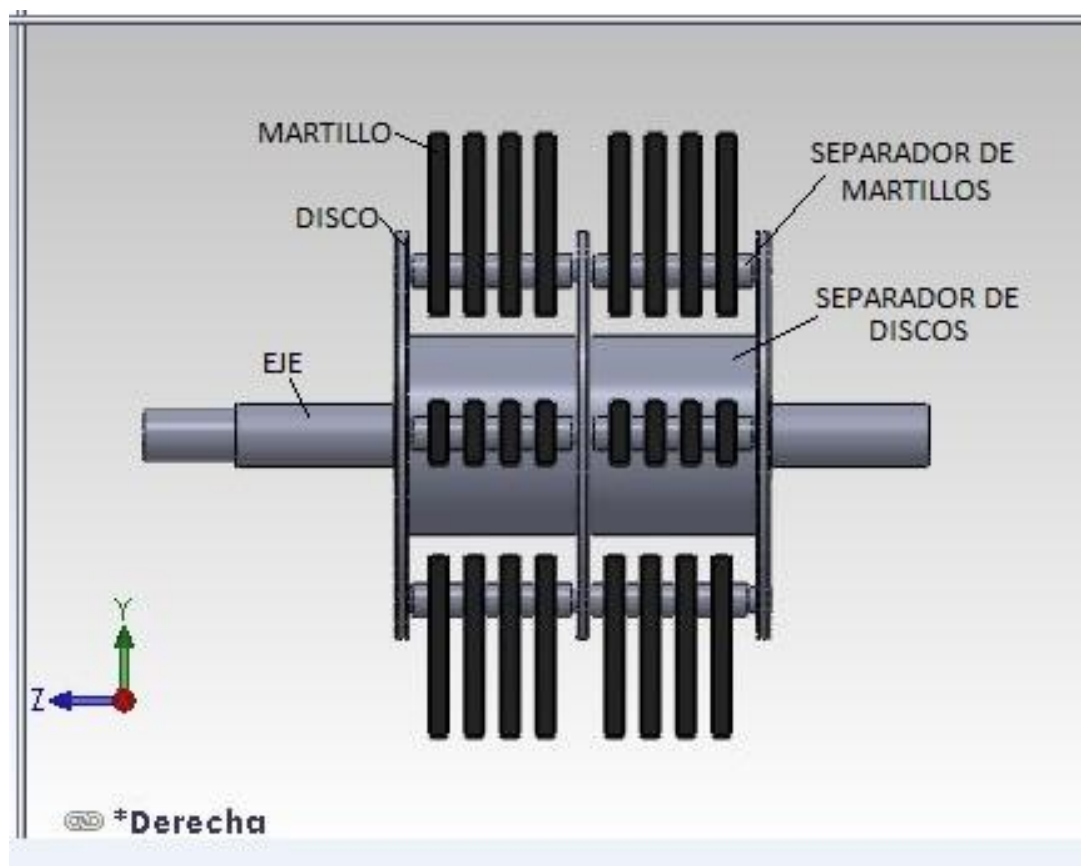
$6,47 \times 10^{-3} \text{ g/rev}$, que es la cantidad aproximada en gramos que se deben triturar por cada revolución del rotor.

Ahora, si la cantidad de trituración es de $6,47 \times 10^{-3}$ gramos por cada revolución, y se supone que cada martillo golpeará $2,02 \times 10^{-4} \text{ g/rev}$, se tiene que el molino tendrá 32 martillos en total.

Por otro lado, si se considera que por cada semieje (4 en total separados 90° entre sí) abran 8 martillos en total separados mediante bujes o separadores y además 3 discos, (4 martillos entre disco y disco).

Las respectivas ubicaciones que tendrán los martillos, así como los discos se muestran en la Figura 8

Figura 8. Ubicación de los Martillos y Discos



Con esto se ha obtenido otros valores importantes, que son:

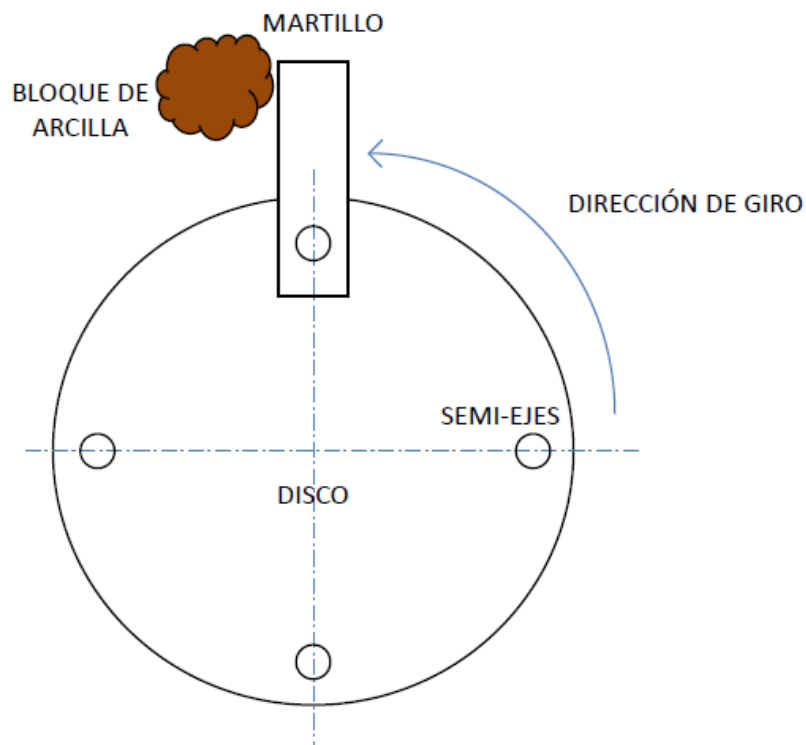
No de Martillos, 32 en total.

No de Discos porta ejes, 3

4.2 DISEÑO DE LOS MARTILLOS PARA LA TRITURACIÓN DE LA ARCILLA

El diseño de los martillos es fundamental en el molino, ya que esta pieza será la que produzca la tritución de la arcilla al momento del choque entre ambos. La representación de este choque se le puede observar en la Figura 9.

Figura 9. Impacto Arcilla – Martillo



El choque entre el bloque de arcilla y el martillo cuando está girando es básicamente de forma frontal.

Ahora bien para el diseño de los martillos se ha considerado en forma de paralelepípedo rectangular como se muestra en la figura, por ser este el tipo de martillo que se usa con mayor frecuencia y además porque en esta clase de molienda donde el bloque de arcilla no sobrepasa los 10 cm de diámetro no se

aconseja un martillo con grandes dimensiones. La representación de las dimensiones de estos martillos se puede observar en los planos ANEXO H.

Longitud (L)= 9,1cm

Ancho (A)= 3,2 cm

Espesor (P)= 1,02cm

Con estos datos el volumen de un martillo (V_m) será:

$$V_m = L \times A \times P = 29,7 \text{ cm}^3$$

$$V_m = 29,7 \text{ cm}^3 = 0,0297 \text{ dm}^3$$

Peso de un martillo (P_m):

$$P_m = \gamma \times V_m$$

Dónde:

$$\gamma = 7,84 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}, (\text{Peso específico del acero})$$

$$P_m = 0,216 \text{ kg}$$

Ahora podemos calcular el peso total de los martillos (P_{Tm}) de la siguiente forma:

$$P_{Tm} = P_m \times N_m$$

Dónde:

$$N_m = 32, (\text{numero total de martillos})$$

$$P_{Tm} = 0,216 \text{ kg} \times 32 = 6,912 \text{ kg}$$

4.3 MATERIAL DE LOS MARTILLOS

El material aconsejado para la molienda de minerales es un acero AISI SAE 1045 ya que es un acero utilizado cuando la resistencia y dureza son necesarias es condiciones de suministro. Este acero medio carbono puede ser forjado por martillo. Responde al tratamiento térmico y al endurecimiento por llama o por inducción, pero no es recomendado para cementación o cianurado. Cuando se hacen prácticas de soldadura adecuadas, presenta soldabilidad adecuada. Por su dureza y tenacidad es adecuado para la fabricación de componentes de maquinaria. Las características del acero AISI SAE 1045 son las siguientes:

- **COMPOSICIÓN QUÍMICA:**

0,43-0,50% de C

0,60-0,90% de Mn

0,04% de P máx.

0,05% de S máx.

- **PROPIEDADES MECÁNICAS:**

Dureza 163HB (84HRb)

Esfuerzo de fluencia 310 Mpa (45000 PSI)

Esfuerzo máximo 565 Mpa (81900 PSI)

Elongación 16% (en 50 mm)

Reducción de área (40%)

Módulo de elasticidad 200 Gpa (29000 Ksi)

Maquinabilidad 57%(AISI 1212 = 100%)

- **PROPIEDADES FÍSICAS:**

Densidad = $7,87 \text{ kg/dm}^3$

Así como también se le realizó un recubrimiento protector del espesor de los martillos con soldadura citodur 600 para la elevación de la dureza del acero. Ver ANEXO B.

4.4 CÁLCULO DE LA ENERGÍA DE TRITURACIÓN DE LA ARCILLA

Para este cálculo aplicaremos las leyes más usuales de desintegración y molienda. En este caso utilizaremos la ley de Von Rittinger por ser la más usual y aquella que nos brinda resultados más cercanos a la realidad.

4.4.1 Ley de Von Rittinger:

En términos generales se basa en que el gasto asociado a los procesos de pulverización es proporcional al incremento de superficie específica que experimenta el material. Útil especialmente para materiales quebradizos y se puede expresar como se muestra a continuación:

$$E_p = C \times N \times \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{D} \right)$$

$$E_p = C \times N(A_f - A_i)$$

Dónde:

E_p = Energía de trituración

C = Constante de proporcionalidad

N = Numero de bloques a moler en un tiempo determinado

D = Diámetro del bloque de arcilla

d = Diámetro de la partícula molida

A_f = Suma de las áreas de las partículas fraccionadas de un bloque de arcilla

A_i = Área de un bloque de arcilla

La constante de proporcionalidad (C) varía según la naturaleza del material que se va a moler. Este valor se puede calcular experimentalmente y es así como el Ingeniero G. Martin, determinó a través de sus ensayos un valor de $C = 0,91 \text{ kg} \cdot \text{cm}/\text{cm}^2$ para un material de dureza 7 en la escala de Mohs que va de 1 a 10. El proceso para determinar C consta de las siguientes partes:

- a. Se muele una cantidad determinada de material.
- b. Se calcula el trabajo consumido para moler esta cantidad.
- c. Se calcula inicialmente el área de esa cantidad de arcilla y luego el área final de todas las partículas resultantes de la molienda; esta última medición se hace por medio de un proceso químico especial.
- d. Se repite el procedimiento varias veces, hallando una energía promedio para determinada cantidad y determinada arcilla; para cada caso se halla la relación (área final/ área inicial), la cual debe ser aproximadamente constante, promediándose en esta forma la constante C .

Es de anotar que este procedimiento es complicado y se necesita contar con un buen equipo y material de prueba.

En la práctica se parte de un valor ya conocido de C para un determinado material y se toma la constante proporcionalmente a la dureza del mineral para el cual se conoce C y a la del mineral que se va a moler.

Ahora bien, se debe considerar el grado de humedad para obtener una buena calidad en la molienda, este grado de humedad es usualmente menor al 15%

Tamaño de los bloques de Arcilla

Por requerimientos del cliente se acordó que el diámetro de entrada del material a moler está en el rango entre 1cm y los 10 cm.

Entonces el diámetro de los bloques de arcilla entrantes al molino (D) es $D = 10\text{cm}$

Se aclara que para cálculos de áreas y volúmenes supondremos los bloques de arcilla, partículas y demás como esferas, pues es claro que la forma real de estos es irregular, el diámetro lo sacamos promediando el largo, ancho y profundidad de un conjunto de bloques.

4.4.1.1 Numero de bloques a moler en una hora (N):

$$N = \frac{C_a}{P_b}$$

Dónde:

C_a = Capacidad del molino en (kg/h)

P_b = Peso del bloque de arcilla en (kg)

Tomando como referencia mineral el cuarzo ya que se caracteriza por su resistencia, dureza y además porque es de los más comúnmente encontrados en los minerales que componen las rocas que vienen en algunos de los compuestos de la arcilla, de acuerdo a esto tenemos:

$$\gamma_{SiO_2} = 2,65 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \text{ Peso específico del mineral de cuarzo, incluido en}$$

la composición de la arcilla

$$V_b = \frac{\pi}{6} (D)^3 \rightarrow \text{Volumen de un bloque de Arcilla}$$

$$V_b = \frac{\pi}{6} (10\text{cm})^3 = 523,599 \text{ cm}^3$$

$$P_b = V_b \times \gamma_{SiO_2} = 1387,54 \text{ g} = 1,387\text{kg}$$

$$N = \frac{C_a}{P_b} = \frac{900 \text{ kg/h}}{1,387 \text{ kg}} = 648,88 \frac{\text{bloques}}{\text{h}} ; \text{ para criba fina } \left(\frac{3}{16} \text{ in}\right)$$

4.4.1.2 Diámetro de las partículas molidas:

La arcilla luego de pasar por el proceso de trituración y pulverización por el molino saldrá con un tamaño menor, dichos tamaños en la salida del molino se debe a los tipos de cribas usadas en la carcasa de la máquina, entre otros factores.

Para el diámetro mínimo de las partículas a la salida del molino tomaremos el recomendado en el manual del ingeniero químico Robert H. Perry que es de 0,58mm (valor correspondiente a una criba fina y a una malla N_0 30 según la tabla comparativa de tamices estándar U.S escala Tyler).Luego el diámetro mínimo de las partículas es $d_p = 0,58 \text{ mm}$.

4.4.1.3 Área del material de alimentación y partículas de arcilla a la salida del molino

$A_b =$ Area del material de alimentación

$$A_b = \pi (D)^2 = \pi (10 \text{ cm})^2 = 314,16 \text{ cm}^2$$

$A_p =$ Area de una partícula

$$A_p = \pi (d)^2 = \pi (0,058 \text{ cm})^2 = 1,0568 \times 10^{-2} \text{ cm}^2$$

4.4.1.4 Numero de partículas provenientes de un bloque de material de entrada N_{pb} :

$$N_{pb} = \frac{V_b}{V_p}$$

Dónde:

$V_p =$ Volumen de una partícula

$$V_p = \frac{\pi}{6} (d)^3 = 1,022 \times 10^{-4} \text{ cm}^3$$

$$N_{pb} = \frac{V_b}{V_p} = 5123277,886 \text{ Particulas}$$

4.4.1.5 Área de las partículas Molidas Provenientes de un bloque (A_{pb}):

$$A_{pb} = N_{pb} \times A_p$$

$$A_{pb} = 54142,80 \text{ cm}^2$$

4.4.1.6 Constante de proporcionalidad (C):

Como se mencionó previamente la constante de proporcionalidad (C) determinada anteriormente por el doctor G. Martin, quien demostró experimentalmente la ley de Rittinger. Sus experiencias fueron realizadas con el cuarzo (mineral proveniente de las rocas) para el cual determino una constante $C = 0,91 \frac{\text{kg} \times \text{cm}}{\text{cm}^2}$

4.4.1.7 Determinación de la energía de desintegración o trituración de la arcilla.

Determinada por:

$$E_p = C \times N(A_f - A_i)$$

Dónde:

$$N = 648,88 \frac{\text{bloques}}{\text{h}}$$

$$C = 0,91 \frac{\text{kg} \times \text{cm}}{\text{cm}^2}$$

$$A_f = A_{pb} = 54142,80 \text{ cm}^2$$

$$A_i = A_b = 314,16 \text{ cm}^2$$

$$E_p = 31784778,41 \frac{\text{kg} \times \text{cm}}{\text{h}}$$

$$E_p = 1,16 \text{ HP}$$

4.4.1.7 Rendimiento de la molienda (n)

El rendimiento de la molienda varía generalmente entre un 25 y 60% según datos caloríficos y experimentales de la firma Mining Tech.

Para este caso asumimos un rendimiento del 25% conservativamente.

$$P_m = \frac{E_p}{n} = \frac{1,16 \text{ HP}}{0,25} = 4,64 \approx 5 \text{HP}$$

Dónde:

P_m = Potencia Del Motor

E_p = Energía De Trituración

n = Rendimiento De La Molienda

4.5 CÁLCULO DE LA VELOCIDAD ANGULAR DEL ROTOR

Para el cálculo de la velocidad angular del rotor utilizaremos la relación de velocidades (i) como se muestra en la siguiente expresión:

$$i = \frac{N_1}{N_2} = \frac{D_2}{D_1}$$

Dónde:

i = Relación de Velocidades

N_1 = Velocidad de Giro de la Polea Conductora

N_2 = Velocidad de Giro de la Polea Conducida

D_1 = Diametro de la Polea Conductora

D_2 = Diametro de la Polea Conducida

Ahora bien, como necesitamos aumentar las 1740 rpm (N_1) del motor es decir, $D_1 > D_2$ tendremos una relación de velocidades (i) de 1.33, el diámetro de la polea del molino (D_2) será de 4,5pulg y el diámetro de la polea del motor (D_1) = 6pulg.

Entonces la velocidad de giro de la polea conducida es:

$$N_2 = \frac{N_1 \times D_1}{D_2} = \frac{1740\text{rpm} \times 6\text{pulg}}{4,5\text{pulg}}$$

$N_2 = 2320\text{rpm}$ (Especificaciones de Productores Americanos y Brasileños)

La velocidad obtenida es la velocidad tangencial del martillo, (velocidad al vacío, o sin carga V_v).

$$V_v = N_2 * r_g = 2320\text{rpm} * 0.1116\text{m} = 27,11 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

4.6 CÁLCULO DE LA VELOCIDAD TANGENCIAL FINAL

En la molienda, cuando la arcilla choca a los martillos se produce una disminución de la velocidad del mismo por lo que existirá una velocidad menor a la velocidad sin carga o al vacío ya mencionada que se llamará V_c (velocidad con carga)

Para el cálculo de V_c , consideramos a los martillos, ejes, semiejes, discos y demás componentes del molino como un solo cuerpo que gira, a esto se le conoce como volante.

En proyectos donde se consideran volantes se debe tener en cuenta un coeficiente de fluctuación (C_s) definido como:

$$C_s = \frac{V_v - V_C}{V} \dots \text{Ec. I} \quad (\text{shigley, 1046})$$

Dónde:

V = Velocidad Tangencial del Volante, tomada como la Velocidad Tangencial Media

Ahora, si definimos V = Velocidad Tangencial Media en la siguiente expresión, a la que llamaremos ecuación II tenemos que:

$$V = \frac{V_v - V_C}{2} \dots \text{Ec. II} \quad (\text{Hibbeler, 19})$$

Si reemplazamos la ecuación II en la ecuación I y luego despejamos V_C , obtendremos la ecuación III (Velocidad Tangencial Final):

$$V_C = -V_v \times \frac{C_s - 2}{C_s + 2}$$

Para el valor de C_s , tomamos un valor aproximado que para molinos de harina esta entre (0.015-0.025), (Shigley, tabla 16.5), reemplazando este valor tenemos que:

$$V_C = 26,44 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Como $V_C < V_v$, entonces existe una cesión de en la potencia por parte del volante a la arcilla.

Cabe aclarar que el sistema de giro del molino es desacelerado, lo que significa que el sistema cede energía.

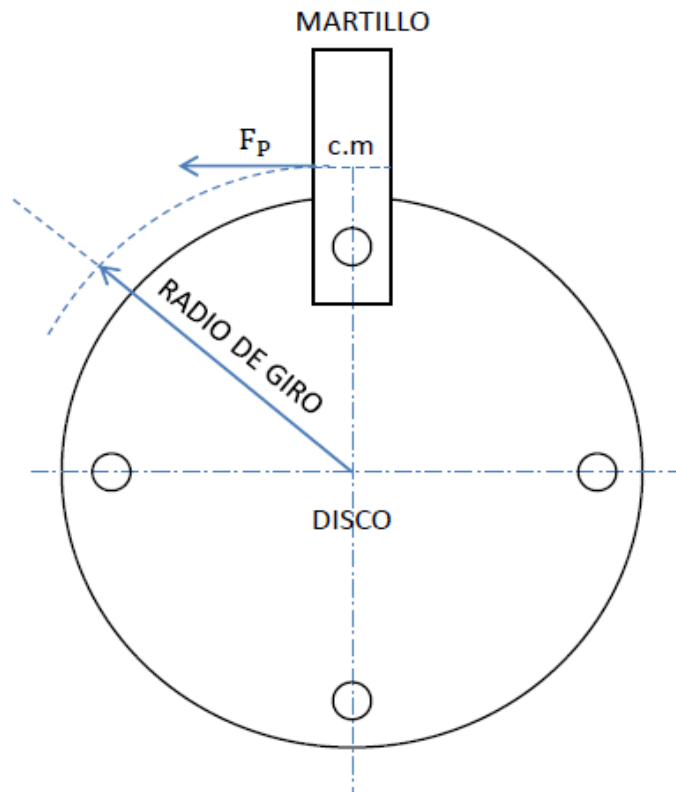
4.7 CÁLCULO DE LA VELOCIDAD ANGULAR FINAL (ω_c)

$$\omega_c = \frac{V_c}{r_g} \quad (\text{Hibbeler, 63})$$

Dónde:

r_g = Radio de Giro (ver Figura 10)

Figura 10. Radio de Giro del Martillo



Entonces,

$$\omega_c = \frac{26,44 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,1116\text{m}} = 236,92 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

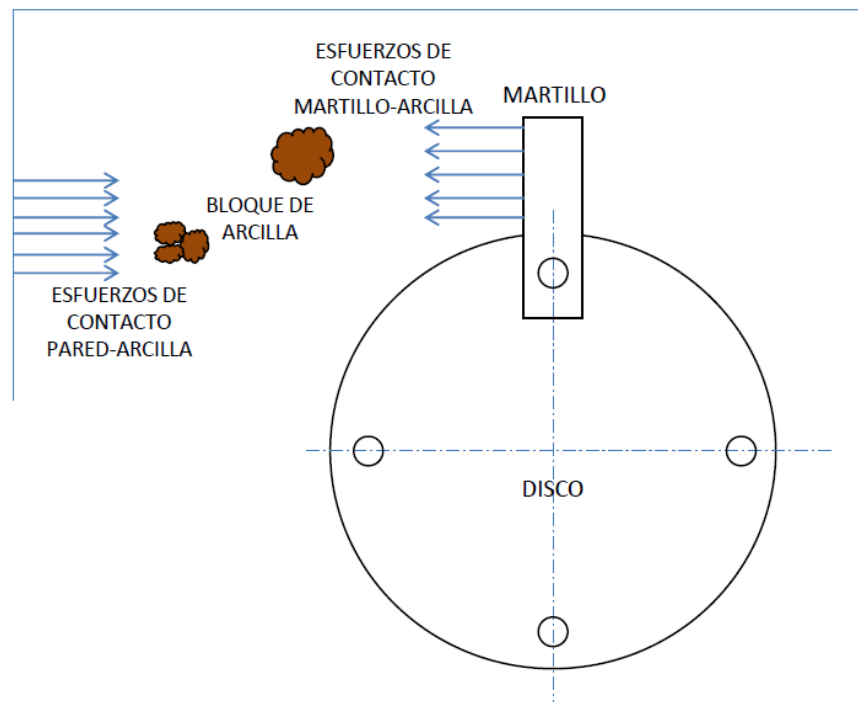
La velocidad angular del rotor ω , fue la determinada inicialmente, la cual es igual a la velocidad angular en vacío o sin carga ω_v ,

$$\omega_v = 2320\text{rpm} = 242,94 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Con los valores obtenidos y el radio de giro podemos aproximar la medida que va tener los discos porta martillos, así como también, la medida que deberá tener la carcasa del molino.

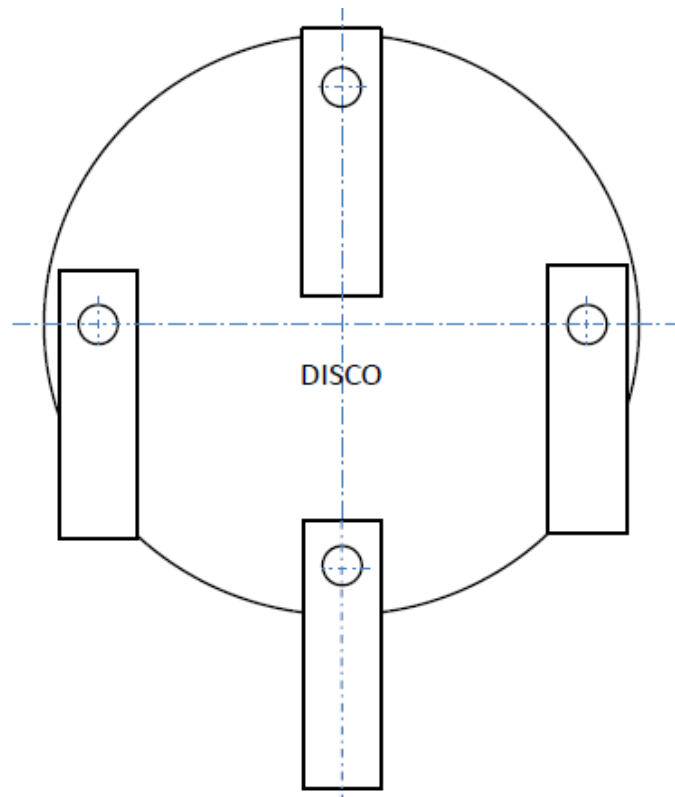
La carcasa debe estar lo más cerca posible a los martillos, ya que además de la trituración de la arcilla por medio de los martillos, los bloques al impactar contra las paredes van a producir esfuerzos de contacto de sentido contrario, lo que hace que el bloque disminuya su volumen, como se muestra a continuación:

Figura 11. Esfuerzos de contacto, Martillo-Arcilla, Arcilla-Pared



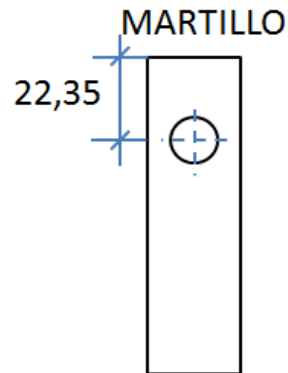
La posición de los martillos cuando el molino este sin funcionar, será la que se muestra a continuación:

Figura 12. Posición de los Martillos en Reposo



Los agujeros en los martillos estarán a 22,35mm del borde del martillo al centro del agujero que conecta a los semiejes con los martillos, como se muestra a continuación:

Figura 13. Posición de los Agujeros del Martillo

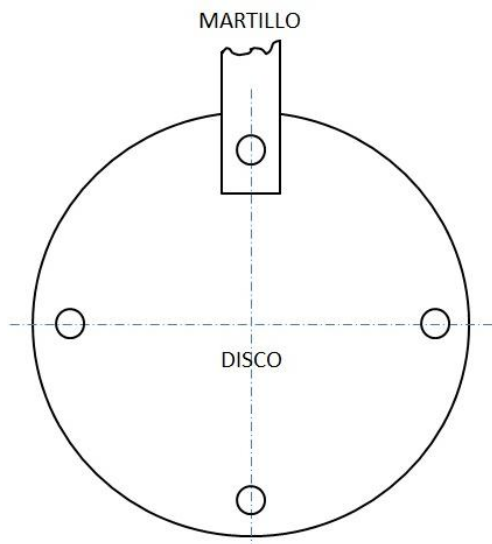


4.8 FALLA POR CIZALLADURA

Debido a la tracción que genera el semieje sobre el área de la placa, se puede presentar una falla por desgarramiento o también llamada falla por cizalladura como se muestra a continuación.

Es por esta razón que se hace necesario el cálculo de un factor de seguridad.

Figura 14. Falla por Desgarramiento



Ahora bien, el área de desgarramiento se calcula con la siguiente ecuación:

$$A_d = e * d_1 * 2 \quad (\text{Shigley, 268})$$

Dónde:

A_d = Area de Desgarre

e = Espesor del Martillo

d_1 = Distancia entre el borde del martillo y el borde del semieje (Ver fig. 13)

El esfuerzo cortante se calcula con la siguiente ecuación:

$$\tau = \frac{F_c}{A_d} \quad (\text{Gere, 37})$$

Dónde:

F_c = Fuerza centrífuga

Y dicha fuerza la calculamos con la siguiente ecuación:

$$F_c = \omega_v^2 * m_m * r_g \quad (\text{Hibbeler, 136 – 137})$$

Dónde:

r_g = Radio de Giro

m_m = Masa del Martillo

Remplazando valores tenemos:

$$F_c = \left(242,94 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)^2 * 0,216\text{kg} * 0,1116\text{m}$$

$$F_c = 1422.71\text{N}$$

Remplazando este resultado en la ecuación de esfuerzo cortante tenemos:

$$\tau = \frac{1422.71\text{N}}{0.01\text{m} * 0.016\text{m} * 2}$$

$$\tau = 4445968.75 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 4.45 \text{Mpa}$$

Con el esfuerzo cortante se puede calcular el factor de seguridad (N):

$$\eta = \frac{S_y}{2 * \tau} \quad (\text{Shigley, 333})$$

Donde S_y es el esfuerzo a la fluencia, que para el acero AISI-SAE 1045 es de 310Mpa (45000Psi).

Remplazando los valores obtenemos:

$$\eta = 34.8$$

Como nos podemos dar cuenta el valor del factor de seguridad es muy alto, lo que quiere decir que no abra falla por cizallamiento o desgarramiento en los martillos.

4.9 FALLA POR TRACCIÓN

Para el análisis del esfuerzo normal por tracción, debido a la fuerza centrífuga se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{F_c}{A_t} \quad (\text{Gere, 4})$$

Dónde:

$$\sigma = \text{Esfuerzo Normal}$$

$$A_t = \text{Area Transversal del Martillo}$$

Remplazando valores obtenemos:

$$\sigma = \frac{1422.71\text{N}}{0.01\text{m} * 0.032\text{m}}$$

$$\sigma = 4445968.75 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 4.45 \text{Mpa}$$

El factor de seguridad viene dado por la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma}$$

Donde

η = Factor de Seguridad para Esfuerzo Normal

$$\eta = 69.6$$

Como nos podemos dar cuenta el valor del factor de seguridad es muy alto, lo que quiere decir que no abra falla por cizallamiento o desgarramiento en los martillos.

4.10 . DISEÑO DEL EJE DEL ROTOR DEL MOLINO

En esta parte se debe aclarar que las fuerzas debidas a la molienda en los martillos no son uniformes en ningún punto de la trayectoria, es por esto que para el presente análisis se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Las fuerzas centrifugas originadas en los martillos por la acción de la masa de los martillos y por la velocidad de rotación se anulan en el eje por estar estos diametralmente opuestos.
- Las fuerzas de golpe de los martillos tienden a anularse en el eje debido a la misma causa.
- Consideraremos 2 sitios donde la carga de molienda va ser máxima; estas zonas son:
 - a) La parte situada en la entrada (zona de descarga de la arcilla en el molino (zonas A-B)) ya que en este punto actuará sobre los martillos una cantidad de material bastante grande proveniente de la tolva de alimentación.

- b) La zona inferior de la carcasa sobre la cual esta la malla de cribado (zonas C-D-F), ya que por gravedad la arcilla tiende a reposar y a acumularse sobre esta zona.

La zona (A-B) esta diametralmente opuesta a la zona (C-D), Asumiendo que las cargas de molienda en estas dos zonas son iguales, se tiene que las fuerzas sobre el eje se anulan quedando como zonas critica la zona (D-F), Se asume también que en las demás partes de la trayectoria de los martillos la carga no es comparable con las zonas críticas y que las fuerzas de molienda que actúan sobre el eje son iguales y opuestas por lo cual se anulan entre ellas.

4.11 FUERZAS QUE ACTÚAN SOBRE EL EJE DEBIDO A LA CARGA DE LOS MARTILLOS

Analizando la zona critica D-F se observa que la fuerza de molienda se descompone según el ángulo que forme con la vertical, por lo tanto cuando forma un ángulo de 90° se presenta una fuerza máxima sobre el eje X de igual magnitud a la fuerza de molienda, y cuando los martillos pasan por el punto F, forman la máxima componencia sobre el eje Y, siendo estas dos fuerzas las máximas que actúan sobre el eje debido a la energía de molienda.

4.11.1 Cálculo del Torque de Pulverización (T_p):

$$P = \frac{T_p \times \text{RPM}}{63000}$$

Dónde:

P = Potencia Del Motor

T_p = Torque De Pulverización De la Arcilla

RPM = (Revoluciones × Minuto)Del eje

$$63000 = \text{Constante}$$

Entonces:

$$T_p = \frac{P \times 63000}{\text{RPM}}$$

$$T_p = 135,781 \times \text{pulg} = 156,76\text{kg} - \text{cm}$$

4.11.2 Fuerza de Pulverización:

$$F_p = \frac{T_p}{r}$$

$$F_p = \frac{156,76\text{kg} - \text{cm}}{11.16\text{cm}} = 14.04\text{kg}$$

$$F_p = 14.04\text{kg}$$

De acuerdo a la figura (15), esta fuerza pulverizadora se descompone a lo largo del eje X y del eje Y, en los puntos donde va ser máxima. En el punto F la F_p se descompone según el ángulo en una componente a lo largo del eje Y.

$$F_{py} = F_p * \cos \alpha$$

Tomando $\alpha=45^\circ$, ángulo formado generalmente por el amontonamiento de la arcilla sobre la criba, tenemos:

$$F_{px} = F_p = 14.04\text{kg}, \text{ en el punto E}$$

$$F_{py} = F_p * \cos \alpha = 14.04\text{kg} * \cos 45^\circ = 9.93\text{kg}$$

Sobre el eje Z la fuerza actuante es muy pequeña, por lo cual no la tendremos en cuenta en los cálculos.

4.11.3 Fuerzas sobre el eje debidas a la transmisión por correas

La fuerza actuante sobre la polea por tensión se deduce teniendo en cuenta un factor C para correas trapezoidales

$$C = 2 \text{ a } 2.5$$

$$C = 2.3 \text{ para correas trapezoidales}$$

$$\text{Fuerza tangencial } (F_t) = C(F_1 - F_2)$$

Dónde:

$$F_1 = \text{Fuerza de Tensión en el ramal superior de la correa}$$

$$F_2 = \text{Fuerza de Tensión en el ramal inferior de la correa}$$

$$F_t = \frac{T}{r_c}$$

Dónde:

$$r_c = \text{Radio de la polea conducida}$$

$$r_c = 2.25\text{pulg} = 5.715\text{cm, según cálculos posteriores}$$

$$F_t = \frac{156.76\text{kg} - \text{cm}}{5.715\text{cm}} = 27.43\text{kg}$$

$$\text{Fuerza tangencial neta: } F_t * C = 27.43\text{kg} * 2.3 = 63.09\text{kg}$$

Esta fuerza al llevarse sobre el eje del molino se descompone en 2 fuerzas, una sobre el eje X y la otra sobre el eje Y.

$$F_{ny} = \text{Fuerza tangencial neta} * \sin 8.4^\circ = 9.22\text{kg}$$

$$F_{nx} = \text{Fuerza tangencial neta} * \cos 8.4^\circ = 62.41\text{kg}$$

$$F_{sx} = \text{Fuerza en la dirección del eje X debida a la fuerza pulverizadora.}$$

$$F_{sy} = \text{Fuerza en la dirección del eje Y debida a la fuerza pulverizadora.}$$

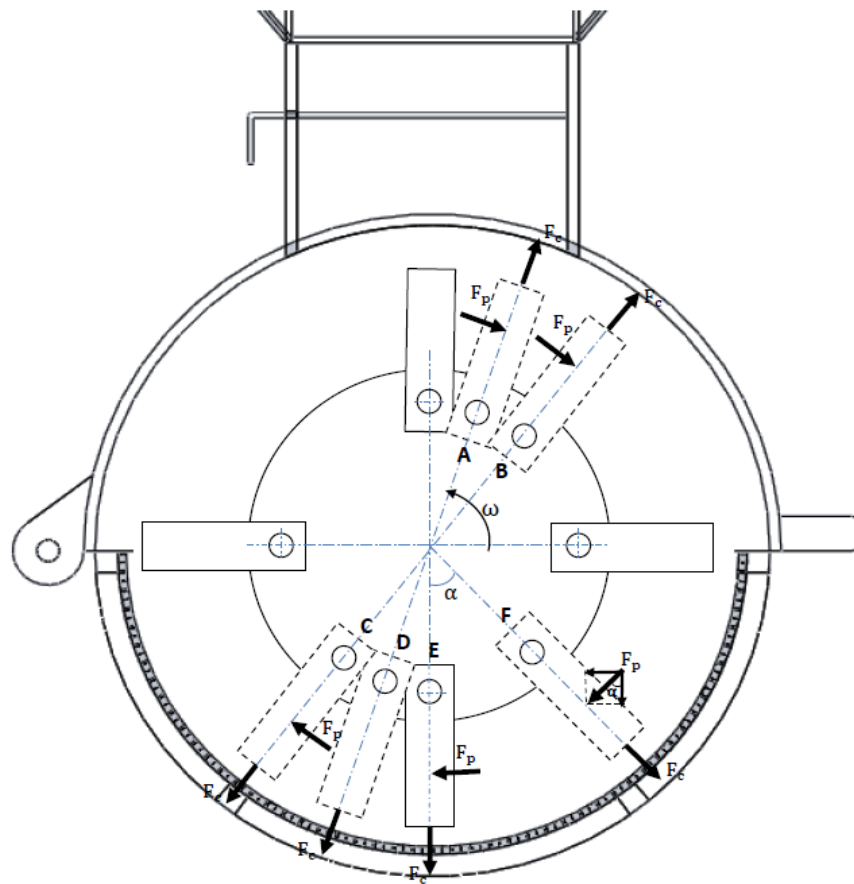
$$F_{sx} = \frac{F_{Px}}{8} = \frac{14.04\text{kg}}{8}$$

$$F_{sx} = 1.76\text{kg}$$

$$F_{sy} = \frac{F_{py}}{8} = \frac{9.93\text{kg}}{8}$$

$$F_{sy} = 1.24\text{kg}$$

Figura 15. Fuerzas que actúan sobre el Rotor y zonas Críticas de Carga



Dónde:

F_c = Fuerza Centrifuga

Mayor Fuerza Vertical en F, $F_y = F_p * \cos \alpha$

F_p = Fuerza de Pulverización

Mayor Fuerza Horizontal en E, $F_x = F_p$

$$\alpha = 45^\circ$$

Zona crítica D – F

Las Cargas En las Zonas A – B Y C – D se equilibran por simetría.

4.11.4 Peso del Rotor

Este cálculo se basa en dimensiones halladas posteriormente para las diversas partes que componen el peso del rotor:

Peso del Eje (W_e):

$$\text{Volumen del Eje } (V_e) = L * \text{Área}$$

$$(V_e) = 18.92\text{cm} * \frac{\pi}{4} (4.36\text{cm})^2 + 16.08\text{cm} * \frac{\pi}{4} (3.17\text{cm})^2 + 4.65\text{cm} * \frac{\pi}{4} (0.252\text{cm})^2$$

$$-(0.63\text{cm} * 0.36\text{cm} * 4.65\text{cm})$$

$$V_e = 431.5249\text{cm}^3 = 0.4315249\text{dm}^3$$

$$W_e = V_e * \gamma_{\text{Acero}} = 0.4315249\text{dm}^3 * 7.85 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} = 3.39\text{kg}$$

Peso de los Discos (W_d):

$$\text{Volumen de los discos } (V_d) = \text{Espesor} * \text{Área}$$

$$(V_d) = 0.635\text{cm} * \frac{\pi}{4} (20.61\text{cm})^2 - 4(0.635\text{cm} * \frac{\pi}{4} (1.27\text{cm})^2) - 0.63\text{cm} * \frac{\pi}{4} (4.36\text{cm})^2$$

$$(V_d) = 199.15\text{cm}^3 = 0.19915\text{dm}^3$$

Volumen de todos los discos (V_{td}):

$$(V_{td}) = 3 * V_d = 0.59745\text{dm}^3$$

$$W_d = V_{td} * 7.85 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} = 0.59745 \text{dm}^3 * 7.85 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$$

$$W_d = 4.69 \text{kg}$$

Peso de los Martillos:

$$P_{Tm} = 6,912 \text{kg} \text{ (Calculado anteriormente)}$$

Peso de los ejes de rotación de los martillos (W_{se}):

$$\text{Volumen del Semi – Eje } (V_{se}) = L * \text{Área} = 18.92 \text{cm} * \frac{\pi}{4} (1.27 \text{cm})^2$$

$$V_{se} = 23.97 \text{cm}^3 = 0.02397 \text{dm}^3$$

$$W_{se} = V_{se} * \gamma_{Acero} = 0.19 \text{kg} * \text{No de semi – ejes} = 0.76 \text{kg}$$

Peso de los Bujes Separadores de los Martillos (W_{bs}):

$$(W_{bs}) = 5.875 \times 10^{-3} * 40 = 0.235 \text{kg}$$

Peso Total del Rotor (W_{TR}):

$$W_{TR} = W_e + W_d + P_{Tm} + W_{se} + W_{bs}$$

$$W_{TR} = 3.39 \text{kg} + 4.69 \text{kg} + 6,912 \text{kg} + 0.76 \text{kg} + 0.235 \text{kg} = 15.987 \text{kg} \approx 16 \text{kg}$$

$$W_{TR} = 16 \text{kg}$$

4.12 SIMULACIÓN (ANÁLISIS ESTÁTICO) DEL MARTILLO EN SOLIDWORKS

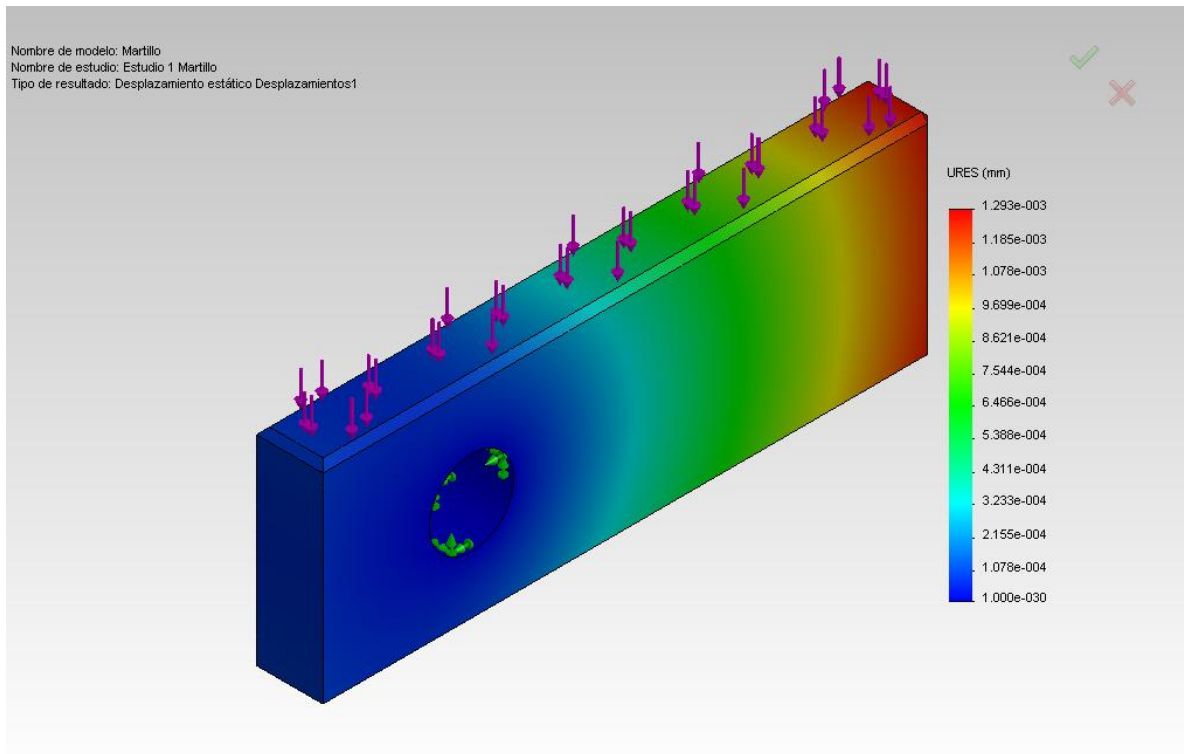
Por medio del análisis estático que se realiza en SolidWorks-Simulation se evalúa el comportamiento de los martillos, el eje principal y el eje de rotación de los martillos, simulando las cargas externas que se le aplican a los mismos, tales como momentos y sujeciones entre otros. Como resultado el software arroja un análisis de tensiones, desplazamientos, deformaciones unitarias y factor de

seguridad permitiendo conocer diversos aspectos del comportamiento del modelo antes de realizar prototipos físicos y así posibilitar la optimización del diseño.

En las figuras que se muestran a continuación podemos observar los diferentes análisis realizados a los martillos, considerando las cargas y los efectos que en él se producen

Figura 16. Análisis de Desplazamientos del Martillo

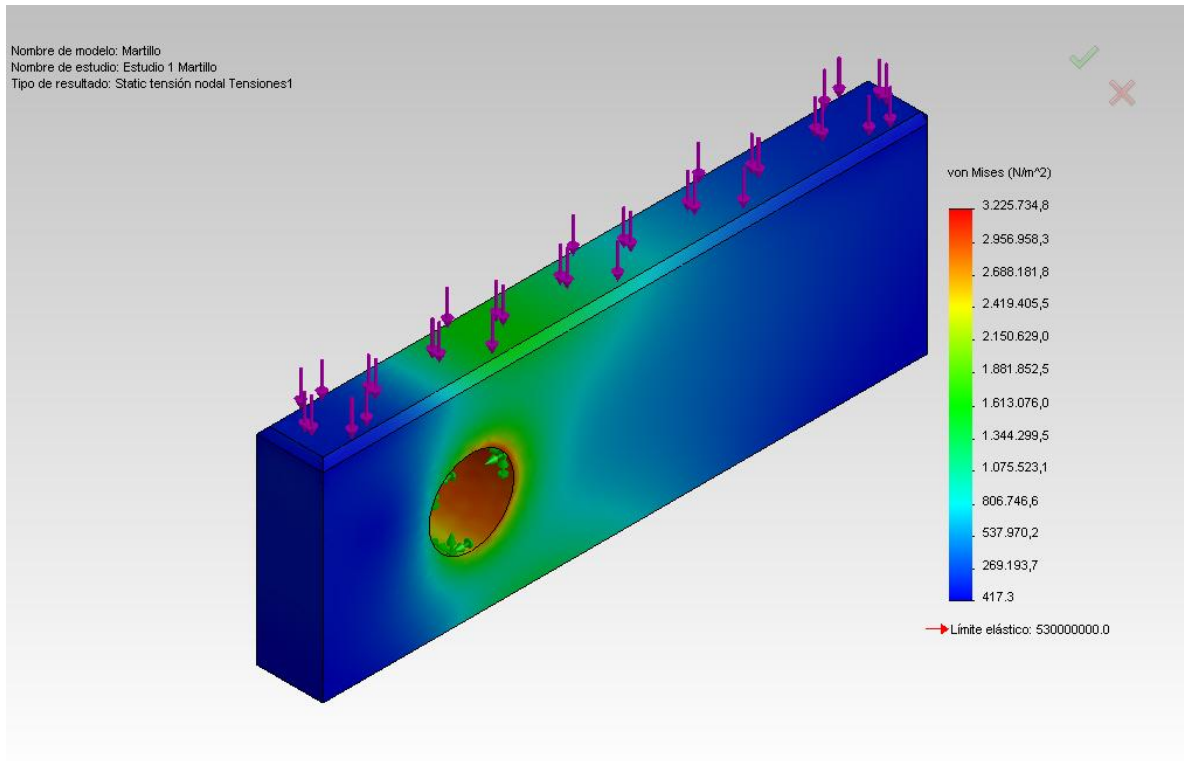
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos	URES: Desplazamiento resultante	0 mm	0.00129321 mm



La figura 16. Muestra el análisis de desplazamientos en donde se observa que el desplazamiento máximo es de 0.00129321 mm y se presenta evidentemente en el extremo del mismo como se esperaba que fuera.

Figura 17. Análisis de Tensiones del Martillo

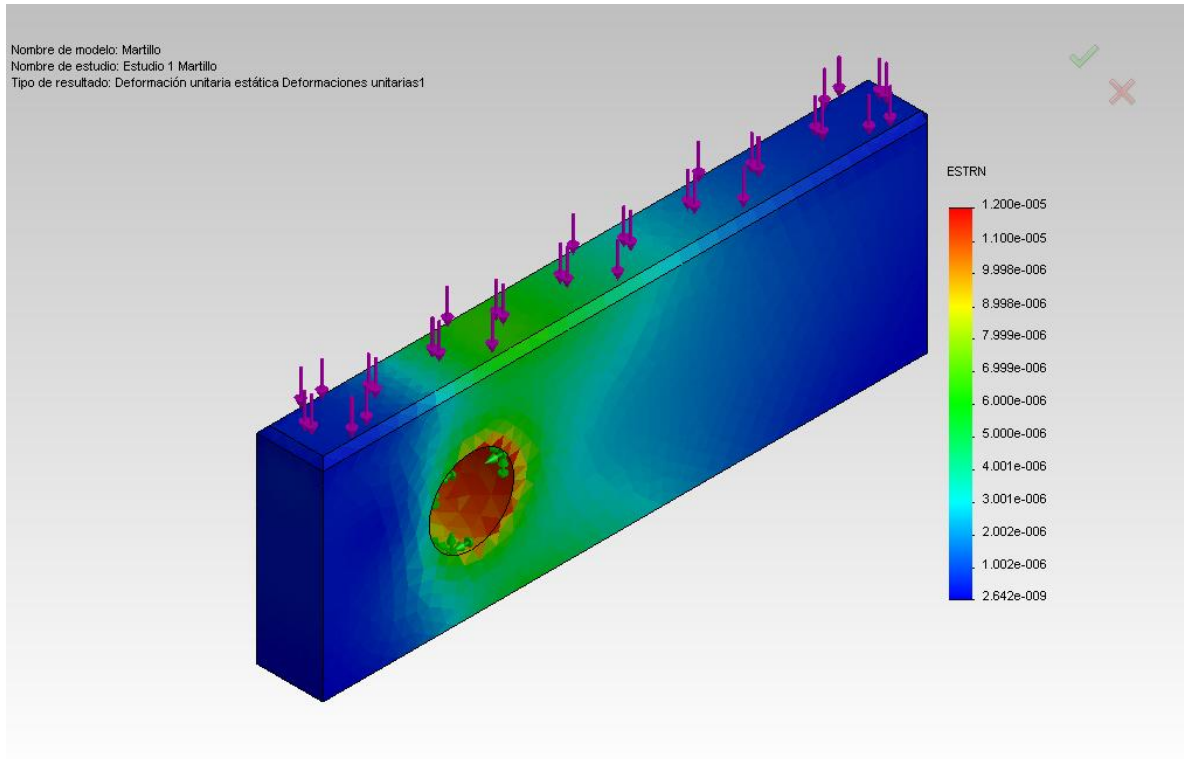
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	417.259 N/m ²	3.22573e+006 N/m ²



En la figura 17. Presenta el análisis de tensiones; se puede observar un valor máximo de tensión de 3.22573e+006 N/m² y su mínimo de 417.259 N/m² q se presentan en la zona por donde pasa el eje de rotación de los martillos y con menor frecuencia en sus alrededores.

Figura 18. Análisis de Deformaciones Unitarias del Martillo

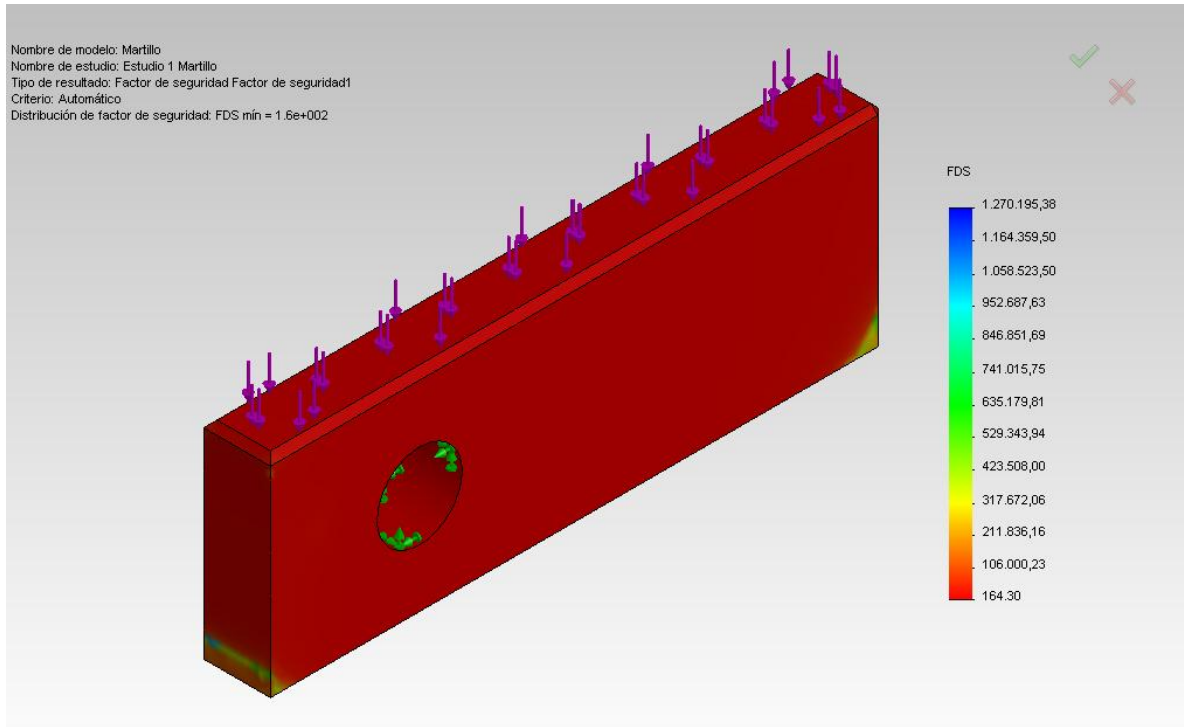
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	2.64202e-009	1.19966e-005



En la figura 18. Análisis de deformación unitaria se puede observar q no se evidencia criticidad en los martillos.

Figura 19. Análisis del Factor de Seguridad del Martillo

Nombre	Tipo	Min.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	164.304	1.2702e+006



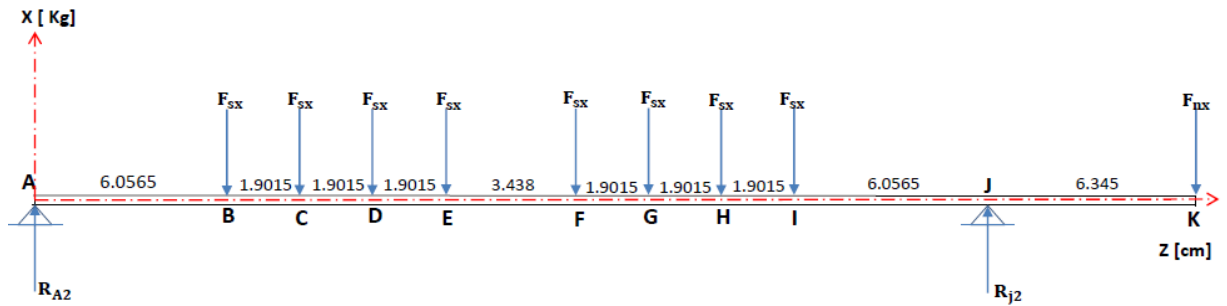
La figura 19. Calcula el factor de seguridad dando un valor mínimo de 164.304 que asegura que el eje no falla durante la prueba

4.12.1 Cálculo de las Reacciones en el Molino

A continuación se realizara el cálculo de fuerzas y reacciones en equilibrio estático para el plano X-Z y así poder determinar el factor de seguridad del eje principal del molino. Se desprecian los valores del peso del eje y las fuerzas de corte porque son mínimas.

Según la figura aplicando equilibrio estático de las fuerzas en el eje tenemos:

Figura 20. D.C.L Plano X-Z del eje principal



$$+\curvearrowright \Sigma M_A = 0 = 6.0565F_{sx} + 7.96F_{sx} + 9.86F_{sx} + 11.76F_{sx} + 15.20F_{sx} + 17.10F_{sx} \\ + 19F_{sx} + 20.9F_{sx} - 26.96R_{j2} + 33.30F_{nx} = 0$$

Remplazando valores y despejando R_{j2} tenemos que:

$$R_{j2} = 84.08\text{kg}$$

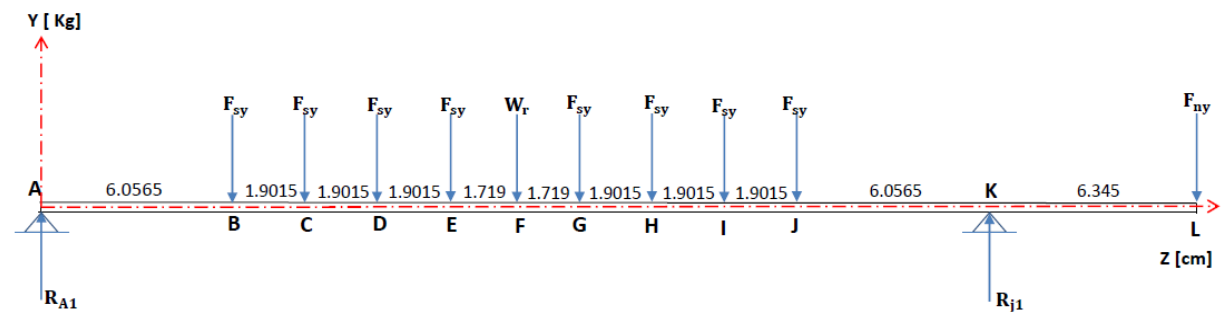
Ahora para calcular R_{A2} hacemos $+\uparrow \Sigma F_Y = 0$ como se muestra a continuación:

$$+\uparrow \Sigma F_Y = 0 = -8F_{sx} - R_{A2} + R_{j2} - F_{nx} = 0$$

Remplazando tenemos que R_{A2} va ser igual a:

$$R_{A2} = 7.59\text{kg}$$

Figura 21. D.C.L Plano Y-Z del eje principal



$$+\curvearrowright \Sigma M_A = 0 = 6.0565F_{sy} + 7.96F_{sy} + 9.86F_{sy} + 11.76F_{sy} + 13.48W_{TR} + 15.20F_{sy} \\ + 17.10F_{sy} + 19F_{sy} + 20.9F_{sy} - 26.96R_{j1} + 33.30F_{ny} = 0$$

Remplazando valores y despejando R_{j1} tenemos que:

$$R_{j1} = 24.35\text{kg}$$

Ahora para calcular R_{A1} hacemos $+\uparrow \Sigma F_Y = 0$ como se muestra a continuación:

$$+\uparrow \Sigma F_Y = 0 = -8F_{sy} - W_{TR} - R_{A1} + R_{j1} - F_{ny} = 0$$

Remplazando tenemos que R_{A1} va ser igual a:

$$R_{A1} = 10.79\text{kg}$$

Figura 22. Diagrama de cortante plano x-z

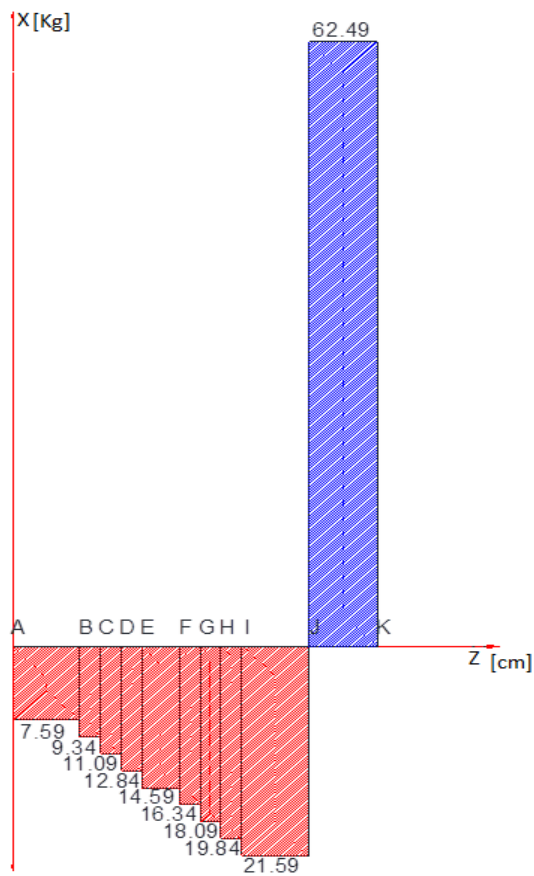


Figura 23. Diagrama de Momento Flector plano x-z

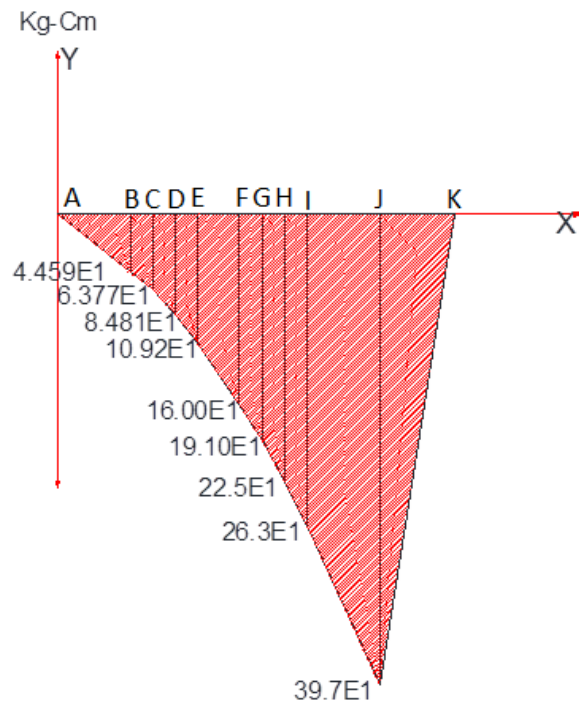


Figura 24. Diagrama de cortante plano y-z

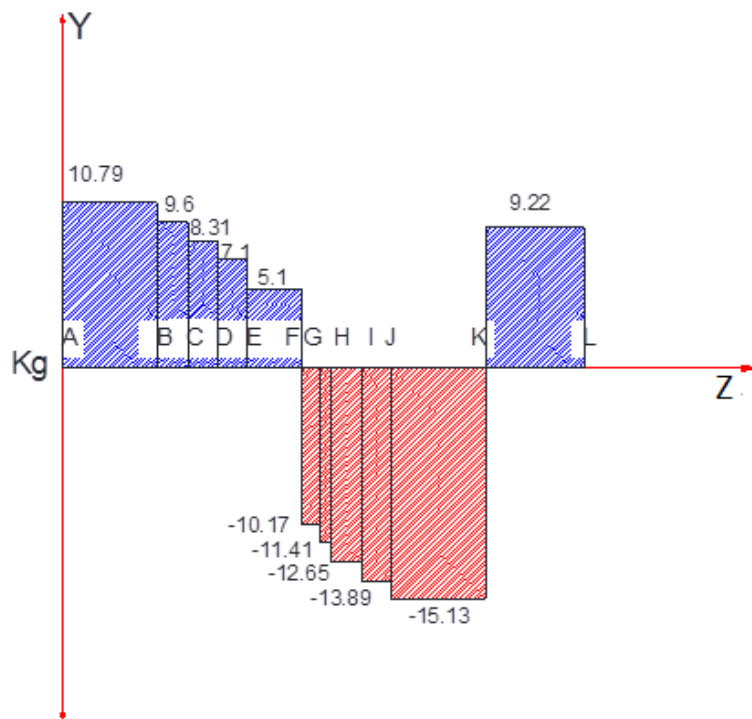
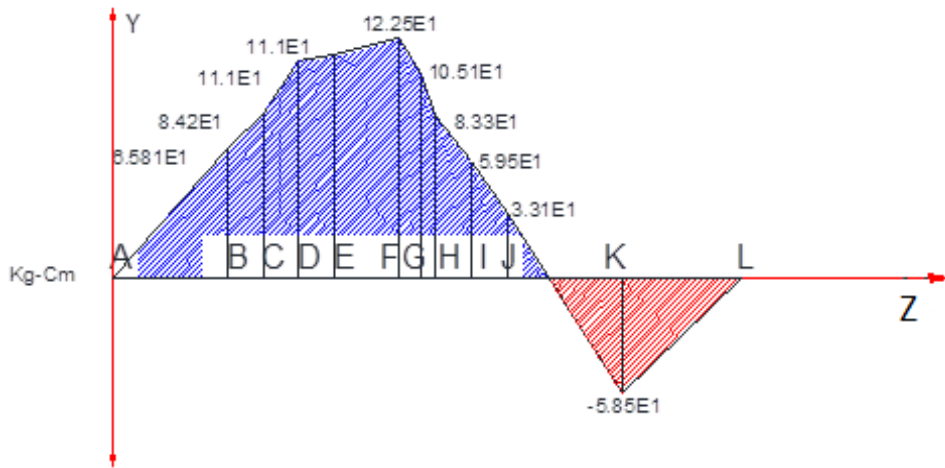


Figura 25. Diagrama de Momento plano y-z



De acuerdo con los diagramas de cortante y momento tenemos:

Plano X-Z:

Cortante Máximo en el apoyo J = 62.49kg

Momento Flector máximo negativo en el punto J = 397kg – cm

Plano Y-Z:

Cortante Máximo Negativo en el apoyo J = 15.13kg

Momento Flector máximo positivo en el punto F = 122.5kg – cm

En cuanto al torque tenemos que todo el torque suministrado es empleado en el proceso de molienda, siendo su valor es de 156,76kg – cm

El torque máximo se presenta en el eje a lo largo de la zona I-K

El momento Flector en el eje se presenta en los puntos F y J, y es igual a:

$$MF = \sqrt{(Mc_y - z)^2 + (Mc_x - z)^2}$$

$$MF = 415.47\text{kg} - \text{cm}$$

Como el momento flector y el torque máximos se encuentran en dichos puntos, esta será la zona crítica del eje.

Para calcular el diámetro del eje aplicaremos el criterio de diseño de Soderberg; usamos este criterio debido a que este tipo de máquina es sobrecargada con frecuencia y el material a moler no es homogéneo, incluso de acuerdo a datos empíricos en ocasiones saltan dentro del molino objetos de metal que ocasionan sobrecargas, por lo cual este criterio conservativo es apropiado.

4.12.2 Criterio de Soderberg:

$$\frac{1}{N_s} = \left[\left(\frac{\sigma_m}{S_y} + \frac{K_f * \sigma_a}{S_n} \right)^2 + \left(\frac{Z_{ms}}{S_{ys}} + \frac{K_{fs} * Z_{as}}{S_{ns}} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Dónde:

N_s = Factor de Seguridad

S_y = Resistencia a la Fluencia del Material

K_f = Coeficiente de reducción de resistencia a la Fatiga

σ_a = Esfuerzo variable de tensión

S_n = Limite de endurancia del material del eje

Z_{ms} = Esfuerzo medio de corte

S_{ns} = Resistencia de endurancia al corte

S_{ys} = Resistencia a la Fluencia al corte

K_{fs} = Factor de reducción al corte

Z_{as} = Esfuerzo variable al corte

σ_m = Esfuerzo medio de tensión

4.12.3 Material del Eje:

El material usado fue acero AISI 1045 calidad Sidelpa

Características de resistencia del material:

$$\text{Resistencia Ultima } (S_u) = 82\text{Ksi} \left(5765 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$S_y = 48\text{Ksi} \left(3374 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$S_{ys} = 0.58 * S_y = 1957 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$S_n = 0.5 * S_u * C_c * C_s * C_t * C_r$$

Dónde:

$$C_c = 0.57 \text{ (Factor de Corrección por carga)}$$

$$C_s = 0.90 \text{ (Factor de corrección por superficie)}$$

$$C_t = 0.85 \text{ (Factor de corrección por tamaño)}$$

$$C_r = 0.80 \text{ (Factor de confiabilidad)}$$

$$S_n = 0.5 * 5765 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 0.57 * 0.90 * 0.85 * 0.80 = 1006 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$S_{ns} = 0.5 * S_n = 0.5 * 1006 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 503 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Esfuerzo de Flexión en el eje (σ)

$$\sigma = \frac{32 * MF}{\pi * (D_e)^3} \quad (\text{GERE, 324})$$

Dónde:

MF = Momento flector máximo en el eje

D_e = Diámetro del eje

$$\sigma = \frac{32 * 415.47 \text{kg} - \text{cm}}{\pi * (D_e)^3} = \frac{4231.94}{(D_e)^3} \text{kg} - \text{cm}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\text{máx}} + \sigma_{\text{min}}}{2} = \frac{\sigma + (-\sigma)}{2} = 0$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\text{máx}} - \sigma_{\text{min}}}{2} = \frac{\sigma - (-\sigma)}{2} = \sigma = \frac{4231.94}{(D_e)^3} \text{kg} - \text{cm}$$

Esfuerzo cortante por torque (Z)

$$z = \frac{16 * T}{\pi * (D_e)^3}$$

$$z = \frac{16 * 156,76 \text{kg} - \text{cm}}{\pi * (D_e)^3} = \frac{798.37}{(D_e)^3} \text{kg} - \text{cm}$$

Esfuerzo cortante por flexión:

$$z_{v3} = \frac{16 * v_3}{3\pi * (D_e)^2}$$

$$z_{v4} = \frac{16 * v_4}{3\pi * (D_e)^2}$$

Dónde:

z_{v3} = Esfuerzo cortante por flexión en el plano y - z

z_{v4} = Esfuerzo cortante por flexión en el plano x - z

v_3 = 3.31kg(Máximo cortante en el plano y - z)

v_4 = 4.69kg(Máximo cortante en el plano x - z)

$$z_{v3} = \frac{16 * 15.13 \text{kg}}{3\pi * (D_e)^2} = \frac{25.68}{(D_e)^2} \text{kg} / \text{cm}^2$$

$$z_{v4} = \frac{16 * 62.49 \text{kg}}{3\pi * (D_e)^2} = \frac{106.09 \text{kg}}{(D_e)^2} / \text{cm}^2$$

$$z_v = \sqrt{z_{v3}^2 + z_{v4}^2}$$

$$z_v = \frac{109.15 \text{kg}}{(D_e)^2} / \text{cm}^2$$

$$z_{ms} = \frac{z_{m\acute{a}x} + z_{m\acute{i}n}}{2} = \frac{\left(z + \frac{z_v}{2}\right) + \left(z - \frac{z_v}{2}\right)}{2} = z$$

$$z_{ms} = \frac{798.37}{(D_e)^3} \text{kg} - \text{cm}$$

$$z_{as} = \frac{z_{m\acute{a}x} - z_{m\acute{i}n}}{2} = \frac{\left(z + \frac{z_v}{2}\right) - \left(z - \frac{z_v}{2}\right)}{2} = \frac{z_v}{2}$$

$$z_{as} = \frac{54.575}{(D_e)^2} \text{kg} - \text{cm}$$

Valores de KF y KF_S :

$$KF_S = 1.3, KF = 1.74$$

Aplicando la ecuaci3n de Soderberg con un diámetro para el eje de 4.36cm tenemos el siguiente valor para N_s:

$$\frac{1}{N_s} = \left[\left(0 + \frac{1.74 * 4231.94}{(4.36)^3 * 1006} \right)^2 + \left(\frac{798.37}{(4.36)^3 * 1957} + \frac{1.3 * 54.575}{(4.36)^2 * 503} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

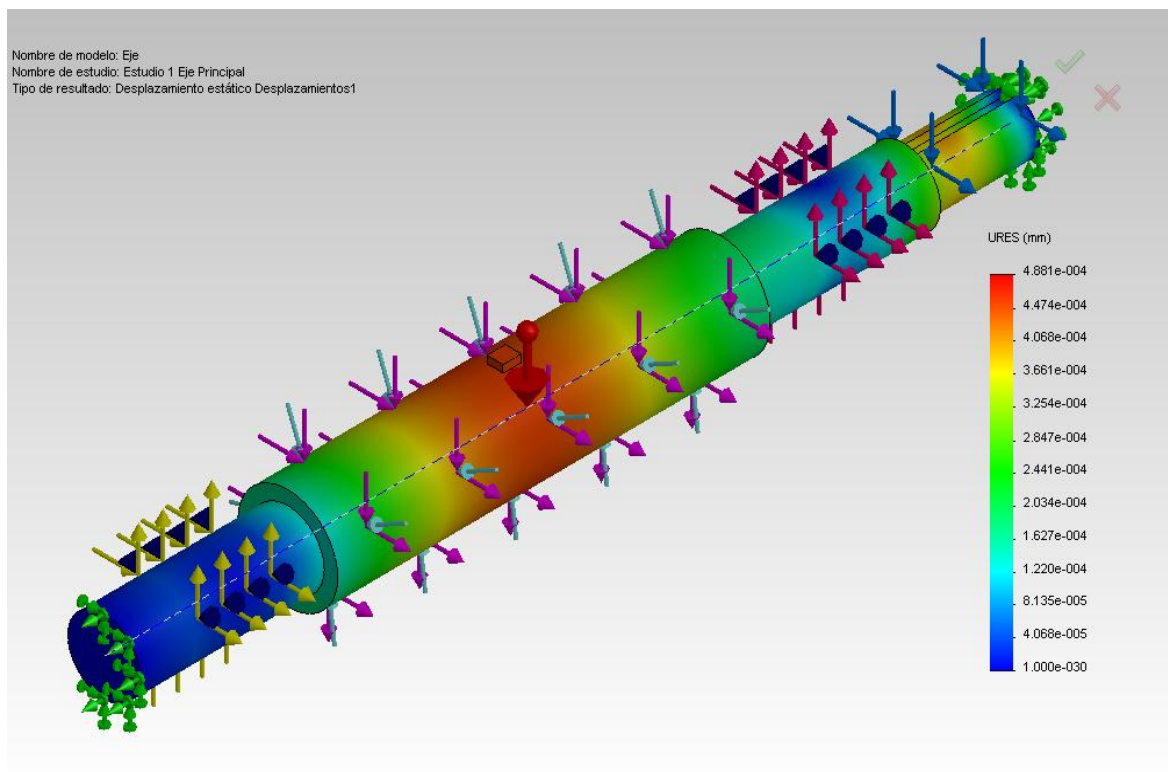
$$N_s = 11.22$$

4.13 SIMULACIÓN (ANÁLISIS ESTÁTICO) DEL EJE EN SOLIDWORKS:

Realizando el mismo procedimiento anteriormente descrito en la simulación de los martillos; Para el presente caso se obtuvieron los siguientes resultados

Figura 26. Análisis de Desplazamientos del eje Principal

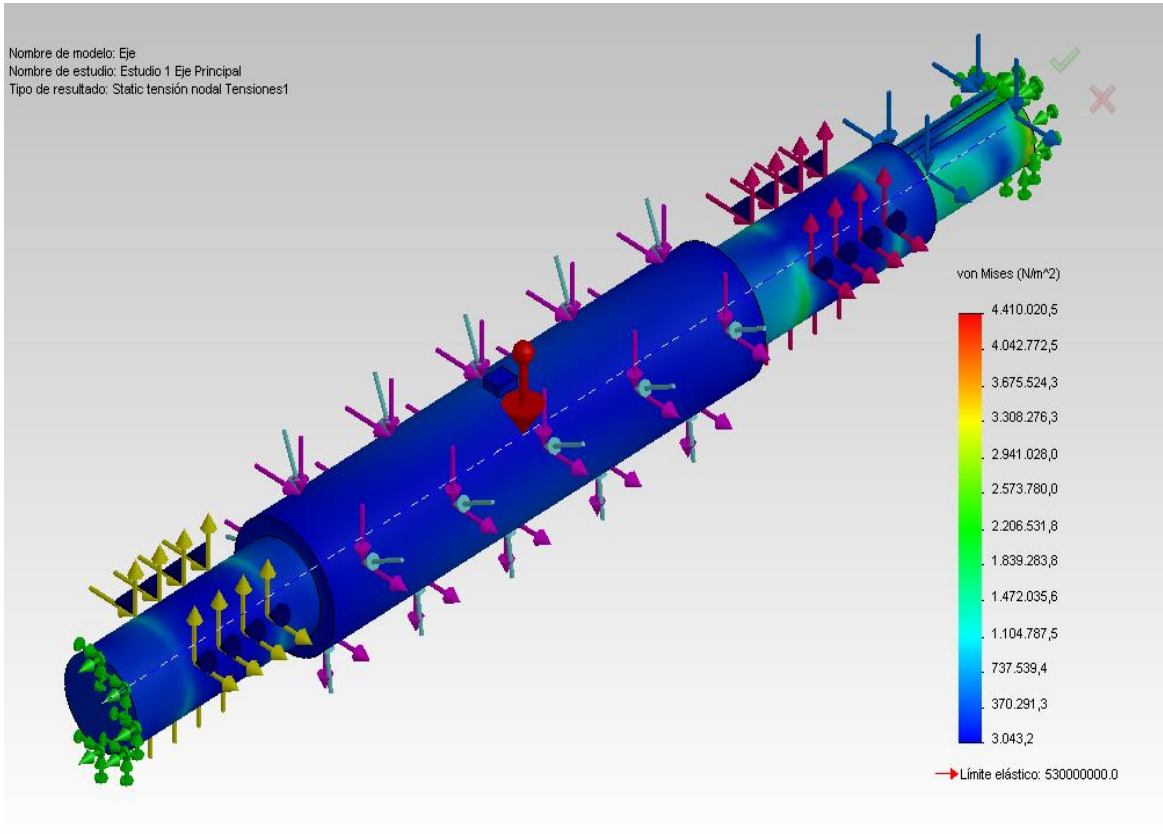
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos	URES: Desplazamiento resultante	0 mm	0.000488111 mm



En el análisis de desplazamientos se observa que el desplazamiento máximo es de 0.000488111mm y se presenta en el centro del eje.

Figura 27. Análisis de Tensiones del eje Principal

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	3043.19 N/m ²	4.41002e+006 N/m ²



En el análisis de tensiones se observa un valor máximo de 4.41002e+006 N/m² en los apoyos de las chumaceras y en la polea conducida sobre el eje.

Figura 28. Análisis de Deformaciones Unitarias del eje Principal

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1.53545e-008	1.26496e-005

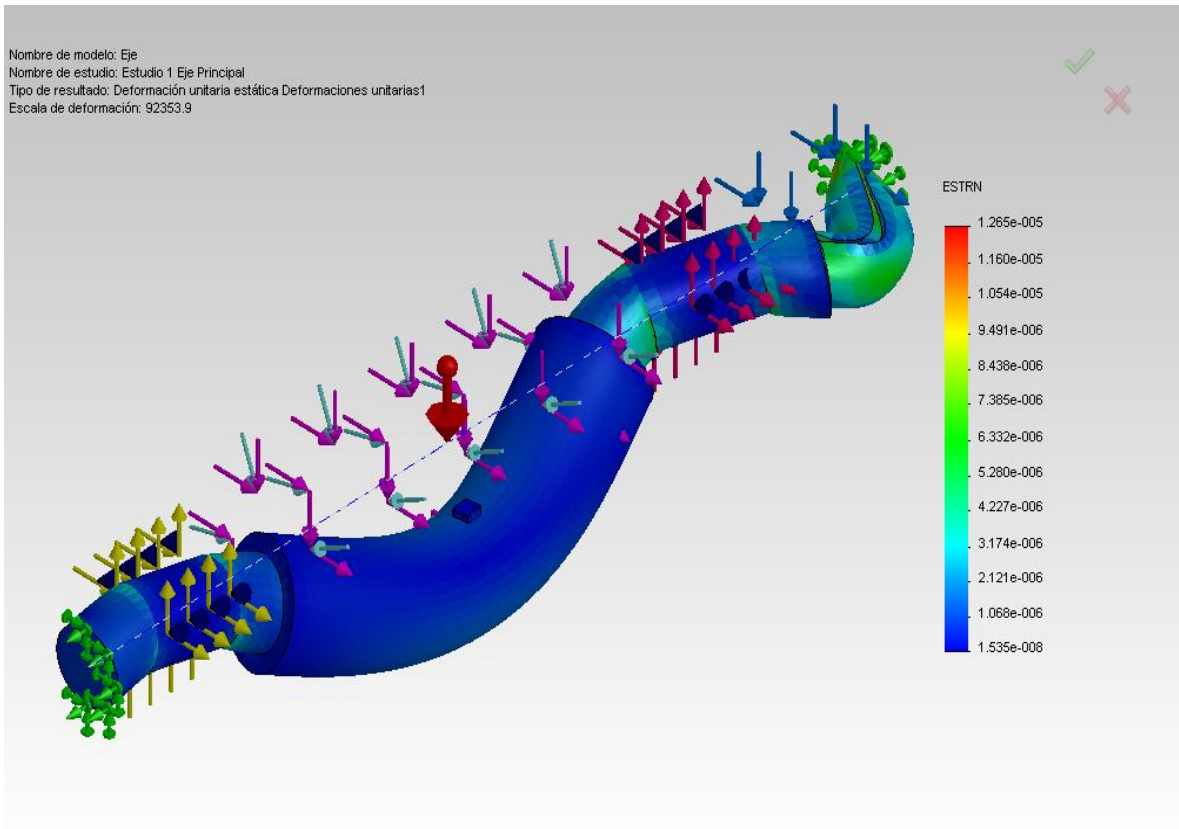
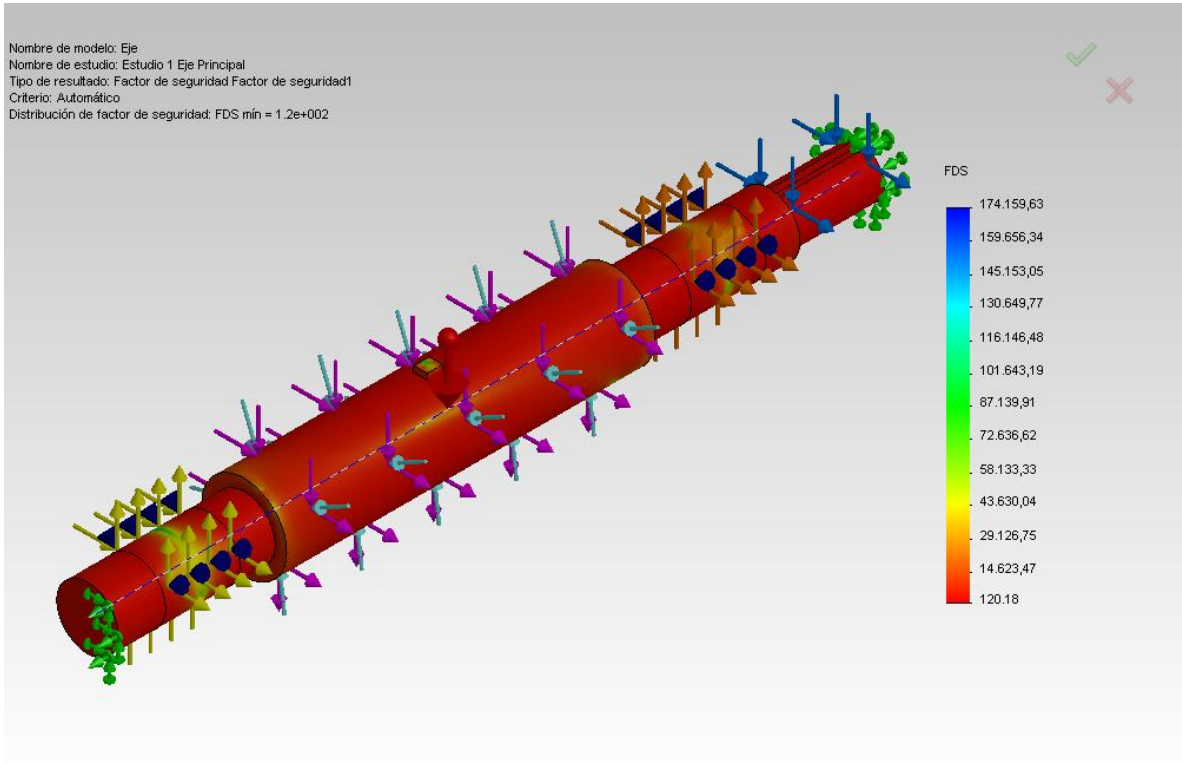


Figura 29. Análisis del Factor de Seguridad del eje Principal

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad	Automático	120.181	174160



4.14 DISEÑO DE LOS DISCOS DEL ROTOR

Cuando un disco de anchura uniforme se encuentra rotando se presentan los siguientes esfuerzos:

S_r = Esfuerzo radial en un radio cualquiera r_1

S_t = Esfuerzo tangencial en un radio cualquiera r_1

$$S_r = \frac{\gamma V_i}{g} = \frac{\mu + 3}{8} \left[1 + \left(\frac{r_i}{r_0} \right)^2 - \left(\frac{r_1}{r_0} \right)^2 - \left(\frac{r_i}{r_1} \right)^2 \right]$$

$$S_t = \frac{\gamma V_i}{g} = \frac{\mu + 3}{8} \left[1 + \left(\frac{r_i}{r_0} \right)^2 - \left(\frac{3\mu + 1}{\mu + 3} \right) \left(\frac{r_i}{r_0} \right)^2 + \left(\frac{r_i}{r_1} \right)^2 \right]$$

El máximo esfuerzo radial ocurre en un radio r_2 :

$$r_2 = \sqrt{r_i * r_0}; \text{ y es:}$$

$$S_{r\text{máx}} = \frac{\gamma V_i^2}{g} * \frac{\mu + 3}{8} \left[1 - \left(\frac{r_i}{r_0} \right) \right]^2$$

El máximo esfuerzo tangencial ocurre en un radio $r_3 = r_i$, y es:

$$S_{t\text{máx}} = \frac{\gamma V_i^2}{g} * \left(\frac{\mu + 3}{4} \right) \left[1 + \frac{1 - \mu}{\mu + 3} \left(\frac{r_i}{r_0} \right)^2 \right]$$

En las ecuaciones anteriores los diferentes símbolos representan lo siguiente:

$$\gamma = 0.28 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^3} \left(7.85 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \right), \text{ peso específico del acero.}$$

$$g = 386 \frac{\text{pulg}}{\text{s}^2} \left(980 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2} \right), \text{ aceleración de la gravedad}$$

$$\mu = 0.3 (\text{módulo de poisson para el acero})$$

$$r_i = 0.86 \text{pulg} (2.185 \text{cm}), \text{ radio interior del disco igual al del eje del molino}$$

$$r_0 = 4.06 \text{pulg} (10.305 \text{cm}), \text{ radio exterior del disco, asumido.}$$

$$V_i = \text{Velocidad periférica del disco en } r_0$$

$$V_i = W * r_0 = 14576.99 \frac{\text{rad}}{\text{min}} * \frac{1 \text{min}}{60 \text{s}} * 4.06 \text{pulg} = 986.38 \frac{\text{pulg}}{\text{s}}$$

$$V_i = 986.38 \frac{\text{pulg}}{\text{s}} \left(2505.4 \frac{\text{cm}}{\text{s}} \right)$$

Con estos datos y aplicando las ecuaciones anteriores tenemos:

$$S_{t\text{máx}} = 587.8 \text{Psi}$$

$$S_{t\text{máx}} = 587.8 \text{Psi} = 41.27 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \text{ y ocurre en un radio } r_i = 0.86 \text{pulg} (2.185 \text{cm})$$

$$S_{r\text{m}\acute{a}\text{x}} = 180.84\text{Psi}$$

$$S_{r\text{m}\acute{a}\text{x}} = 180.84\text{Psi} = 12.66 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \text{ y ocurre en un radio } r_2$$

$$r_2 = \sqrt{r_i * r_0} = \sqrt{2.185\text{cm} * 10.305\text{cm}} = 4.74\text{cm}$$

En conclusión tenemos:

$$S_{t\text{m}\acute{a}\text{x}} = 41.27 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}, \text{ se encuentra a } r_3 = 2.18\text{cm}$$

$$S_{r\text{m}\acute{a}\text{x}} = 12.66 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \text{ se encuentra a } r_2 = 4.74\text{cm}$$

Calculando S_t en un radio $r_1 = 4.74\text{cm}(1.87\text{pulg})$ tenemos:

$$S_t = 358.24\text{Psi} = 25.17 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

En $r_1 = 4.74\text{cm}$ tendremos:

$$S_r = 12.66 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \text{ y } S_t = 25.17 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

En $r_1 = 2.18\text{cm}$ tendremos:

$$S_r = 0, \quad \text{y } S_t = 41.27 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Combinando los esfuerzos para $r_1 = 4.74\text{cm}$ tendremos:

$$S_{re} = \sqrt{S_{m\acute{a}\text{x}}^2 + S_t^2}$$

$$S_{re} = 28.17 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

De tal manera que el máximo esfuerzo es de $41.27 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ tangencialmente y se encuentra a un radio igual a 2.18cm.

4.14.1 Material de los Discos del Rotor:

Los discos son fabricados generalmente de lámina de acero de baja resistencia, para este caso tomamos como material lámina de acero tipo Hot Rolled AISI 1006, el cual presenta un esfuerzo de fluencia S_y de 24000Psi ($1687 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$).

Comparando esta resistencia del material con el esfuerzo máximo que se presenta en el disco por rotación, vemos que es mínimo.

4.14.2 Efecto de la Fuerza Centrífuga Sobre los Discos:

Según la figura 30 se considera que la fuerza centrífuga producida por los martillos es resistida por la sección diametral neta del disco; para estos cálculos tenemos:

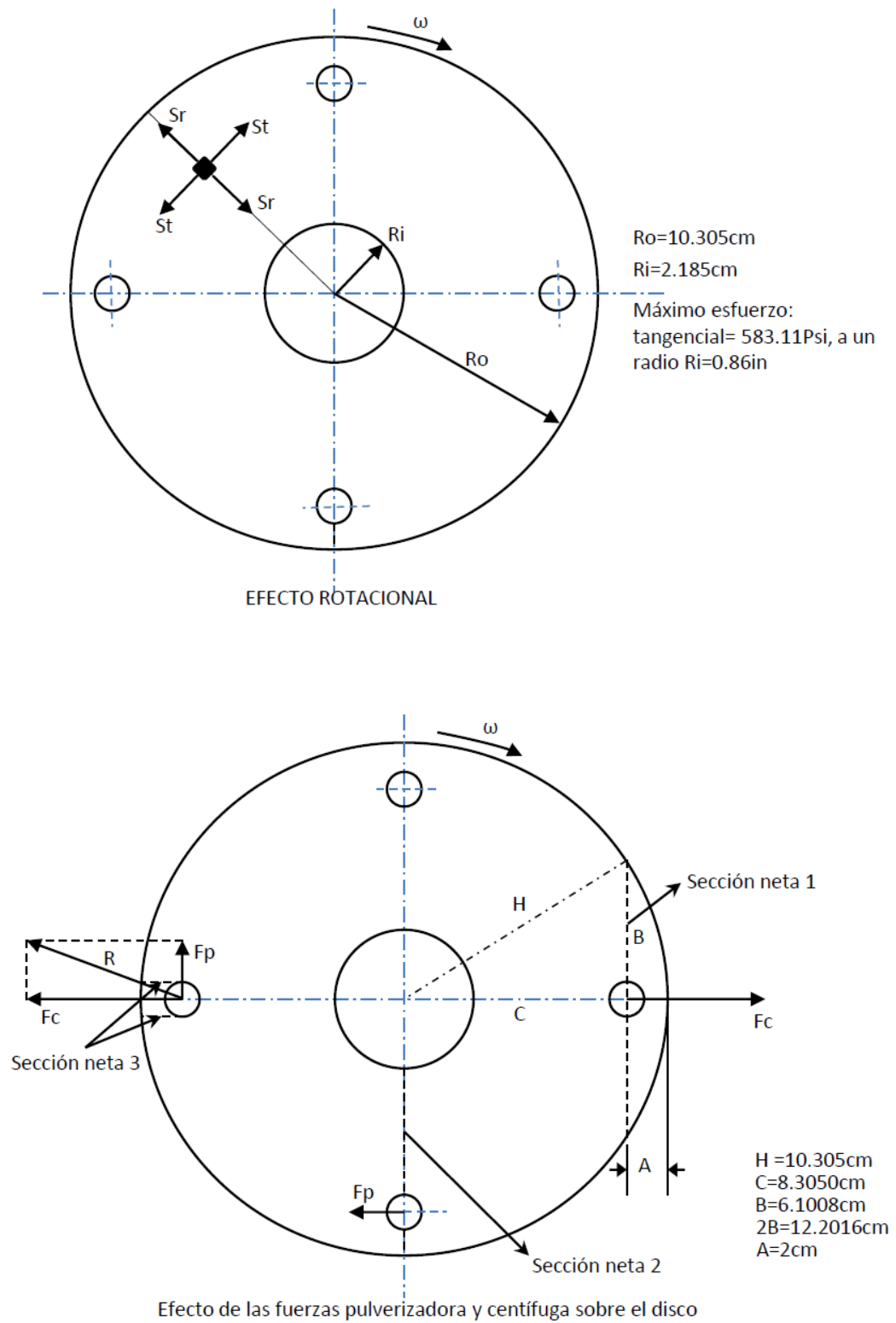
$$r_0 = 10.31\text{cm (radio exterior del disco)}$$

$$r_i = 2.18\text{cm}$$

$$r_p = 0.635\text{cm (radio de los ejes de rotación de los martillos, supuesto)}$$

$$b = \text{Espesor del disco}$$

Figura 30. Fuerzas que actúan sobre los Discos



Según la figura tenemos:

$$2B = 12.2016\text{cm (Longitud resistente)}$$

$$2B - 2 r_p = (12.2016\text{cm}) - (2(0.635\text{cm})) = 10.9316\text{cm (Longitud neta)}$$

$$\text{Area neta resistente (A } r_1) = \text{Longitud neta} * b_1$$

$$A r_1 = 10.9316b_1\text{cm}$$

Fuerza centrífuga debida a los martillos (F_c):

$$F_c = 1422.71\text{N (Valor ya calculado anteriormente)}$$

Fuerza centrífuga por disco (F_cD):

$$F_cD = \frac{F_c}{N_0 \text{ de discos}} = \frac{1422.71\text{N}}{3}$$

$$F_cD = 474.24\text{N (48.33K}_{g-f})$$

4.14.3 Efecto de la Fuerza Pulverizadora sobre el Disco:

La fuerza pulverizadora máxima se presenta en la parte más baja del recorrido de los martillos, se supone que esta fuerza la resiste la mitad de la sección transversal del disco (teniendo en cuenta su punto de aplicación y criterio conservativo).

Área neta resistente ($A r_2$):

$$A r_2 = (r_0 - r_i - 2 r_p)b_2 = (10.31\text{cm} - 2.18\text{cm} - 2(0.635\text{cm}))b_2\text{cm} = 6.86b_2\text{cm}$$

$$A r_2 = 6.86b_2\text{cm}$$

Fuerza pulverizadora por Disco (F_pD):

$$F_pD = \frac{F_p}{3} = \frac{14.04\text{kg}}{3} = 4.68\text{kg}$$

4.14.4 Efecto de corte en los puntos de aplicación de fuerzas sobre el Disco:

Las fuerzas que actúan sobre el eje que sostiene a los martillos se transmiten sobre el disco; el eje resiste dos cargas: la fuerza centrífuga y la fuerza pulverizadora las cuales originan una fuerza resultante para el caso en que actúen simultáneamente.

$$R_1 = \sqrt{F_c D^2 + F_p D^2}$$

$$R_1 = 48.56 \text{kg}$$

Suponemos conservativamente que R actúa de manera radial ya que su dirección no se aparta demasiado de la dirección del radio. La fuerza R trata de romper el disco por las secciones indicadas en la figura 30, el área será:

$$A_{r_3} = (2 * 2\text{cm} * b_3) = 4b_3 \text{cm}$$

4.14.5 Cálculo del espesor de los Discos (b):

Con el acero ya seleccionado anteriormente el cual tiene una resistencia a la fluencia de 24Ksi $(1687 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2})$, tenemos:

Esfuerzo de diseño (Sd):

$$S_d = \frac{S_y}{N_1} = \frac{24000\text{Psi}}{4} = 6000\text{Psi} (420 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2})$$

Para el área A_{r_1} tenemos:

$$S_d = \frac{F_c D}{A_{r_1}} ; \text{Luego } A_{r_1} = \frac{F_c D}{S_d}$$

$$A_{r_1} = 0.115 \text{cm}^2$$

$$A_{r_1} = 10.9316b_1 \text{cm}$$

$$b_1 = \frac{A_{r_1}}{10.9316 \text{cm}}$$

$$b_1 = 0.0105\text{cm}$$

Para el área A_{r_2} tenemos:

$$A_{r_2} = \frac{F_p D}{S_d} = 0.011\text{cm}^2$$

$$A_{r_2} = 6.86b_2\text{cm} = 0.011\text{cm}^2$$

$$b_2 = 1.603 \times 10^{-3}\text{cm}$$

Para el área A_{r_3} tenemos:

Para el corte directo el esfuerzo admisible es el siguiente:

$$S_s = S_y * 0.5 = 420 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 0.5 = 210 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$S_s = 210 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$A_{r_3} = \frac{R}{S_s} = 0.231\text{cm}$$

$$A_{r_3} = 4b_3\text{cm} = 0.231\text{cm}$$

$$b_3 = 0.06\text{cm}$$

Como se ve, los valores de b son muy pequeños debido a sus cargas y al esfuerzo admisible del material, teniendo en cuenta las proporciones dimensionales del rotor y su rigidez, tomamos un espesor b para los discos de 0.635cm.

En resumen, esta es la información para los discos:

Material: Lámina de acero Hot Rolled AISI 1006

Numero de discos: 3

Diámetro exterior: 20.61cm

Diámetro interior (Agujero central): 4.37cm

Espesor de los Discos: 0.635cm

4.15 DISEÑO DE LOS EJES DE ROTACIÓN DE LOS MARTILLOS

Para que los martillos se sostengan en los discos existe un eje que pasara entre ambos, el diámetro del eje se definió en el diseño de los martillos y es de 1.27cm;

Los ejes estarán sometidos principalmente a la fuerza centrífuga producida por la masa de los martillos.

Su configuración, junto con respectivas medidas y fuerzas se pueden observar en la figura 31.

4.15.1 Longitud de los ejes (L_e):

Esta longitud se determina de acuerdo al espesor y al número de discos y martillos, también se tiene en cuenta en este cálculo el espesor de los bujes que separan a los mismos, estos bujes se pueden ver en los planos de despiece y sus dimensiones fueron tomadas de acuerdo a la labor que ejecutan ya que su fin primordial es separar los martillos y discos, servirles de guía, protección y ajuste.

$$L_e = 3 * b + 10 * b_{bs} + 8 * b_m + 20 * J$$

Dónde:

$$b = 0.635\text{cm, (Espesor del disco)}$$

$$b_{bs} = 0.8\text{cm, (Espesor del buje separador de martillos)}$$

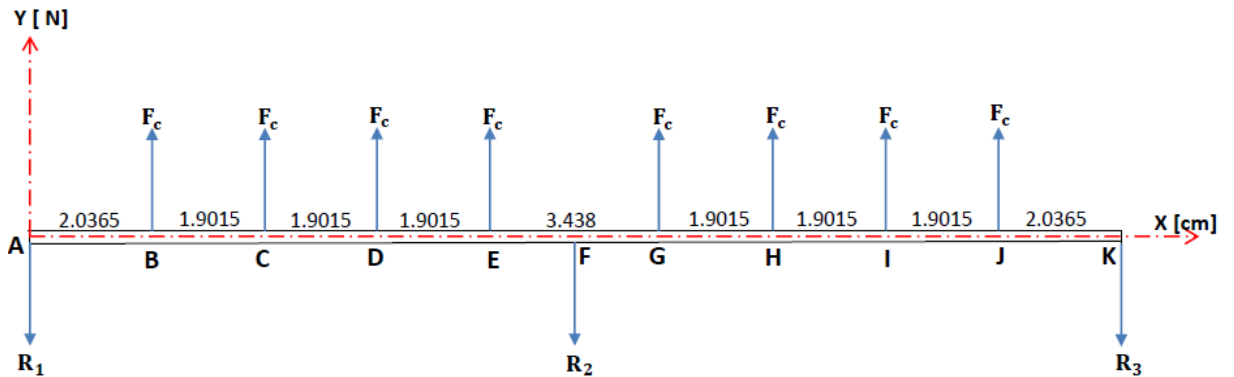
$$b_m = 1\text{cm, (Espesor del martillo)}$$

$$J = 0.05075\text{cm, (Juego entre buje, disco y martillo)}$$

Entonces reemplazando valores tenemos que la longitud del eje L_e será igual a:

$$L_e = 18.92\text{cm}$$

Figura 31. DCL Eje de rotación de los martillos



Las F_c son las fuerzas centrífugas que poseen los martillos y R_1 , R_2 y R_3 son las reacciones de los discos.

A continuación se realizara el cálculo de fuerzas y reacciones en equilibrio estático, para poder determinar el factor de seguridad del eje. Se desprecian los valores del peso del eje y las fuerzas de corte ya que estas son mínimas

Según la figura 31, aplicando equilibrio estático de las fuerzas en el perno tenemos:

$$R_1 + R_2 + R_3 = 8F_c$$

Como todas las reacciones son iguales y se conoce el valor de F_c entonces podemos determinar el valor de las reacciones:

$$3R = 8F_c$$

Donde $F_c = 1422.71\text{N}$

$$\frac{8}{3}F_c = R = 3793.89\text{N}$$

Ingresando estos valores y simulando el eje en el programa MDsolids, se obtiene los siguientes resultados:

Figura 32. Diagrama de cortante del eje de rotación de los martillos

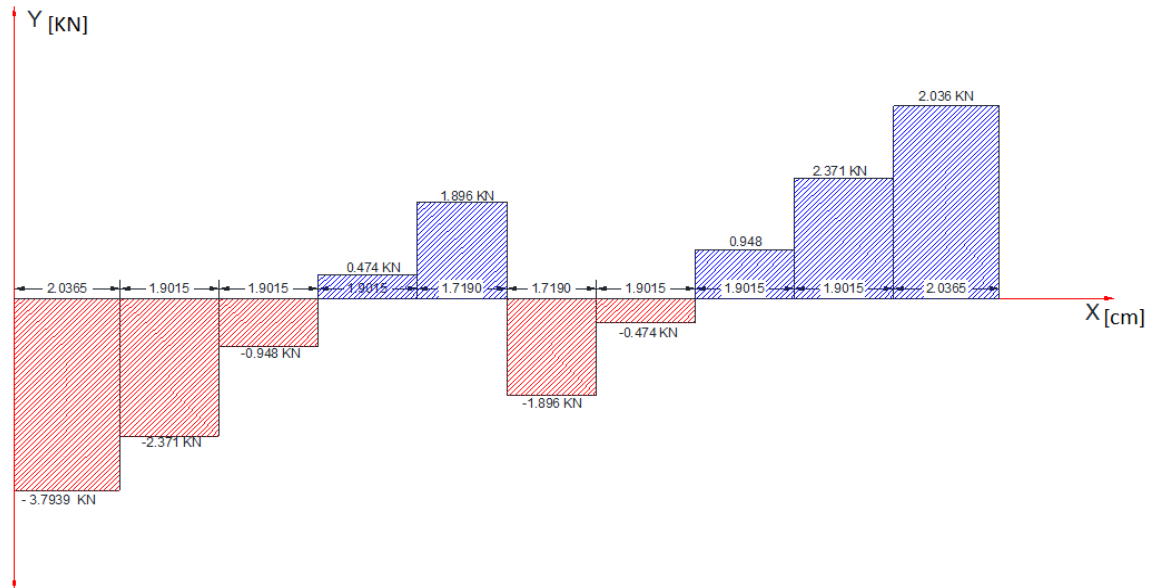
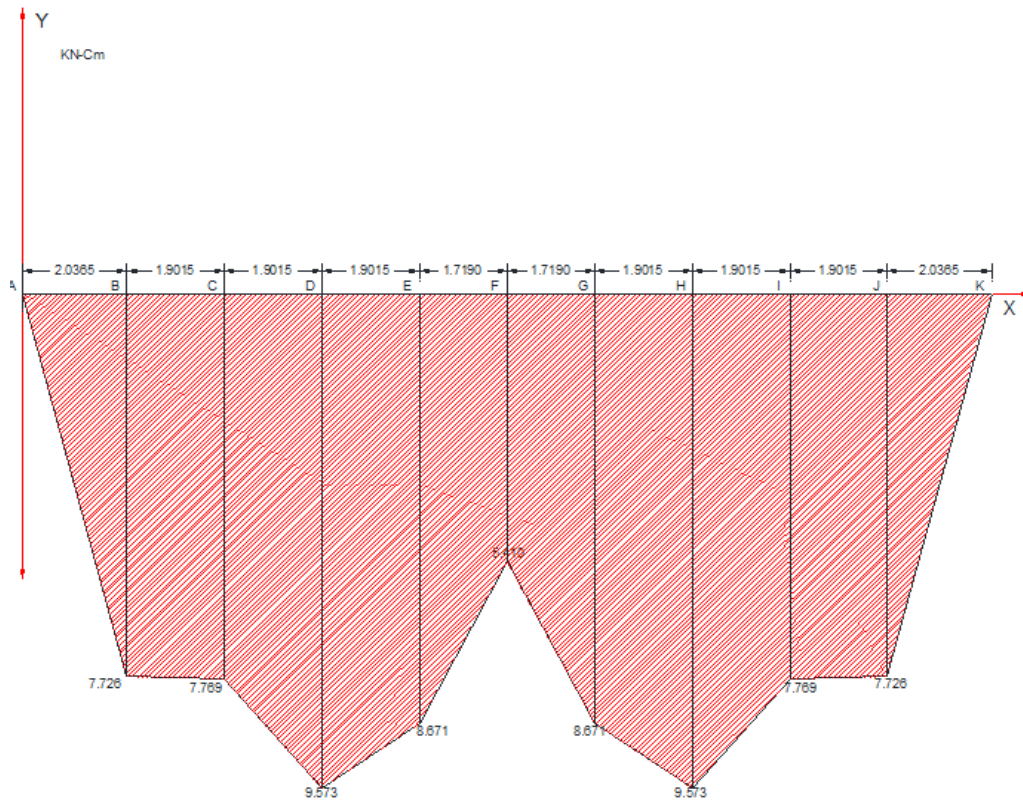


Figura 33. Diagrama de Momento Flector del eje de rotación de los martillos



Como podemos apreciar en las figuras anteriores, la zona donde se presenta el máximo esfuerzo de corte según la figura 32 es la zona A y K; y el máximo esfuerzo de flexión según la figura 33 es la zona D y H.

Esfuerzo de Flexión en el eje (σ)

$$\sigma = \frac{32 * MF}{\pi * (D_e)^3} \quad (\text{GERE, 324})$$

Dónde:

MF = Momento flector máximo en el eje

D_e = Diámetro del eje

$$\sigma = \frac{32 * 9573.17\text{N} - \text{cm}}{\pi * (1.27\text{cm})^3} = 47604.14 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} = 4760.41 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma = 47604.14 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} = 4760.41 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Ahora bien, para obtener el valor del factor de seguridad aplicamos la siguiente formula:

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma}$$

El valor de S_y para el acero AISI-SAE 4140 es de (690Mpa) $7036.04 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$

Remplazando datos tenemos:

$$\eta = 1.5$$

Lo que quiere decir que no hay falla aplicando la teoría del Esfuerzo Máximo.

Para asegurarnos de que no haya falla con la máxima tensión cortante se aplica la siguiente formula:

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{V_{\text{máx}}}{A}$$

Donde $V_{\text{máx}} = 3793.89\text{N}$, figura 34

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{3793.89\text{N}}{\frac{\pi}{4}(0.0127\text{m})^2} = 29949350.71 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 305.40 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Para el factor de seguridad se aplica la siguiente formula:

$$\eta = \frac{S_y}{2 * \tau_{\text{máx}}}$$

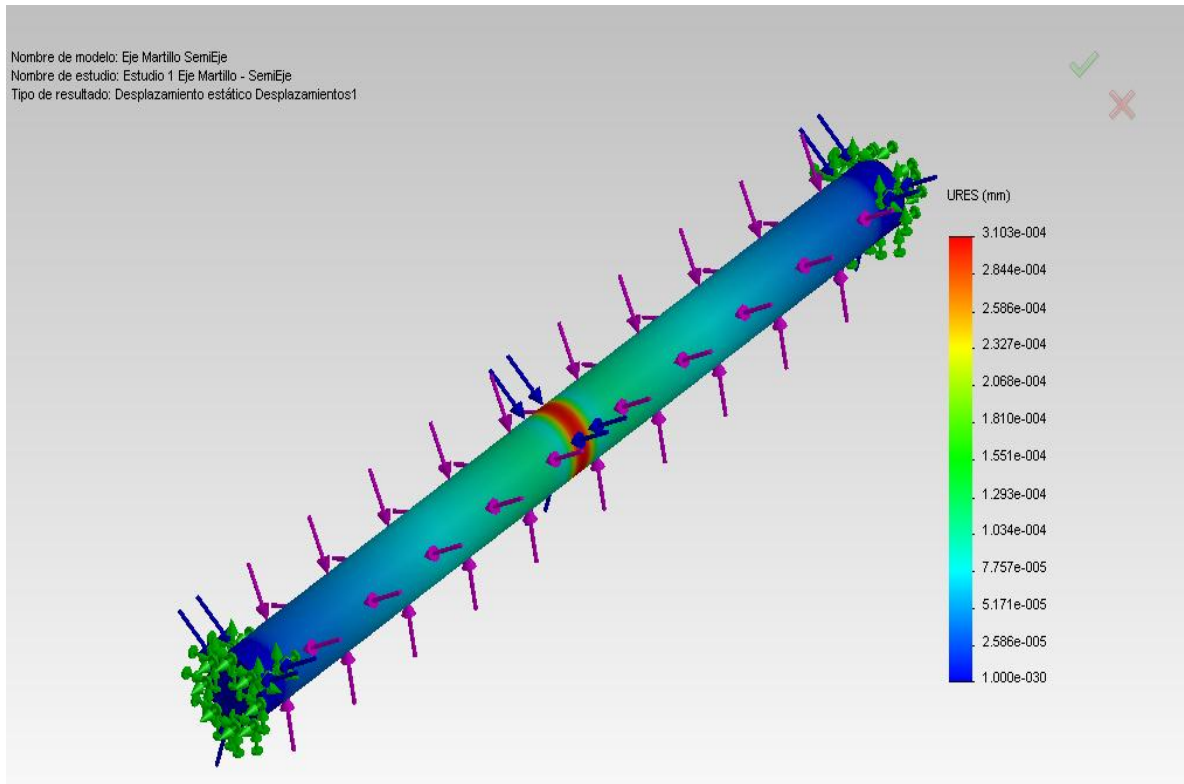
$$\eta = 11.5$$

4.16 SIMULACIÓN (ANÁLISIS ESTÁTICO) DEL EJE DE ROTACIÓN DE LOS MARTILLOS EN SOLIDWORKS:

Realizando el mismo procedimiento anteriormente descrito en la simulación del Eje principal se obtuvieron los siguientes resultados para los martillos:

Figura 34. Análisis de Desplazamientos del eje de rotación de los Martillos

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos	URES: Desplazamiento resultante	0 mm	0.000310273 mm



La figura 34. Muestra que el desplazamiento máximo se presenta en el centro del eje de rotación de los martillos donde va ubicado el disco central del mismo.'

Figura 35. Análisis de Tensiones del eje de rotación de los Martillos

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	1239.7 N/m ²	1.56733e+007 N/m ²

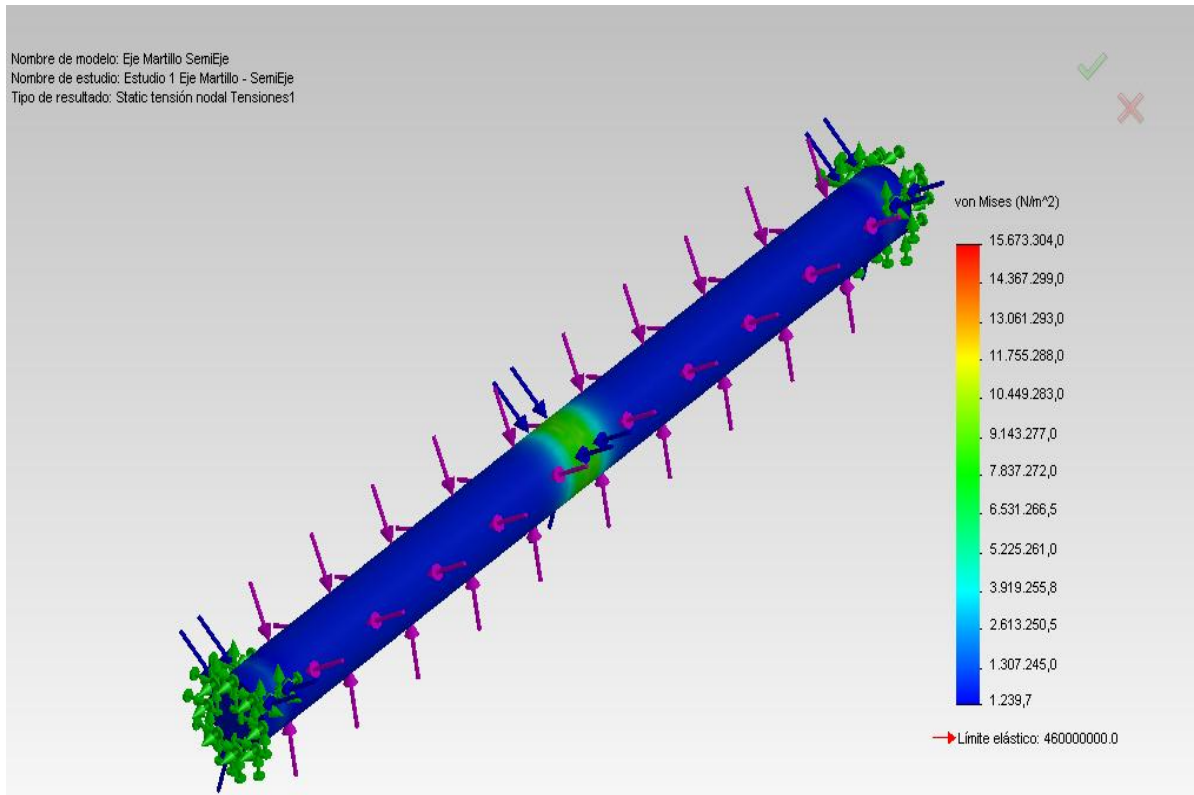
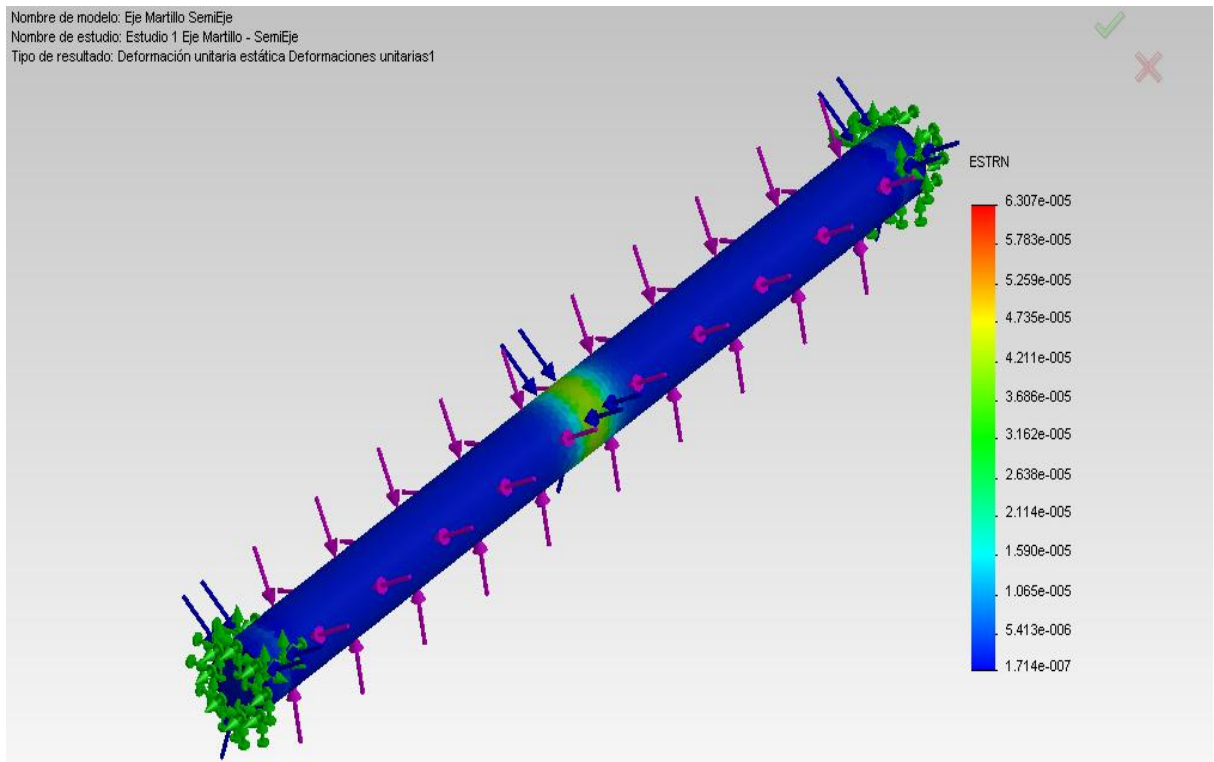


Figura 36. Análisis de Deformaciones Unitarias del eje de rotación de los Martillos

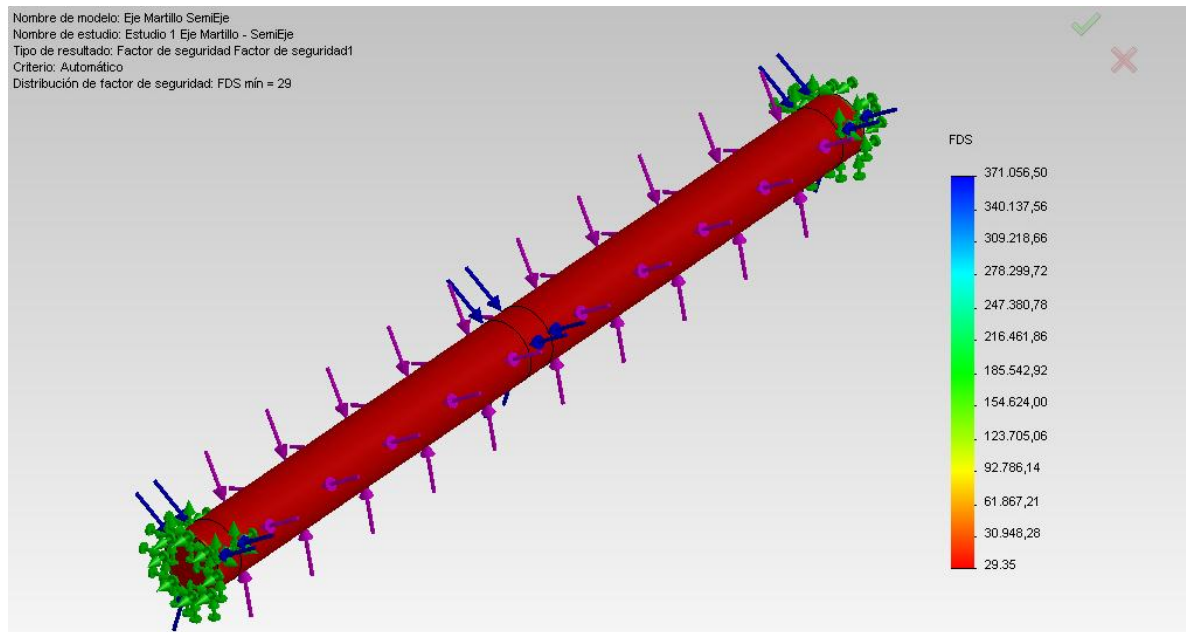
Nombre	Tipo	Min.	Máx.
Deformaciones unitarias	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1.71426e-007	6.30718e-005



En la figura 36. Análisis de deformación unitaria se puede observar q no se evidencia criticidad del eje de rotación de los martillos.

Figura 37. Análisis del Factor de Seguridad de los ejes de rotación de los Martillos

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	29.3493	371057



La figura 37. Calcula el factor de seguridad dando un valor mínimo de 29.3493 que asegura que el eje no falla durante la prueba.

4.17 DISEÑO DEL PROTECTOR DEL EJE O SEPARADOR DE LOS DISCOS

Una vez que se ha diseñado los martillos con su respectivo buje o arandela, se necesita dimensionar el separador de los discos.

En los cálculos anteriores se determinó el espesor de los martillos, sumado al espesor de las arandelas que los separa que es de 0.8cm. El diámetro del separador será de 10.07cm (3.96pulg). Este es un diámetro comercial, el espesor del separador será de 0.635cm (1/4") y un largo de 8.5cm para que todo quede

simétrico y encaje perfectamente según el diseño de los demás componentes del rotor como se le puede apreciar en los planos Anexo H.

4.18 SELECCIÓN DE CHUMACERAS

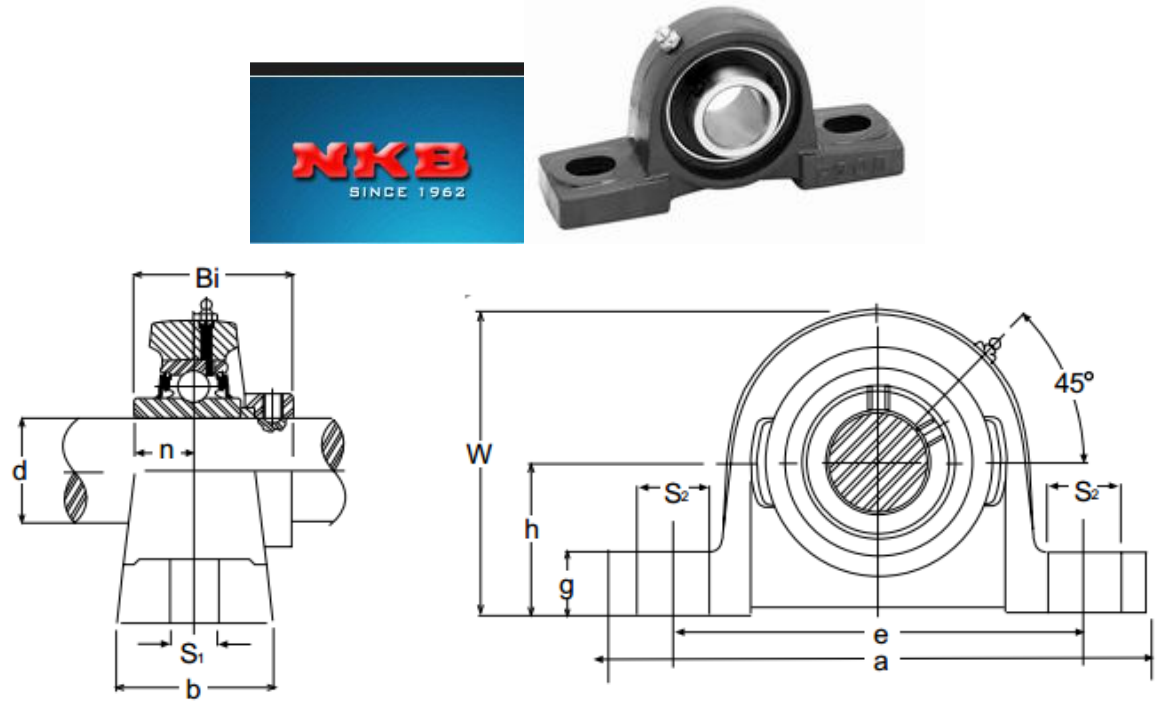
Para la selección de los sistemas de rodadura se deben tener en cuenta tres factores fundamentales como lo son la carga a soportar, la velocidad a la que va a estar sometido y el diámetro del eje soportado.

Tabla 5. Factores de selección de chumaceras

<i>Factores de selección</i>	<i>Magnitud</i>
carga	156.8 N
Velocidad de rotación	2320 rpm
Diámetro del eje	31.7 mm

Teniendo en cuenta que la carga que soporta el eje en sus apoyos es radial en su totalidad, y contando con un buen montaje del eje, se selecciona rodamientos rígidos de bolas referencia UCP207-20 con juego interno C4 que da cabida a la expansión térmica, es por esto que la chumacera admite velocidades y temperaturas altas. La chumacera seleccionada se observa en la figura 38.

Figura 38. Selección de chumaceras P207 Según catalogo NKB



Unit No.	Shaft Dia		Dimensions (in) (mm)										Bolt Used		Bearing No	Housing No	Weight Kg
	(in)	(mm)	h	a	e	b	S2	S1	g	w	Bi	n	(mm)	(in)			
UCP 201	1/2	12	1 3/16	5	3 3/4	1 1/2	3/4	1/2	19/32	2 7/16	1.2205	0.5	10	3/8	UC 201	P203	0.63
201-8		30.2	127	95	38	19	13	15	62	31	12.7						
UCP 202	5/8	15	1 3/16	5	3 3/4	1 1/2	3/4	1/2	19/32	2 7/16	1.2205	0.5	10	3/8	UC 202	P203	0.63
202-10		30.2	127	95	38	19	13	15	62	31	12.7						
UCP 203		17	1 3/16	5	3 3/4	1 1/2	3/4	1/2	19/32	2 7/16	1.2205	0.5	10	3/8	UC 203	P203	0.63
203		30.2	127	95	38	19	13	15	62	31	12.7						
UCP 204-12	3/4	20	1 5/16	5	3 3/4	1 1/2	3/4	1/2	19/32	2 9/16	1.2205	0.5	10	3/8	UC 204-12	P204	0.65
204		33.3	127	95	38	19	13	15	65	31	12.7						
UCP 205-14	7/8	25	1 7/16	5 1/2	4 1/8	1 1/2	3/4	1/2	5/8	2 3/4	1.3386	0.563	10	3/8	UC 205-14	P205	0.79
205-15			36.5	140	105	38	19	13	16	70	34	14.3					
UCP 205-16	1																
UCP 206-18	1 1/8	30	1 11/16	6 1/2	4 3/4	1 7/8	13/16	21/32	23/32	3 17/64	1.5	0.626	14	1/2	UC 206-18	P206	0.79
206			42.9	165	121	48	21	17	18	83	38.1	15.9					
UCP 206-19	1 3/16																
UCP 207-20	1 1/4														UC 207-20		
207-21	1 3/8	35	1 7/8	6 9/16	5	1 7/8	13/16	21/32	3/4	3 45/64	1.689	0.689	14	1/2	UC 207-21	P207	1.6
207-22			47.6	167	127	48	21	17	19	94	42.9	17.5					
207																	
UCP 207-23	1 7/16																
UCP 208-24	1 1/2	40	1 15/16	7 1/4	5 13/32	2 1/8	29/32	21/32	3/4	3 15/16	1.937	0.748	14	1/2	UC 208-24	P208	2
208-25			49.2	184	137	54	23	17	19	100	49.2	19					
208																	
UCP 209-26	1 11/16	45	2 1/8	7 15/32	5 3/4	2 1/8	29/32	21/32	25/32	4 1/4	1.937	0.748	14	1/2	UC 209-26	P209	2.2
209-27			54	190	146	54	23	17	20	108	49.2	19					
209-28	1 3/4																
209																	

Fuente: http://nkbbearing.com/english/product_detail.php?id=72&productname=UC%202&item_id=1&series_id=4&page=1.

4.19 SELECCIÓN DE LAS CORREAS

La selección de la correa se hace usando una potencia corregida que depende de:

- Tipo de motor conductor que se utilice para accionar la transmisión
- Tipo de máquina conducida que se vaya a accionar
- Horas de servicio por día.

De esta manera la potencia corregida (P_C) o total de la potencia transmitida, que es la que habrá que utilizar en el diseño, vendrá dada por la siguiente expresión:

$$P_C = P * K$$

Dónde:

P_C = Potencia corregida;

P = Potencia transmitida del motor conductor;

K = factor de corrección de la potencia 1,2 para este caso

Entonces remplazando valores tenemos:

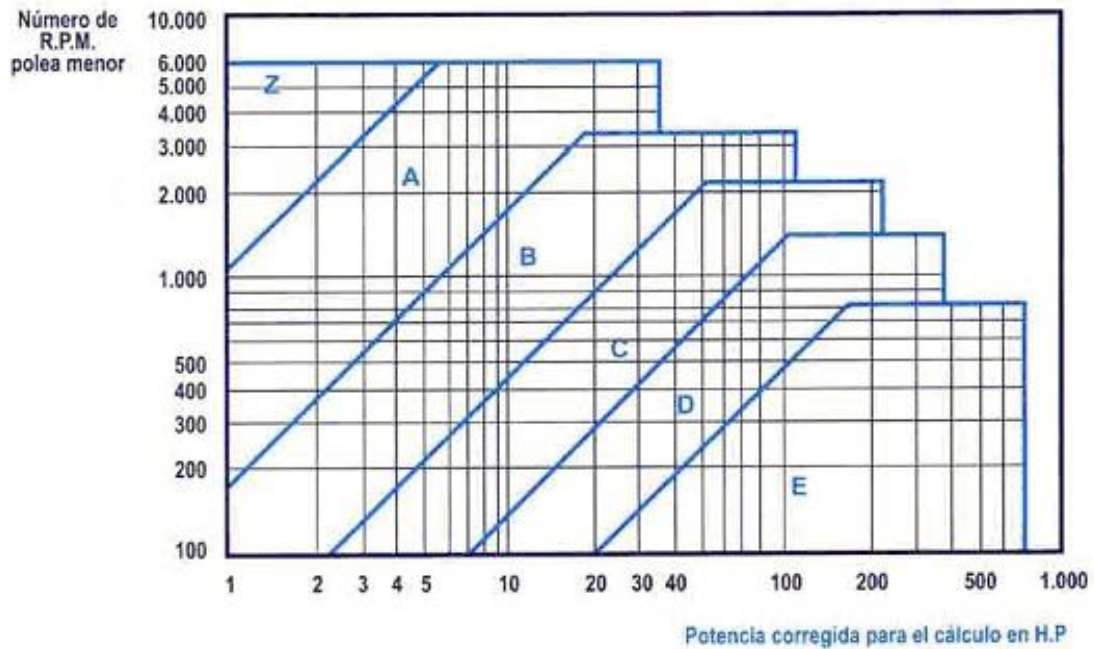
$$P_C = 5\text{HP} * 1.2$$

$$P_C = 6\text{HP}$$

4.19.1 Selección del tipo de correa:

Según la tabla 7. Con los valores de potencia corregida $P_C = 6\text{HP}$ y número de r.p.m de la polea menor (2320) seleccionamos la sección de la correa como se muestra a continuación:

Tabla 6. Selección de la sección de correa



Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn121.html>

Entonces con los datos obtenidos se selecciona una correa de perfil A.

4.19.2 Relación de transmisión

La relación de transmisión se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$R = \frac{N}{n} = \frac{D}{d}$$

Dónde:

R = Relación de transmisión

N = Son las revoluciones por minuto (rpm) de la polea menor

n = Son las revoluciones por minuto (rpm)de la polea mayor

D = Es el diametro de la polea mayor

d = Es el diametro de la polea menor

Remplazando valores tenemos que:

$$R = \frac{2320}{1740} = 1.33$$

$$R = 1.33$$

4.19.3 Diámetros de las poleas

Los diámetros de las poleas ya se habían definido anteriormente y sus valores son:

D = 6in = Diametro de la polea mayor

d = 4.5in = Diametro de la polea menor

4.19.4 Distancia entre ejes

La distancia entre ejes (E) de las poleas suele estar establecida en la transmisión que debe calcularse. No obstante, puede que en algunos casos este dato no esté decidido, quedando a mejor criterio calcular esta distancia.

De acuerdo a la experiencia de las empresas fabricantes, y con el objetivo de optimizar el rendimiento de la transmisión, la distancia entre ejes de poleas (E) mínima se puede obtener a partir de las siguientes expresiones:

•Si la relación de transmisión R está comprendida entre 1 y 3:

$$E \geq \frac{(R + 1) * d}{2} + d$$

•Si $R \geq 3$:

Para este caso bastaría que se cumpliera que $E \geq D$ siendo,

E, la distancia entre ejes de poleas;

R, la relación de transmisión;

d, el diámetro de la polea menor;

D, el diámetro de la polea mayor.

Reemplazando valores se tiene:

$$E \geq \frac{(1.33 + 1) * 4.5\text{in}}{2} + 4.5\text{in} = 9.74925\text{in} (247,63\text{mm})$$

Luego la distancia entre ejes de la máquina conductora y la conducida debe ser $E \geq 247,63\text{mm}$.

Se selecciona como distancia entre ejes válida, $E = 500\text{mm}$

4.19.5 Longitud de la correa

La longitud primitiva de la correa (L_p) de una transmisión se calcula directamente a partir de la siguiente expresión:

$$L_p = 2 * E + \frac{\pi}{2}(D + d) + \frac{(D - d)^2}{4E}$$

Donde,

E, es la distancia entre ejes de poleas;

d, es el diámetro de la polea menor;

D, es el diámetro de la polea mayor;

π , es el número pi (3,14159265)

Entonces la longitud primitiva de la correa va ser igual a:

$$L_p = 2(19.7\text{in}) + \frac{\pi}{2}(6\text{in} + 4.5\text{in}) + \frac{(6\text{in} - 4.5\text{in})^2}{4(19.5\text{in})} = 57.28\text{in} (1450\text{mm})$$

$$L_p = 57.28\text{in} (1450\text{mm})$$

Como la longitud calculada es inferior al desarrollo estándar del fabricante, la prestación será inferior a la indicada en las tablas, y por lo tanto habrá que aplicar un coeficiente corrector menor a 1 ($F_{cl} < 1$) VER ANEXO D.

Vista la tabla para la longitud seleccionada resulta $F_{cl} = 0,96$

4.19.6 Cálculo del arco de contacto:

La polea determinante en el diseño y en la duración de la vida útil de la correa será la de menor diámetro. Por ello, es necesario conocer el ángulo de contacto sobre esta polea.

La determinación del ángulo de contacto (A) de la correa sobre la polea menor se realiza aplicando la siguiente expresión:

$$A = 180 - 57 \frac{(D - d)}{E}$$

Donde,

A es el ángulo de contacto sobre la polea menor, en grados (°)

E es la distancia entre ejes de poleas;

d es el diámetro de la polea menor;

D es el diámetro de la polea mayor.

Reemplazando valores tenemos:

$$A = 180 - 57 \frac{(6\text{in} - 4.5\text{in})}{19.5\text{in}} = 175.62$$

Al igual que en el caso anterior, el diseño óptimo de la correa se ha realizado para un ángulo de contacto sobre la polea de 180°. Como en general el ángulo de contacto sobre la polea menor será inferior a 180°, la prestación de la correa no

será la óptima, y por tanto habrá que afectarla por un coeficiente corrector del arco de contacto (F_{cA})

Vista la tabla del factor de corrección del arco en contacto (F_{cA})=0.76

4.19.7 Prestación base de la correa

La prestación base o potencia base (P_b) de la correa puede ser consultada en las tablas del fabricante disponibles en el ANEXO D.

En dichas tablas, entrando con el diámetro de la polea menor ($d=114.3$ mm) y sus revoluciones de giro ($N= 2320$ rpm), se obtiene la prestación base para la correa de perfil "A" seleccionada.

$P_b = 3.78$ HP, resultante de sumarle a la prestación base de la correa de perfil "A" (3.38 HP) la prestación adicional por relación de transmisión (0,40 HP)

4.19.8 Potencia efectiva por correa:

La potencia efectiva por correa (P_e) se calcula a partir de la potencia base (P_b) afectada de los coeficientes correctores por longitud de correa (F_{cl}) y por arco de contacto (F_{cA}) mediante la siguiente expresión:

$$P_e = P_b * F_{cl} * F_{cA} = 3.78\text{HP} * 0.96\text{HP} * 0.76\text{HP} = 2.76\text{HP}$$

$$P_e = 2.76\text{HP}$$

4.19.9 Calculo del número de correas

El número de correas lo podemos calcular mediante la siguiente formula:

$$\text{No de correas} = \frac{P_c}{P_e} = \frac{6\text{HP}}{2.76\text{HP}} = 2.17 \approx 2$$

$$\text{No de correas} = 2$$

Resultado Final

La transmisión resultante será la siguiente:

-Tipo de correa: A53

-No de correas: 2

-Diámetro de la polea menor: 114.3mm

-Diámetro de la polea mayor: 152.4mm

4.20 SELECCIÓN DEL MOTOR PARA EL MOLINO

La potencia requerida para la molienda es de 5HP según cálculos anteriores, considerando una eficiencia para la transmisión por correa trapezoidal de 0,98 tendríamos una potencia para el motor (P_R) de:

$$P_R = \frac{5\text{HP}}{0.98} = 5.10\text{HP}$$

Así el motor seleccionado tiene las siguientes especificaciones:

-U.S ELECTRICAL MOTORS (DIVISION OF EMERSON ELECTRIC CO.)

- Temperatura ambiente: Max 40°C

- Frecuencia: 60Hz

-Motor Monofásico Bifilar

-voltaje (220V)

-Velocidad de rotación = 1740 rpm

-Potencia = 5.1 HP

5. CONSTRUCCIÓN DEL MOLINO

5.1 CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLAJE DE LAS PIEZAS

Una vez que se han determinado las dimensiones de cada parte del molino y simulado en SolidWorks, se procedió a maquinar cada una de sus partes.

Los martillos se obtuvieron a partir de una lámina de acero **AISI 1045** de 10mm de espesor. Posteriormente se realizaron los agujeros de diámetro de $\frac{1}{2}$ " de diámetro por medio de un taladro de árbol. Después se les realizó el revestimiento de 1mm por cada lado del martillo con soldadura Citodur 600 y un tratamiento térmico de temple esto para mejorar las propiedades mecánicas aumentando así la vida útil de cada martillo. Ya hecho este trabajo se tiene que pesar cada uno de los martillos dejando todos de un mismo peso, esto se hace para que cuando sean montados en los ejes el rotor quede bien balanceado. Realizado todo el trabajo anterior el martillo quedo como se muestra en las siguientes figuras.

Figura 39. Soldadura citodur 600



Figura 40. Tratamiento Térmico



Figura 41. Martillo Templado



Figura 42. Martillo Maquinado



El siguiente paso fue maquinar los **discos**. Una vez comprada la lámina de acero AISI 1045 de $\frac{1}{4}$ " de espesor, se cortaron los discos con las dimensiones estipuladas en los planos, por medio de oxicorte. Los agujeros de los semiejes porta martillos, así como el del eje principal, fueron realizados con broca. A dos de los 3 discos se les hizo una rosca en el diámetro del eje principal esto para posteriormente ser asegurado a lado y la del eje principal y al disco restante se le hizo una ranura para asegurarlo en la mitad del eje. Una vez maquinado el disco el disco, quedó como se muestra en las figuras 37 y 38

Figura 43. Disco Maquinado



Figura 44. Disco Central



Luego se procedió a cortar los ejes a partir de varilla de acero 4140 de 1/2" de diámetro.

El siguiente paso fue maquinar el **eje principal del molino, Figura 44**

Figura 45. Eje Maquinado



Las siguientes piezas en maquinar fueron los separadores de los martillos y separador de los discos obtenidos a partir de tubo galvanizado de 1/2" de diámetro y 88 mm de diámetro.

Figura 46. Separadores de los Martillos



Figura 47. Separador de discos Ensamblado



El siguiente paso fue ensamblar las diferentes piezas maquinadas como se muestra en la figura 48

Figura 48. Ensamblaje De Piezas Del Molino



Una vez maquinadas todas las piezas del molino se procedió a cortar las paredes del molino con oxicorte, las rebabas producto del corte fueron retiradas con pulidora de mano, como se muestra a continuación.

Figura 49. Corte De Las Paredes del Molino Con Oxicorte



Figura 50. Paredes Pulidas.



Después se procedió a hacer la base del molino. Esta se construyó de ángulo de 2" * 1/4" y soldado con electrodo 7018. Posteriormente se soldaron las paredes del molino a la base como se puede ver en la figura 53

Figura 51. Material de la Base



Figura 52. Ensamble paredes del molino y base



El siguiente paso fue maquinar la criba o tamiz y el porta criba. Para la criba se utilizó una lámina de acero de $\frac{1}{4}$ " y se procedió a maquinar la criba. El equipo va a tener dos tamices o cribas con diferentes diámetros para que sean utilizadas según el trabajo que se requiera. El porta cribas se hizo de varilla cuadrada de $\frac{1}{4}$ ", y fue soldada a las paredes del molino.

Figura 53. Criba maquinada de mayor diámetro



Figura 54. Criba maquinada de menor diámetro



Figura 55. Porta criba soldado a las paredes del molino



Figura 56. Criba ensamblada



El siguiente paso fue maquinar las poleas del molino y del motor en el torno con las dimensiones especificadas en el plano.

Los componentes extras como las chumaceras y bandas fueron comprados.

Figura 57. Chumaceras



Ya teniendo básicamente la base y la parte del molino solo hace falta la parte de alimentación y la de salida del material para ello se diseñaron las respectivas tolvas. Una vez comprado el material desgastado de placa de acero de carretera, textura de fondo de suciedad de 3mm de espesor, se procedió a maquinar las piezas de acuerdo con las dimensiones estipuladas en los planos, primero se cortaron todas las paredes por separado y posteriormente fueron unidas por soldadura 6013, la rebaba producto de la soldadura fueron pulidas con pulidora de mano. El maquinado de las piezas se muestra en la siguiente figura.

Figura 58. Tolva de Entrada de Material



Figura 59. Tolva de salida del Material



Por último se maquinó el guarda bandas. Una vez comprado la lámina de acero calibre 16 se cortaron las diferentes partes y se unieron con soldadura 6013, posteriormente se le hicieron unos agujeros para la refrigeración de las poleas y bandas. Las impurezas que deja la soldadura fueron pulidas con pulidora de mano. En la ilustración vemos el proceso y la pieza terminada.

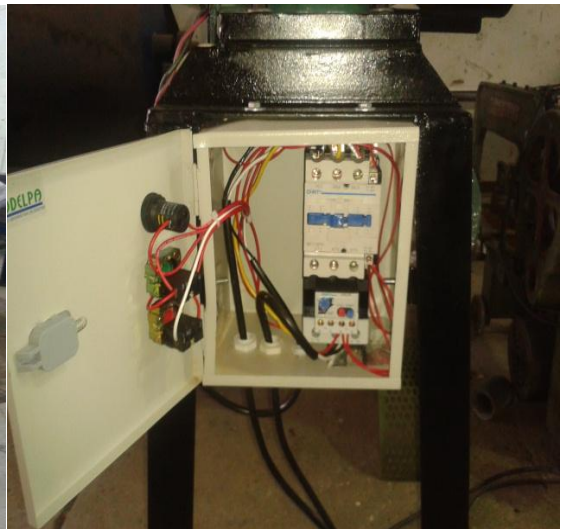
Figura 60. Guarda Bandas Maquinado.



El último proceso que se hizo fue pintar todas las piezas y ensamblarlas, la pintura fue aplicada por medio de pistolas accionadas neumáticamente. A continuación veremos un registro fotográfico de este proceso. Después de tener la máquina pintada se le hizo la parte de conexión eléctrica que también se tiene fotografía. La parte eléctrica consta básicamente de un contactor principal, un relé térmico, pulsador de parada y arranque, un pulsador para para de emergencia y un pulsador piloto después de comprados estos materiales se realizó la conexión de todos estos y su ensamblaje a la máquina.

Figura 61. Proceso De Pintura Y Ensamblaje De La Maquina





6. PRUEBAS Y RESULTADOS

El objetivo de la prueba es comprobar la producción de la máquina, es decir, la capacidad de arcilla que se pulverizara en una hora, al igual que su buen funcionamiento y buena calidad en la arcilla triturada.

En la siguiente figura se ilustra el bloque de arcilla el cual se va a pulverizar.

Figura 62. Bloque de Arcilla



El peso del bloque es aproximadamente de 1432 gramos.

Para realizar las pruebas se tomaron varios bloques arcilla de diferentes pesos. Se desarrollaron 6 pruebas con 9 kilos de arcilla que pasaron por la máquina y posteriormente se pasaron por un tamiz para evaluar la calidad de pulverización obteniendo así los siguientes resultados.

Tabla 7. Resultados de la prueba de pulverización.

PRUEBA	TIEMPO "s"	PESO "Kg"	% de calidad pulverizada
1	35.90	9	91
2	36.05	9	92
3	37.68	9	91
4	36.85	9	93
5	36.03	9	94
6	36.99	9	93
PROMEDIO	36.58	9	92.33

Figura 63. Arcilla a pulverizar.



Figura 64. Arcilla pulverizada



En la tabla anterior se muestra los resultados de las pruebas que se le han hecho a la maquina al pulverizar los bloques de arcilla, en la que se aprecia el tiempo total de ciclo de pulverización, el cual comprende el periodo de tiempo desde el momento en que se acciona la maquina hasta cuando sale todo el material del molino. También se observa el porcentaje de arcilla pulverizada que posteriormente será utilizada para la producción de ladrillo.

Como se logra apreciar en los resultados de la tabla se cumplió con el objetivo de capacidad y calidad de molienda que era de 400 kg/ h propuesta en el objetivo y esta máquina queda con una capacidad de aproximadamente 900 kg/h.

CONCLUSIONES

En la industria son múltiples los diseños que sobre este tipo de máquinas pueden ser elaborados para el logro de un óptimo rendimiento, pero su principio fundamental es el mismo, las siguientes son las apreciaciones concluidas:

Durante el diseño y la investigación para la realización del presente trabajo se desarrolló de manera concisa y ordenada el estudio de los diferentes equipos que existen en la industria para la trituración de arcilla encontrando al molino de martillos como la mejor opción para la trituración de 900kg/h, calculando las dimensiones del molino, el diseño detallado de cada una de las partes que integran la máquina y la capacidad de producción que tendrá.

La trituradora pulverizadora de arcilla fue diseñada para ser implementada en pequeñas y medianas empresas, por que su capacidad de molienda es moderada.

La calidad del producto triturado y la capacidad de la máquina también se optimizaron al máximo. El margen de calidad en las granulometrías del producto triturado es suficientemente reducido y ajustable si se quiere cambiar el tamaño en el producto final.

Se construyó una máquina trituradora pulverizadora de arcilla cumpliendo en gran medida con los parámetros que se dieron tanto en la fase de diseño como en la construcción, otros parámetros fueron modificados con el fin de mejorar el desempeño de la máquina, facilidad de adquisición de componentes o materiales, al igual que reducir los costos por adquisición y posterior operación.

En el diseño y construcción final de la trituradora pulverizadora de arcilla se cumplió a cabalidad con los objetivos planteados en el plan de proyecto.

La experiencia adquirida durante el proceso de diseño y construcción de esta máquina fue muy valiosa para nosotros, ya que nos vimos enfrentados a diversas situaciones que fueron fundamentales para el desarrollo del proyecto.

En Colombia, la selección de un molino se hace por fundamentos empíricos. El estudio de la reducción de tamaño como operación unitaria de ingeniería química solo existe en el país en textos de estudio.

De acuerdo con lo anteriormente mencionado, los fabricantes en el país, para prevenir situaciones chocantes que se puedan causar en la construcción de la máquina, recurren al sobredimensionamiento apelando a la experiencia.

RECOMENDACIONES

Cuando se diseñan este tipo de máquinas, es conveniente nombrar ciertos detalles prácticos logrados en base a la experiencia.

Al encender el molino se debe verificar que este lo haga totalmente en vacío asegurándose que no exista ningún tipo de material dentro, esto con el fin de evitar sobrecargas y accidentes.

Es importante resaltar que no es conveniente fijar los discos al eje principal del molino por medio de soldadura, ya que esto traería como consecuencia la fragilización del eje y por consiguiente la ruptura instantánea al estar en rotación, debido a los altos esfuerzos que se genera.

Es recomendable hacerle un recubrimiento especial a los martillos; esto para que tengan mayor consistencia, mejorar las propiedades mecánicas y extender la vida útil de cada martillo.

Deben evitarse la penetración de cualquier objeto extraño al mineral que se va a moler, tales como pedazos de metal, arandelas, tuercas que contribuyan al deterioro de los martillos, criba de descarga y maquina en general.

Todo material a moler debe haber sido sometido a un proceso de secamiento y es conveniente que el material entre a ser pulverizado con una humedad no superior al 15%, para evitar que dicho material se adhiera gradualmente a las paredes de la carcasa, lo mismo que en la criba de descarga evitando el paso, trayendo como consecuencia un taponamiento y una baja en el rendimiento del equipo.

Para disminuir el gasto energético y el buen funcionamiento de la trituradora se recomienda cambiar el motor utilizado por un motor trifásico de la marca siemens

(opcional) que cumpla con las especificaciones requeridas como lo son el tipo de arranque, lugar de instalación, capacidad, calidad en la molienda entre otros.

Para que la productividad y rendimiento del molino no disminuya, se recomienda estar atento al desgaste de todos los componentes externos e internos, principalmente de los martillos

Aparte del sistema de seguridad que se le adecuó a la máquina, sería bueno tener en cuenta un sistema de sensores en la conexión de la tolva superior y la carcasa del rotor que me permita estar alerta ante cualquier falla o problema antes de iniciar su funcionamiento.

Es imperiosa la necesidad de proteger los rodamientos, no dejarlos a la intemperie, sino recubrirlos con lámina, con el fin de protegerlos contra cualquier tipo de mugre o polvo que pudiese escapar, aunque la maquina lleva su propio empaque lo cual ofrece un cierre totalmente hermético.

Se recomienda operar la máquina siguiendo la guía de operación y mantenimiento, para no sobrepasar las condiciones de trabajo y hacer un buen uso de la misma.

BIBLIOGRAFÍA

CASILLAS, A. L. Maquinas, XXII Edición, Editorial Máquinas, Madrid 1966.

Correas de Transmisión, Cálculo y diseño, Disponible en internet:
<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn121.html>.

CUADRADO MONCAYO, Iván Rafael y RUEDA CASTILLO, José Luis. Tesis. Diseño y Construcción de un Molino de Martillos, Universidad San Francisco de Quito, 2009

ESPINOSA OSORIO, Jorge Eliecer y SALAZAR SIERRA, Julio Adolfo. Tesis. Diseño de un Molino de Martillos para Minerales con Sistema Neumático de Transporte para la Extracción y Recolección de Finos, Universidad Industrial De Santander, Colombia, 1978.

GARZÓN, Edwin. Tesis. Quito: E.P.N, 1987.

GERE, James M. Mecánica de Materiales. México: Thomson, 2002.

GÓMEZ GONZALES, Sergio. SolidWorks Simulation, México, 2010.

WAGANOFF, Nicolás P. Trituración-Molienda y Separación de Minerales, Editorial Alsina, Buenos Aires, 1956.

HAMROCK, Bernard. Elementos de máquinas, México, 2000

HIBBELER, R. C. Mecánica Vectorial para Ingenieros: Dinámica. México: Pearson, 2004

HIGDON, Archie, Mecánica Aplicada a la Resistencia de Materiales, II Edición, Editorial Contenentel, México, 1971.

NKB, Tailandesa Dieng, Catalogo para la selección de chumaceras, Since 1962, http://nkbbearing.com/english/product_detail.php?id=72&productname=UCP%202&item_id=1&series_id=4&page=1.

PERRY, John H. Manual del Ingeniero Químico, Tomo II, Editorial Uteha, México, 1966.

SHIGLEY, Joseph Edward y MISCHKE, Charles. Diseño en ingeniería mecánica [sexta edición], México, McGraw-Hill, Diciembre 2005

SHIGLEY, Joseph Edward. El Diseño en Ingeniería Mecánica. México: McGraw-Hill, 2005

SolidWorks, 2011 edition. Disponible en:
<<http://www.help.solidworks.com>>

ANEXOS

ANEXO A. CLASIFICACION DEL SUELO SEGÚN SU TAMAÑO

Dimensión de la partícula elemental (mm)	Attemberg – (Sistema Internacional)	U.S. Dep. De Agricultura	Ex – U.R.S.S.	
<0,001	Arcilla	Arcilla	Arcilla	
<0,002			Limo fino	
0,005	Limo	Limo	Limo medio	
0,01			Limo grueso	
0,02			Arena muy fina	
0,05	Arena fina	Arena fina	Arena fina	
0,1			Arena media	
0,25		Arena gruesa	Arena gruesa	
0,2		Arena muy gruesa		
0,5	Arena gruesa	Grava fina	Grava	
1,0		Grava		
2,0	Grava fina	Grava gruesa y piedras	Grava gruesa y piedras	
3,0		Grava		
5,0	Grava gruesa y piedras	Grava gruesa y piedras	Grava gruesa y piedras	
10,0				Grava gruesa y piedras
20,0				
>20,0	Grava gruesa y piedras	Grava gruesa y piedras	Grava gruesa y piedras	

ANEXO B.FICHA TECNICA DE LA SOLDADURA CITODUR 600

Recubrimiento Protector

OERLIKON

CITODUR 600

Electrodo de buena resistencia a la abrasión e impacto moderado, cuyo depósito está compuesto de carburos de cromo distribuidos uniformemente. Las elevadas durezas que se consigue (52 – 55 HRC) hacen que sus depósitos no sean maquinables, pero sí pueden ser forjados o templados. El CITODUR 600 se caracteriza por dejar un material depositado de buen acabado libre de porosidades y es factible obtener cordones de soldadura libres de fisuras, para lo cual, en caso sea necesario se debe precalentar el material base. Electrodo de alto rendimiento.

Clasificación

AWS A5.13 / ASME SFA-5.13	Efe3
DIN 8555	E 6 - U M - 60

Análisis Químico de Metal Depositado (valores típicos) [%]

C	Mn	Si	P	S	Mo	Ni	Cr	Cu	Otros
0,50	0,50	0,40	máx. 0,020	máx. 0,020	0,50	-	6,70	-	0,5 % V

Propiedades Mecánicas del Metal Depositado

Tratamiento Térmico	Resistencia a la Tracción [MPa (psi)]	Límite de Fluencia [MPa (psi)]	Elongación en 2" [%]	Energía Absorbida 150-V [°C (°F)] [J (Ft-Lbf)]	Dureza
Sin tratamiento	-	-	-	-	52- 55 HRC

Conservación del Producto

- Mantener en un lugar seco y evitar humedad.
- No requiere almacenamiento bajo horno.
- Resecado de 300°C a 350°C por 2 horas.

Posiciones de Soldadura



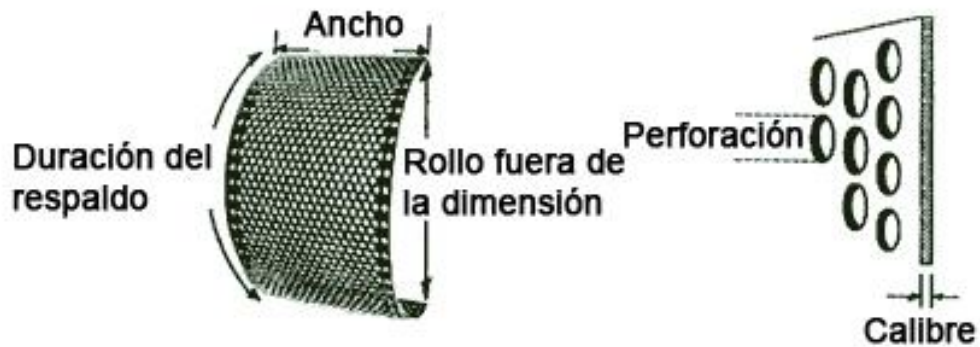
Parámetros de Soldeo Recomendados

Para corriente alterna (AC) o continua (DC): Electrodo al polo positivo DCEP							
Diámetro	[mm]	1,60	2,50	3,25	4,00	5,00	6,30
	[pulgadas]	1/16	3/32	1/8	5/32	3/16	1/4
Amperaje mínimo	-	-	-	100	140	190	230
Amperaje máximo	-	-	-	135	5/32	240	280

Aplicaciones

- Su elevada dureza el confiere excelente resistencia a la fricción metal - metal, pero debe tomarse la previsión de cual será el componente de sacrificio por su elevado nivel de dureza.
- Como "soldadura preventiva" para recubrir y proteger componentes o piezas nuevas, que van a estar expuestas a agentes de desgastes combinados de abrasión severa con impactos moderados.
- Puede utilizarse para reconstruir piezas y como cama cojín de recubrimientos protectores especiales.
- Con frecuencia es aplicable en la industria minera para recuperación y protección de equipos, como: cucharas, baldes, dragas y plumas, cuchillas de bulldozers, martillos, placas y conos trituradores, bombas, impulsores, etc.
- Usado en la industria del cemento, ladrilleras, constructoras, fábricas de plásticos, vidrios, etc.
- Dentro de las variadas aplicaciones tenemos: Recuperación de piñones de cadena, engranajes, sprockets, bordes de yunques, árbol de levas, rejas de arados, parrillas de zarandas, etc.
- Ideal para proteger componentes que trabajan en movimiento de tierras y en minería aurífera.

ANEXO C. ESPECIFICACIONES DE LA CRIBA



ANEXO D. TABLAS PARA LA SELECCIÓN DE CORREAS

Longitud primitiva nominal						
Correa (in)	Sección Z (mm)	Sección A (mm)	Sección B (mm)	Sección C (mm)	Sección D (mm)	Sección E (mm)
41	1066	1075	1086	-	-	-
42	1092	1106	1100	-	-	-
43	1117	1134	1140	-	-	-
44	1143	1153	1156	1191	-	-
45	1168	1186	1184	1217	-	-
46	1193	1199	1204	1242	-	-
47	1219	1232	1237	1267	-	-
48	1244	1262	1268	1293	-	-
49	1270	1280	1288	1318	-	-
50	1295	1306	1318	1344	-	-
51	1320	1330	1328	1357	-	-
52	1346	1354	1367	1394	-	-
53	1371	1381	1392	1429	-	-
54	1397	1405	1410	1442	-	-
55	1422	1429	1443	1460	-	-
56	1447	1459	1460	1497	-	-
57	1473	1492	1491	1527	-	-
58	1498	1507	1512	1550	-	-
59	1524	1532	1541	1576	-	-
60	1549	1556	1556	1598	-	-
61	-	1584	1601	1623	-	-
62	-	1605	1626	1648	-	-
63	-	1633	1641	1674	-	-
64	-	1658	1674	1699	-	-
65	-	1683	1695	1725	-	-
66	-	1714	1724	1745	-	-
67	-	1742	1743	1775	-	-
68	-	1767	1770	1788	-	-
69	-	1785	1794	1826	-	-
70	-	1813	1818	1847	-	-
71	-	1841	1846	1877	-	-
72	-	1862	1878	1897	-	-
73	-	1887	1900	1928	-	-

Longitud correa	Z	A	B	C	D	E
16	0.80	-	-	-	-	-
24	0.83	-	-	-	-	-
26	0.84	0.81	-	-	-	-
31	0.89	0.84	-	-	-	-
35	0.92	0.87	0.81	-	-	-
38	0.93	0.88	0.83	-	-	-
42	0.95	0.90	0.85	-	-	-
46	0.97	0.92	0.87	-	-	-
51	0.99	0.94	0.89	0.80	-	-
55	1.00	0.96	0.90	0.81	-	-
60	-	0.98	0.92	0.82	-	-
68	-	1.00	0.95	0.85	-	-
75	-	1.02	0.97	0.87	-	-
80	-	1.04	0.98	0.89	-	-
81	-	1.04	0.98	0.89	-	-
85	-	1.05	0.99	0.90	-	-
90	-	1.06	1.00	0.91	-	-
96	-	1.08	1.02	0.92	-	-
97	-	1.08	1.02	0.92	-	-
105	-	1.10	1.04	0.94	-	-
112	-	1.11	1.05	0.95	-	-
120	-	1.13	1.07	0.97	0.86	-

Factor de corrección		
Arco de contacto sobre polea menor	Poleas acanaladas	Poleas acanalada/plana
180°	1.00	0.75
175°	0.99	0.76
170°	0.98	0.77
167°	0.97	0.78
164°	0.96	0.79
160°	0.95	0.80
157°	0.94	0.81
154°	0.93	0.81
150°	0.92	0.82
147°	0.91	0.83
144°	0.90	0.83
140°	0.89	0.84
137°	0.88	0.85
134°	0.87	0.85
130°	0.86	0.86
127°	0.85	0.85
124°	0.84	0.84

Sección A																							
N° R.P.M. De la polea menor	Prestación Base (en HP)													Prestación adicional por relación de transmisión (en HP)									
	Diámetro primitivo de la polea menor (mm)													1.00	1.02	1.05	1.09	1.13	1.19	1.25	1.35	1.52	2.00
	66	71	76	81	86	91	96	102	107	112	117	122	127	al 1.01	al 1.04	al 1.08	al 1.12	al 1.18	al 1.24	al 1.34	al 1.51	al 1.99	y sobre
1160	0.54	0.69	0.84	0.99	1.13	1.28	1.42	1.56	1.70	1.84	1.98	2.12	2.26	0.00	0.02	0.04	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17	0.20
1750	0.68	0.90	1.11	1.32	1.53	1.73	1.93	2.13	2.33	2.53	2.72	2.91	3.10	0.00	0.03	0.07	0.10	0.13	0.16	0.20	0.23	0.26	0.29
3450	0.85	1.21	1.57	1.91	2.25	2.57	2.88	3.19	3.48	3.76	4.02	4.28	4.52	0.00	0.06	0.13	0.19	0.26	0.32	0.39	0.45	0.52	0.58
200	0.16	0.19	0.22	0.25	0.28	0.31	0.34	0.37	0.40	0.43	0.46	0.48	0.51	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
400	0.26	0.32	0.38	0.43	0.49	0.55	0.60	0.66	0.71	0.77	0.82	0.88	0.93	0.00	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	0.07
600	0.35	0.43	0.52	0.60	0.68	0.76	0.84	0.92	1.00	1.08	1.16	1.23	1.31	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10
800	0.43	0.53	0.64	0.75	0.85	0.95	1.06	1.16	1.26	1.37	1.47	1.57	1.67	0.00	0.01	0.03	0.04	0.06	0.07	0.09	0.10	0.12	0.13
1000	0.49	0.62	0.75	0.88	1.01	1.14	1.26	1.39	1.51	1.64	1.76	1.88	2.00	0.00	0.02	0.04	0.06	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17
1200	0.55	0.71	0.86	1.01	1.16	1.31	1.46	1.60	1.75	1.89	2.04	2.18	2.32	0.00	0.02	0.04	0.07	0.09	0.11	0.13	0.16	0.18	0.20
1400	0.61	0.78	0.96	1.13	1.30	1.47	1.64	1.81	1.97	2.14	2.30	2.46	2.62	0.00	0.03	0.05	0.08	0.10	0.13	0.16	0.18	0.21	0.24
1600	0.65	0.85	1.05	1.24	1.43	1.62	1.81	2.00	2.18	2.37	2.55	2.73	2.90	0.00	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.18	0.21	0.24	0.27
1800	0.69	0.91	1.13	1.34	1.56	1.77	1.97	2.18	2.38	2.58	2.78	2.97	3.17	0.00	0.03	0.07	0.10	0.13	0.17	0.20	0.24	0.27	0.30
2000	0.73	0.97	1.21	1.44	1.67	1.90	2.12	2.35	2.57	2.78	2.99	3.20	3.41	0.00	0.04	0.07	0.11	0.15	0.19	0.22	0.26	0.30	0.34
2200	0.76	1.02	1.28	1.53	1.78	2.02	2.26	2.50	2.74	2.97	3.19	3.42	3.64	0.00	0.04	0.08	0.12	0.16	0.21	0.25	0.29	0.33	0.37
2400	0.79	1.07	1.34	1.61	1.88	2.14	2.39	2.65	2.89	3.14	3.38	3.61	3.84	0.00	0.04	0.09	0.13	0.18	0.22	0.27	0.31	0.36	0.40
2600	0.81	1.11	1.40	1.69	1.97	2.24	2.51	2.78	3.04	3.29	3.54	3.78	4.02	0.00	0.05	0.10	0.15	0.19	0.24	0.29	0.34	0.39	0.44
2800	0.83	1.14	1.45	1.75	2.05	2.34	2.62	2.90	3.17	3.43	3.69	3.94	4.18	0.00	0.05	0.10	0.16	0.21	0.26	0.31	0.37	0.42	0.47
3000	0.84	1.17	1.49	1.81	2.12	2.42	2.72	3.00	3.28	3.55	3.81	4.07	4.31	0.00	0.06	0.11	0.17	0.22	0.28	0.34	0.39	0.45	0.50
3200	0.85	1.19	1.53	1.86	2.18	2.49	2.80	3.09	3.38	3.66	3.92	4.18	4.42	0.00	0.06	0.12	0.18	0.24	0.30	0.36	0.42	0.48	0.54
3400	0.85	1.21	1.56	1.90	2.24	2.56	2.87	3.17	3.46	3.74	4.01	4.26	4.50	0.00	0.06	0.13	0.19	0.25	0.32	0.38	0.44	0.51	0.57
3600	0.85	1.22	1.59	1.94	2.28	2.61	2.93	3.23	3.52	3.80	4.07	4.32	4.56	0.00	0.07	0.13	0.20	0.27	0.34	0.40	0.47	0.54	0.61
3800	0.84	1.23	1.60	1.96	2.31	2.65	2.97	3.28	3.57	3.85	4.11	4.36	4.58	0.00	0.07	0.14	0.21	0.28	0.36	0.43	0.50	0.57	0.64
4000	0.83	1.22	1.61	1.98	2.33	2.67	3.00	3.31	3.60	3.87	4.13	4.36	4.58	0.00	0.07	0.15	0.22	0.30	0.37	0.45	0.52	0.60	0.67

ANEXO E. PROPIEDADES ACERO 4140

AISI 4140 Steel, normalized at 870°C (1600°F), air cooled, 13 mm (0.5 in.) round

Categories: [Metal](#); [Ferrous Metal](#); [Alloy Steel](#); [AISI 4000 Series Steel](#); [Low Alloy Steel](#); [Carbon Steel](#); [Medium Carbon Steel](#)

Material Normalized: heated to 815°C, air cooled. Medium-carbon steel with high hardenability and good fatigue, abrasion and impact resistance.

Notes:

Key Words: AFNOR 40 CD 4, AFNOR 42 CD 4 (France), ASTM A322, ASTM A331, ASTM A505, ASTM A519, ASTM A646, B.S. 708 A 42 (UK), B.S. 708 M 40 (UK), B.S. 709 M 40 (UK), JIS SCM 4 H, JIS SCM 4, JIS SCM440, SS14 2244 (Sweden), MIL SPEC MIL-S-16974, SAE J404, SAE J412, SAE J770, DIN 1.7225, UNS G41400, AMS 6381, AMS 6382, AMS 6390, AMS 6395, IS 1570 40Cr1Mo28, IS 4367 40Cr1Mo28, IS 5517 40Cr1Mo28

Vendors: No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

 [Printer friendly version](#)  [Download as PDF](#)  [Download to Excel \(requires Excel and Windows\)](#)

 [Export data to your CAD/FEA program](#)

Add to Folder: 0/3

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

Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Brinell	302	302	
Hardness, Knoop	328	328	Converted from Brinell hardness.
Hardness, Rockwell B	99	99	Converted from Brinell hardness.
Hardness, Rockwell C	32	32	Converted from Brinell hardness.
Hardness, Vickers	319	319	Converted from Brinell hardness.
Tensile Strength, Ultimate	1020 MPa	148000 psi	
Tensile Strength, Yield	675 MPa	97900 psi	
Elongation at Break	17.8 %	17.8 %	in 50 mm
Reduction of Area	48.2 %	48.2 %	
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	Calculated
Machinability	65 %	65 %	Based on AISI 1212 as 100% machinability.
Shear Modulus	80.0 GPa	11600 ksi	Typical for steel

ANEXO F. PROPIEDADES ACERO 1045

AISI 1045 Steel, cold drawn, 19-32 mm (0.75-1.25 in) round

Categories: [Metal](#); [Ferrous Metal](#); [Carbon Steel](#); [AISI 1000 Series Steel](#); [Medium Carbon Steel](#)

Material Medium-carbon steel, can be hammer forged. Can be heat treated, flame or induction hardened, but not recommended for carburizing or cyaniding. AISI cross reference for JIS S45C and KS SM45C.

Notes:

Key Words: AFNOR NF A35-553 XC45, AFNOR NF A35-554 XC48, DIN 1654 1.1192, DIN 1654 Cq45, DIN 17200 1.0503, AFNOR XC42, AFNOR XC42TS, AFNOR XC48TS, AFNOR NF A33-101 AF65C45, AFNOR NF A35-552 XC48H1, UNS G10450, ASTM A29, ASTM A108, ASTM A266 Class 3, ASTM A304, ASTM A311, ASTM A510, ASTM A519, AS 1442 K1045 (Australia), AS 1442 S1045, AS 1443 K1045, AS 1443 S1045, AS 1446 K1045, AS 1446 S1045, ASTM A568, ASTM A576, ASTM A682, ASTM A827, ASTM A830, FED QQ-S-635, FED QQ-S-700, FED QQ-W-461, MIL S-24093, MIL S-3039, BDS 6354 45G2A, BDS 6354 45G2K2, BDS 6354 45G2K3, GB 3078 45 (China), GB 3088 45, GB 699 45, YB 6 45B, DIN 17200 1.1191, DIN 17200 1.1201, DIN 17200 C45, DIN 17200 CK45, DIN 17200 Cm45, DIN 17200 GS-CK45, DIN 17212 1.1193, MIL S-46070, SAE J1397, SAE J403, SAE J412, BS 970 Part 1 O60A47 (U.K), BS 970 Part 1 080A47, BS 970 Part 1 080M46, NBN 253-02 C45-3, NBN 253-06 C46, BDS 3492 45LI (Bulgaria), BDS 3492 45LII, BDS 3492 45LIII, BDS 5785 45, BDS 6354 45G2, ONORM M3108 C45SW (Austria), ONORM M3110 RC45, ONORM M3161 C45, NBN 253-02 C45-1 (Belgium), NBN 253-02 C45-2

Vendors: No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.



[Printer friendly version](#)



[Download as PDF](#)



[Download to Excel \(requires Excel and Windows\)](#)



[Export data to your CAD/FEA program](#)

Add to Folder:



My Folder ▾ 0/3

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

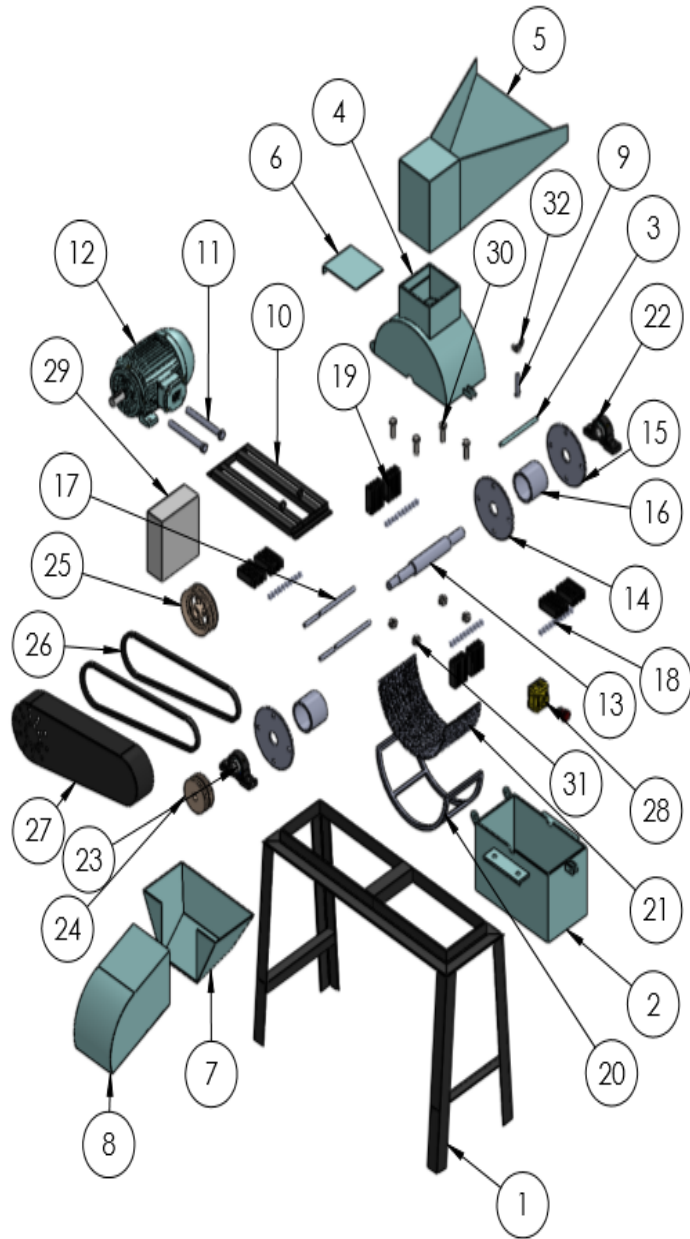
Mechanical Properties	Metric	English	Comment
Hardness, Brinell	179	179	
Hardness, Knoop	200	200	Converted from Brinell hardness
Hardness, Rockwell B	88	88	Converted from Brinell hardness
Hardness, Vickers	188	188	Converted from Brinell hardness
Tensile Strength, Ultimate	625 MPa	90600 psi	
Tensile Strength, 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

ANEXO G. GUIA DE OPERACIÓN, SEGURIDAD Y MANTENIMIENTO DE LA TRITURADORA PULVERIZADORA DE ARCILLA



PARTES DE LA TRITURADORA PULVERIZADORA DE ARCILLA

N.º DE ELABORACIÓN	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Base	1
2	Carcasa Inferior	1
3	Pasador Tapas	1
4	Carcasa Superior	1
5	Tolva Superior	1
6	Dosificador	1
7	Tolva Inferior 2.0	1
8	Tolva Inferior 2.1	1
9	Seguro Tapas	1
10	Base Del Motor	1
11	Tornillo Tensor	2
12	Motor monofásico bifilar 5[Hp] 1700[rPM]	1
13	Eje Principal	1
14	Disco Central	1
15	Discos Externos	2
16	Protector del Eje	2
17	Eje Martillo	4
18	Separadores de martillos	40
19	Martillo	32
20	SopORTE Criba	1
21	Criba	1
22	Chumaceras P207	2
23	Chumaceras P207	2
24	Polea 4.5[In] Conducida	1
25	Polea 6 [In] Conducida	1
26	Correa en V Trapezoidal B-53	2
27	Guarda Bandas	1
28	Parada de emergencia	1
29	Panel de Control Electrico	1
30	Perno 3/4" Chumaceras	4
31	Tuercas de seguridad 3/4"	4
32	Tuerca Mariposa Seguro Tapas	1



El siguiente documento es una guía de operación para la molienda de arcilla.

Instalación del equipo

Previo al funcionamiento de la maquina es necesario fijar el molino sobre el sitio donde va a ser su puesto de trabajo, para ello el equipo cuenta con una base con platinas agujeradas para colocar pernos de $\frac{1}{4}$ ", las cuales permitirán que el equipo se fije al suelo y no se desplace de un lugar a otro cuando esté en funcionamiento, esto debido a las vibraciones que son producidas por las elevadas velocidades de rotación que tiene la máquina.

El equipo posee un sistema de transmisión por poleas y bandas, la cual está diseñada para trabajar con una velocidad de 2320 rpm, esto permite realizar molienda a materiales de diferente naturaleza cuya dureza se encuentre por debajo de 2 en la escala de Mohs.

Para regular la velocidad primero se debe retirar la protección de sistema de transmisión " guarda-bandas", luego será necesario soltar el motor del molino el cual esta sujetado por pernos y tornillos al bastidor o base del molino, luego se integra la banda en el canal de la polea del motor, finalmente se ajustara el motor al bastidor para tensionar la banda de la polea del motor con la polea del molino y posteriormente se colocara el protector o guarda-bandas del sistema de transmisión para evitar accidentes.

Por último se verificara que la parte interna del equipo se encuentre despejada y que la criba incorporada no este averiada y este en un buen estado, también se deberá verificar que los martillos y los ejes no estén en mal estado " que no tengan fisuras o no estén desviados, alteraciones causadas por trabajar con materiales de elevada dureza".

Seguido estos pasos el molino ya estará en condiciones de trabajar estable y con la velocidad definida.

Arranque y apagado del equipo

- Previo al arranque de la maquina se colocara material en la tolva de alimentación tomando en consideración de que el dosificador o compuerta de paso del material este cerrada, esto se debe hacer para asegurar el arranque de la maquina en vacío.
- Hay que verificar que la tolva del molino este bien asegurada a la base del molino.
- Se colocara un recipiente a la altura de la descarga del molino para recibir el material que está cayendo.
- Luego el equipo deberá conectarse a una fuente de energía de 220 voltios y deberá ser encendida desde la caja de control oprimiendo el botón verde, tomando en cuenta que el botón de seguridad este afuera y que el botón azul este encendido.
- Después de hecha la molienda el equipo se podrá apagar oprimiendo el botón de seguridad o directamente desde la caja de control oprimiendo el botón rojo.

Figura 65. Caja de control y pulsador de Seguridad



Figura 66. Diagrama de Control

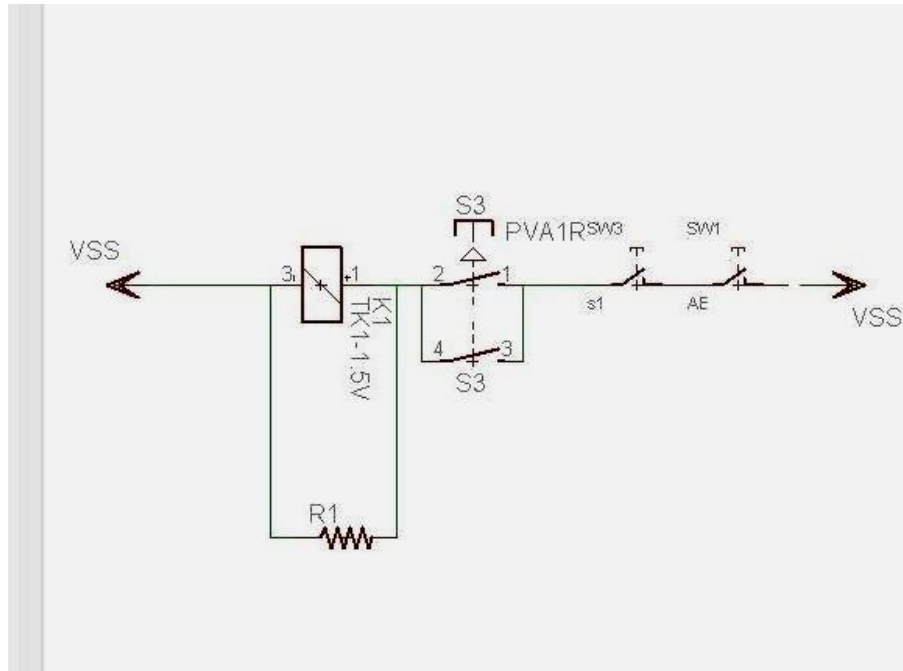
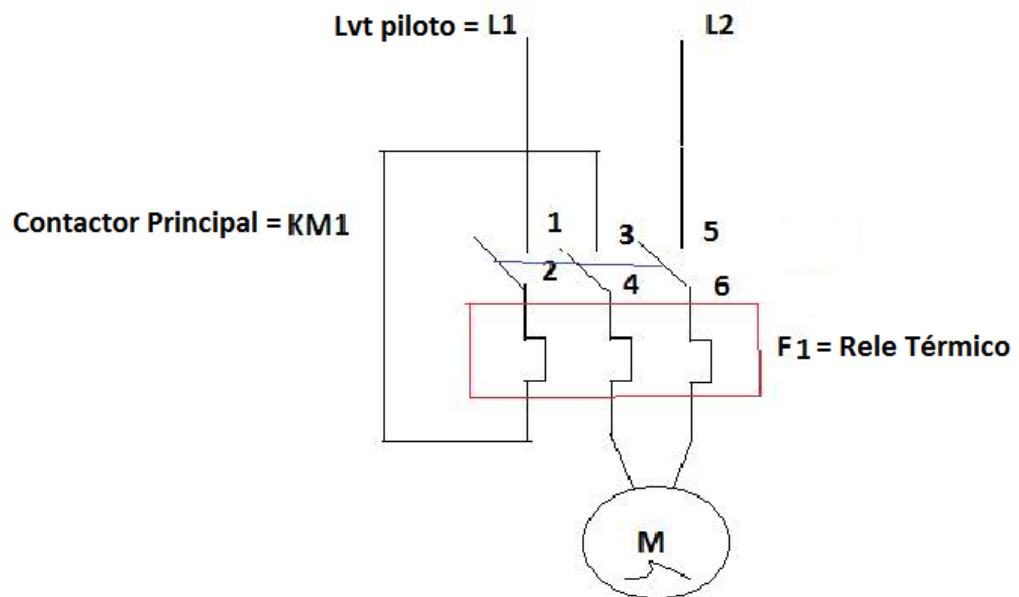


Figura 67. Diagrama de potencia



Mantenimiento del equipo después del uso.

Por razones de la geometría interna del equipo y por naturaleza de la arcilla, la misma tiende a aglomerarse en los vértices del equipo, en los ejes de los martillos y la parte frontal de todos los martillos, por lo que después de su uso en molienda se recomienda eliminar estas aglomeraciones con la ayuda de una brocha, además de eliminar ciertos polvos adheridos a las paredes internas de la carcasa y en la salida de la máquina.

Protección personal para uso de la máquina.

Debido a la baja granulometría del material, el producto tiende a suspenderse el aire cuando hay fugas en la descarga del material, por lo cual es aconsejable utilizar:

- Guantes
- Gafas
- Mascarilla con filtros para polvos.
- Mandil u overol.

Mantenimiento del equipo.

El objetivo principal de darle un buen mantenimiento al equipo es lograr que sea eficaz y que no presente fallas, asegurándose así que éste se encuentre constantemente y por el mayor tiempo posible, en óptimas condiciones de confiabilidad y que sea seguro de operar.

- La banda de transmisión tiende a desgastarse con el tiempo de uso del molino, por lo que se recomienda cambiarlas después de 400 horas de funcionamiento, a fin de disminuir pérdidas de energía por fricción con las poleas.
- Los martillos fueron diseñados de tal manera que poseen 3 caras de impacto. En dependencia con el tiempo de trabajo y la naturaleza del

material a moler el área de impacto de los martillos tendrán la tendencia de desgastarse, por lo cual se deberá cambiar de posición.

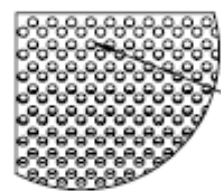
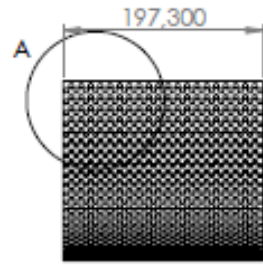
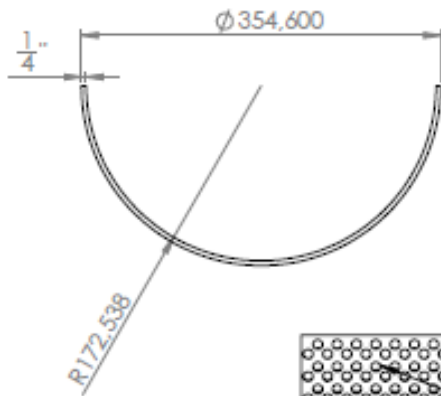
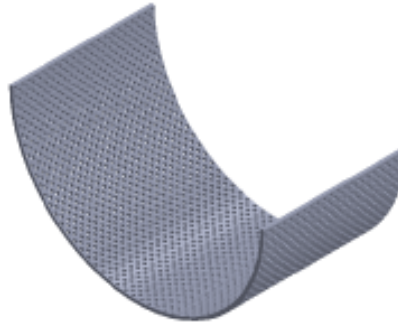
- Los pernos y tornillos con el paso del tiempo se sueltan antes de poner en marcha la maquina revisarlos que estén bien sujetos.
- Las chumaceras hay que lubricarlas por medio de las graseras para evitar el desgaste de estas.

Herramientas a usar para el mantenimiento de la máquina.

- Llave fija y estrella de 9/16"
- Llave fija y estrella de 5/8"
- Llave fija y estrella de 3/4"
- Llave brístol de 4mm
- Destornillador de pala
- Destornillador de estría.
- Probador de corriente.
- Pulidora
- Hombre solo.

ANEXO H PLANOS

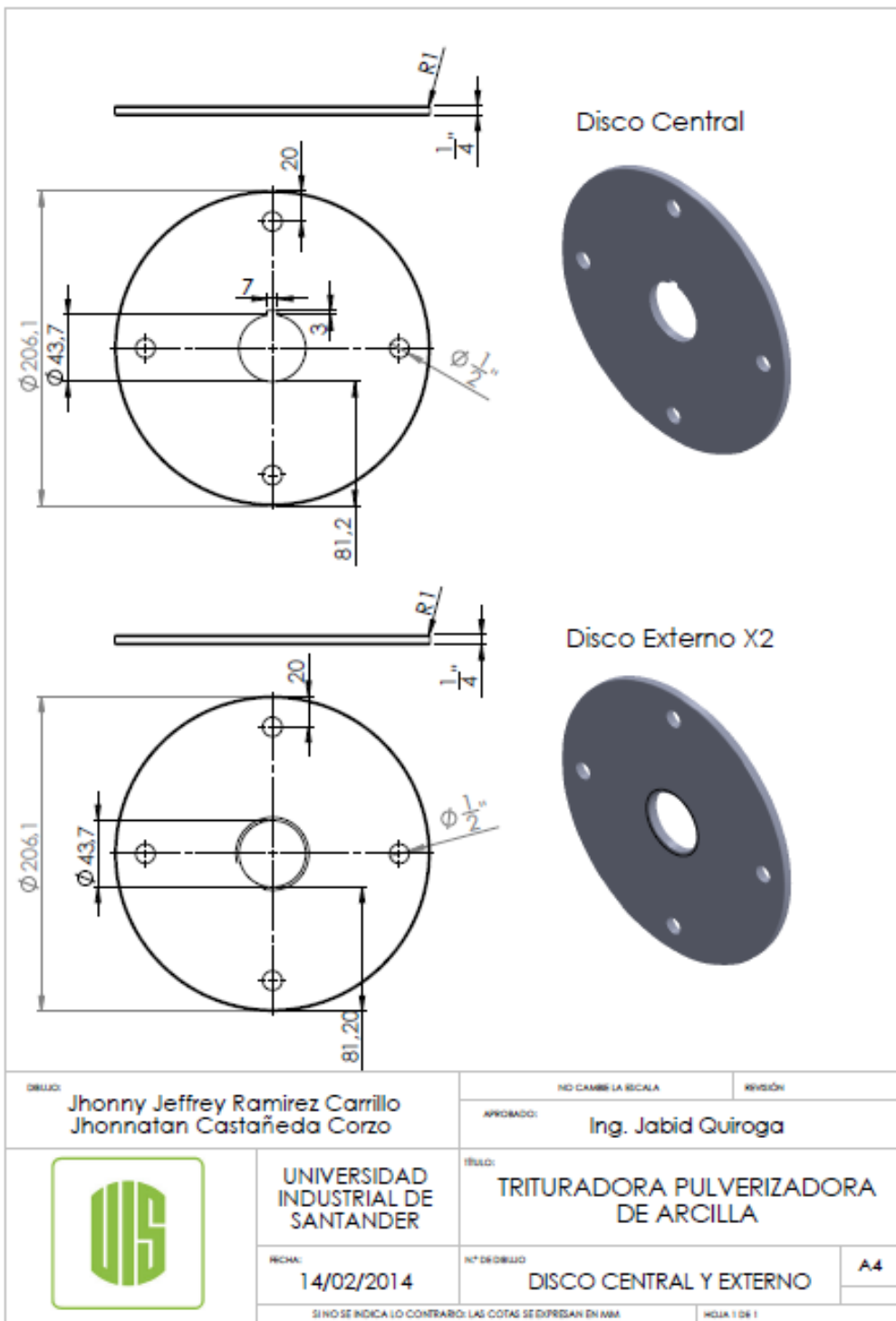
Criba
 Lamina 1/4" con dobles a 180°
 Tamaño máximo del material particulado de Ø3/16"

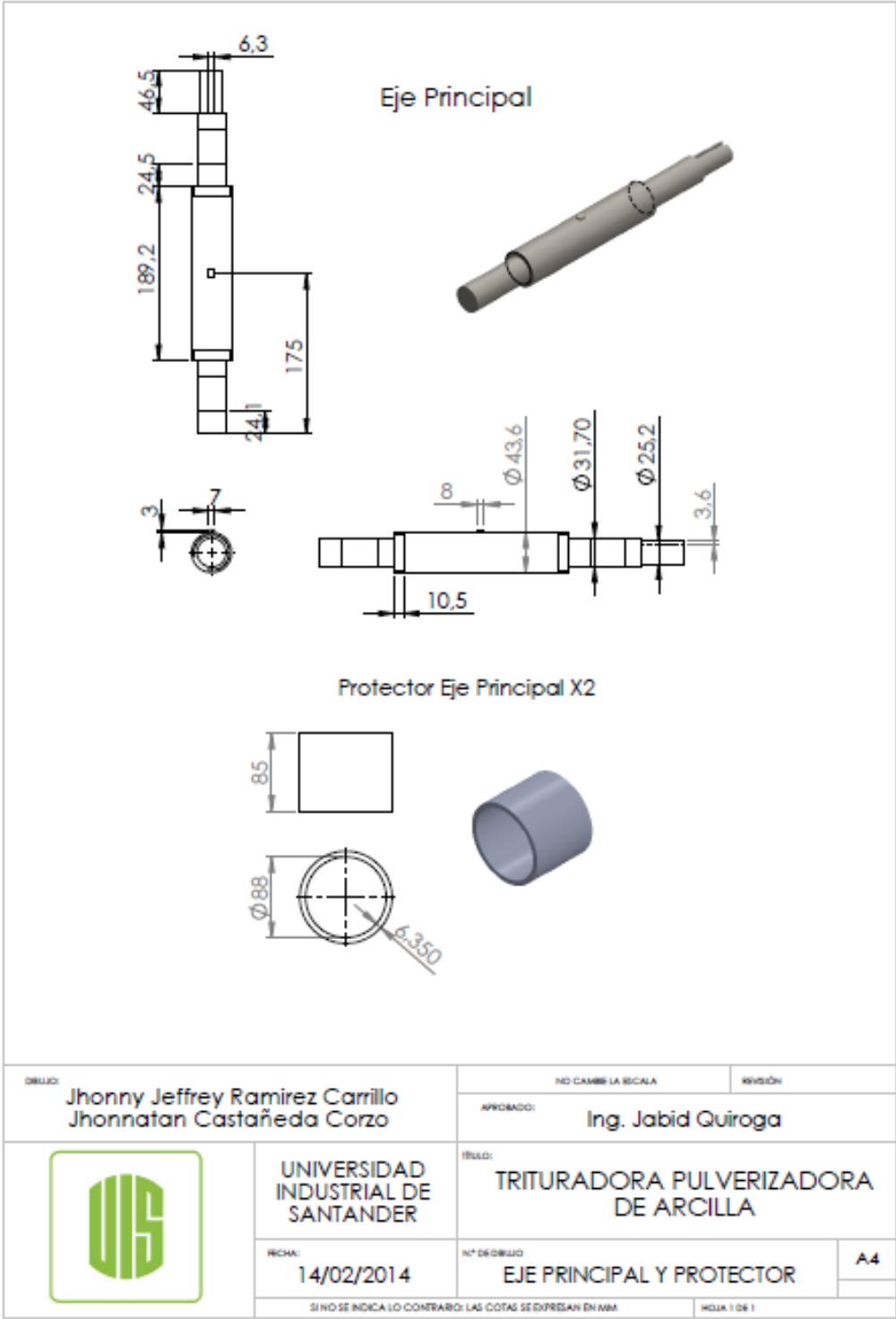


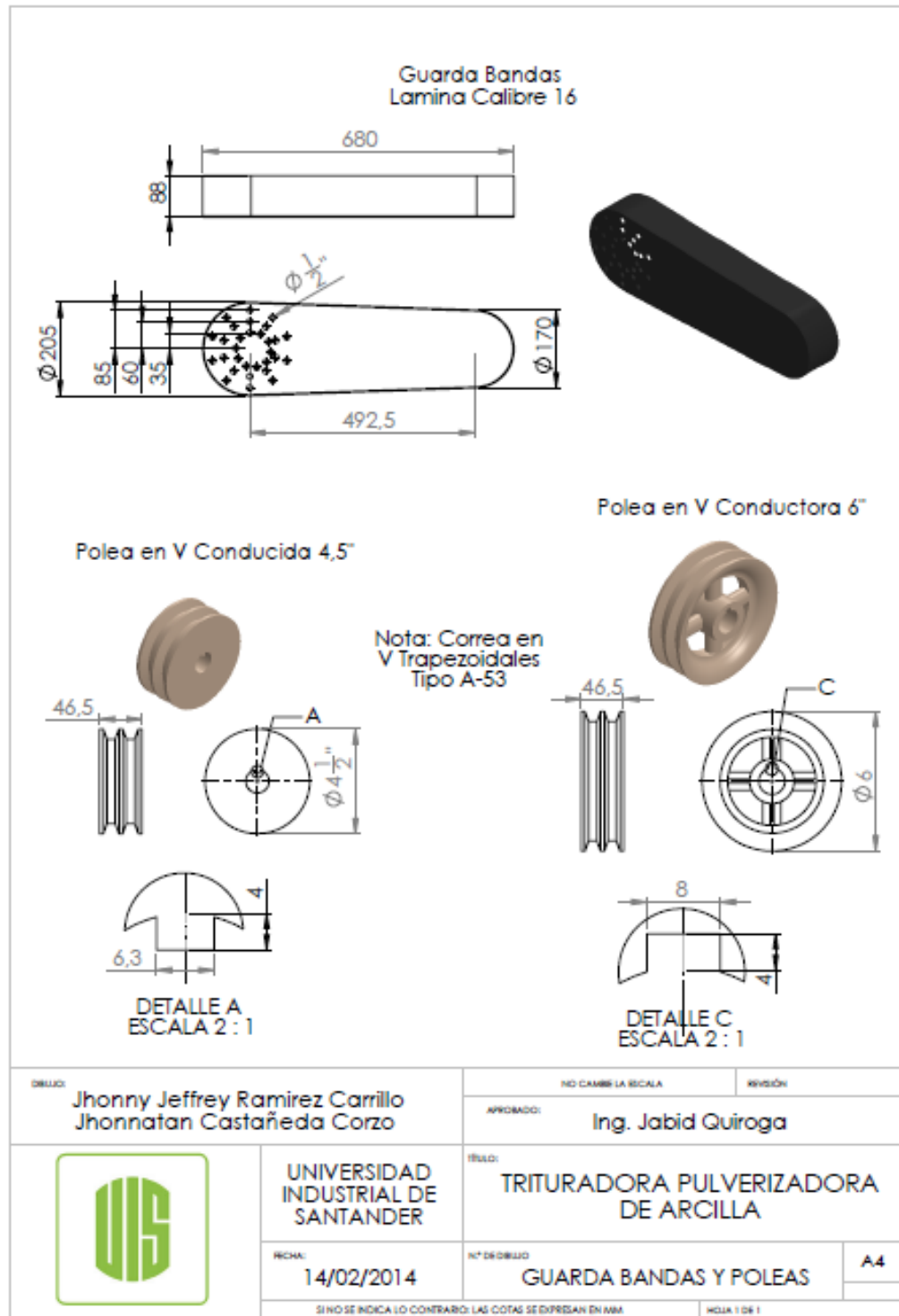
Taladrado de Ø3/16" Espaciados centro a centro 9.5 [mm] en configuración triangular.

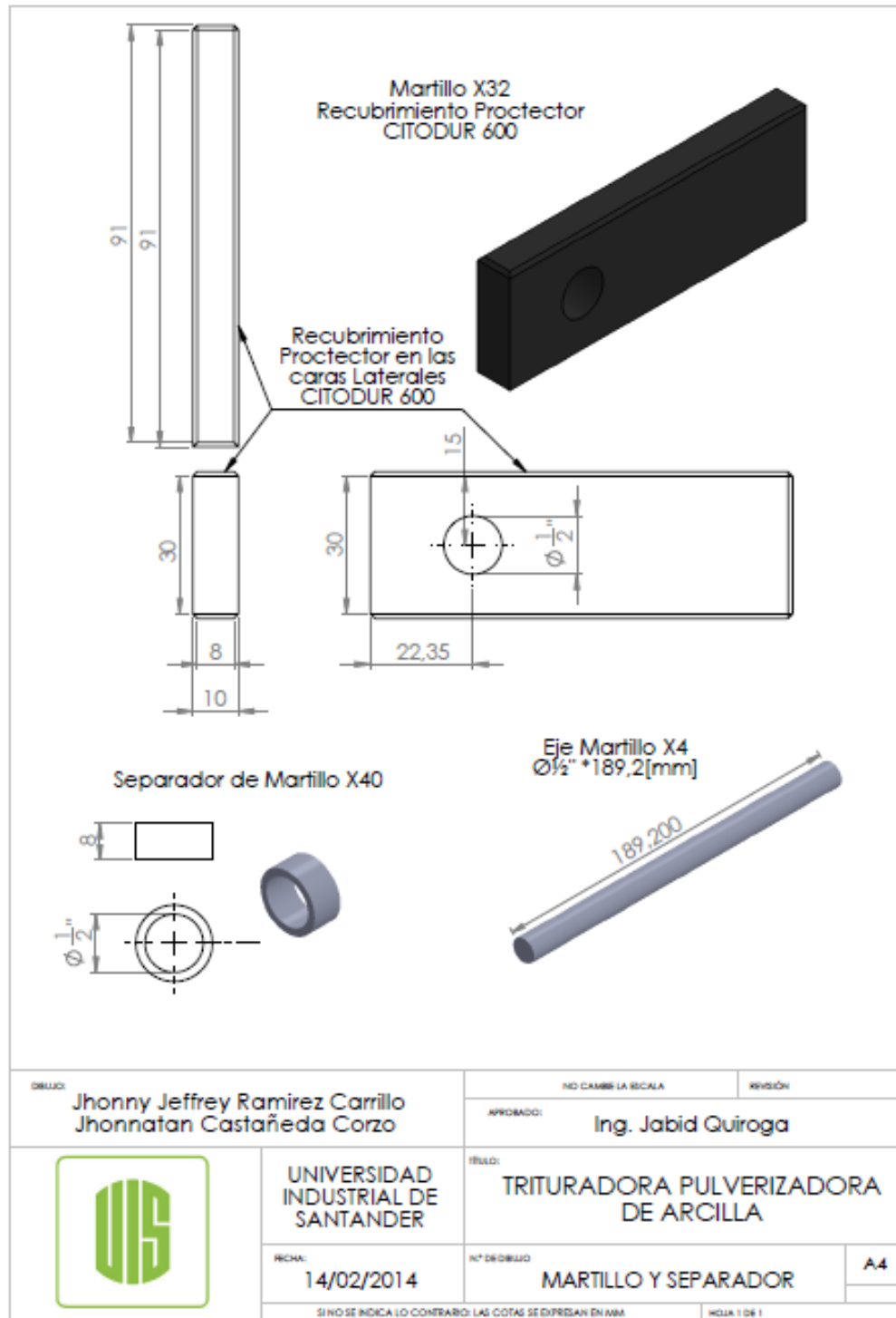
DETALLE A
 ESCALA 2 : 5

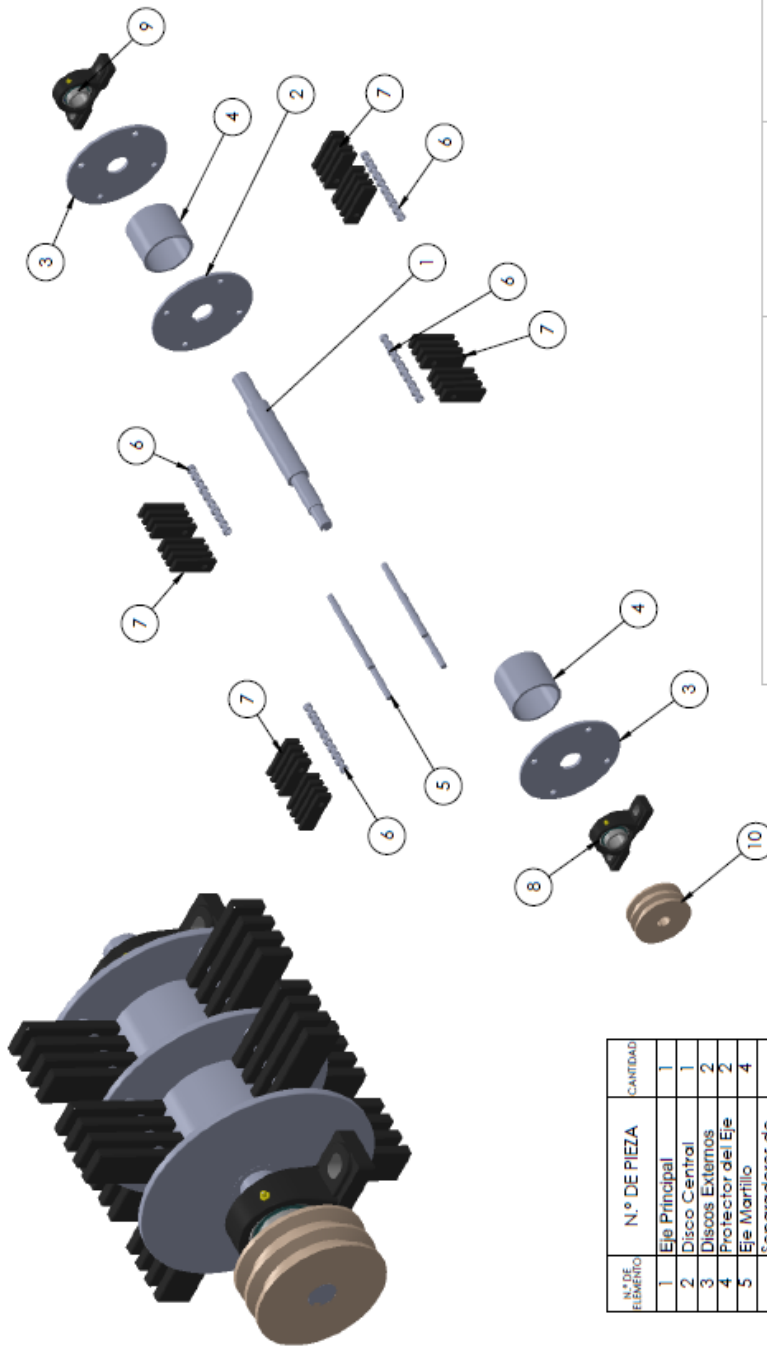
DIBUJO: Jhonny Jeffrey Ramirez Carrillo Jhonnatan Castañeda Corzo		NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
		APROBADO: Ing. Jabid Quiroga	
	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	TÍTULO: TRITURADORA PULVERIZADORA DE ARCILLA	
	FECHA: 14/02/2014	N° DE DIBUJO: CRIBA	A4
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO, LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM			HOJA 1 DE 1





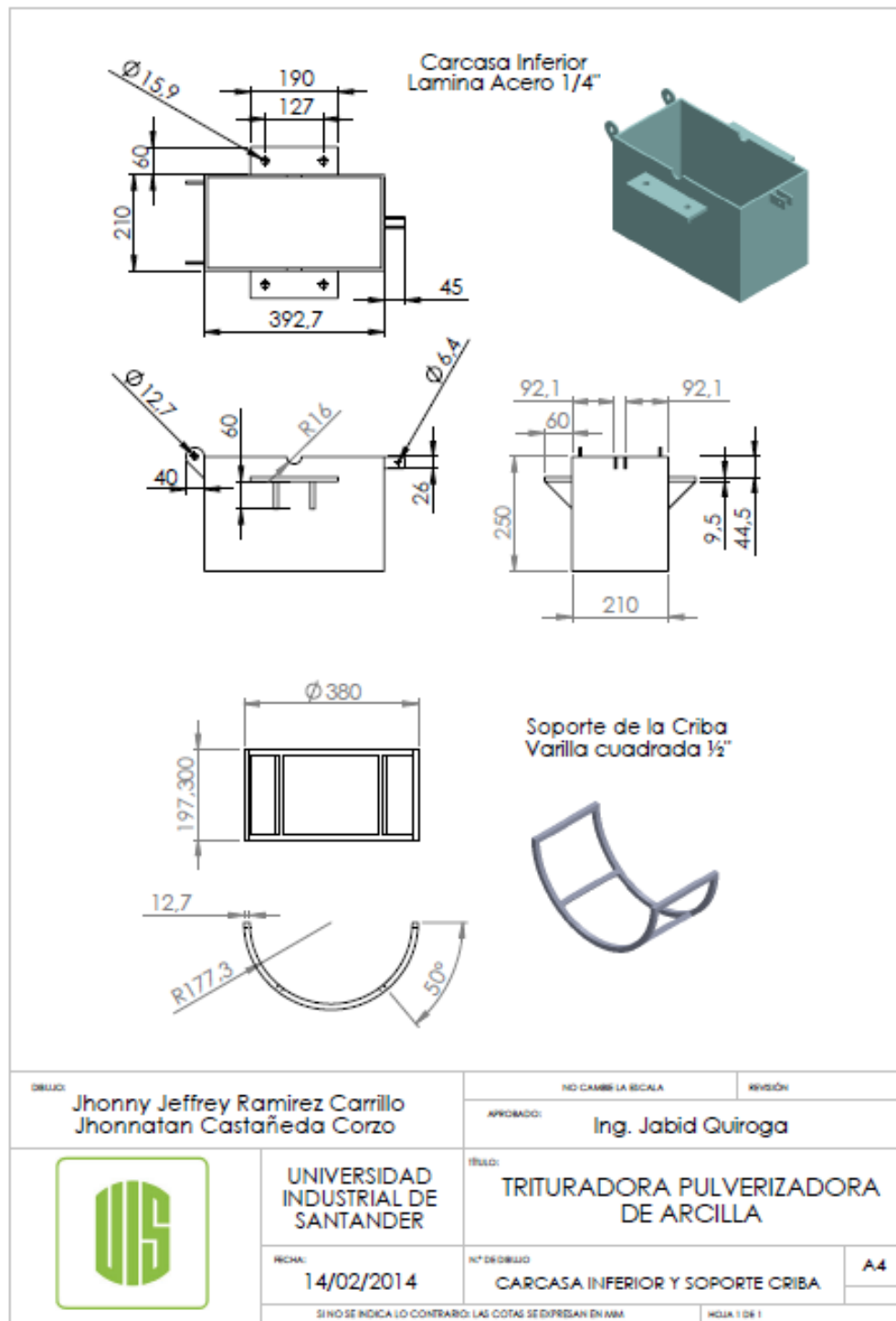


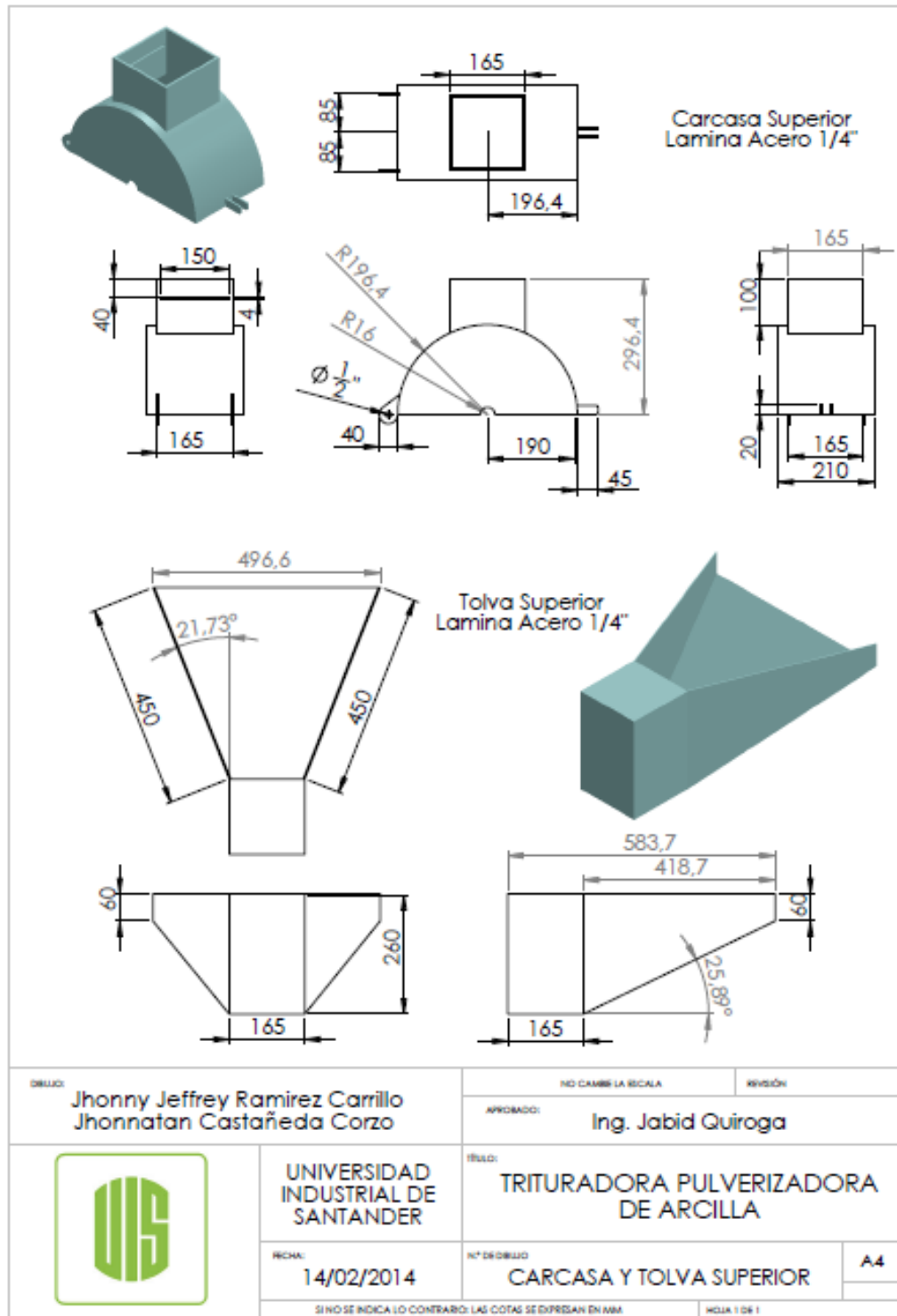


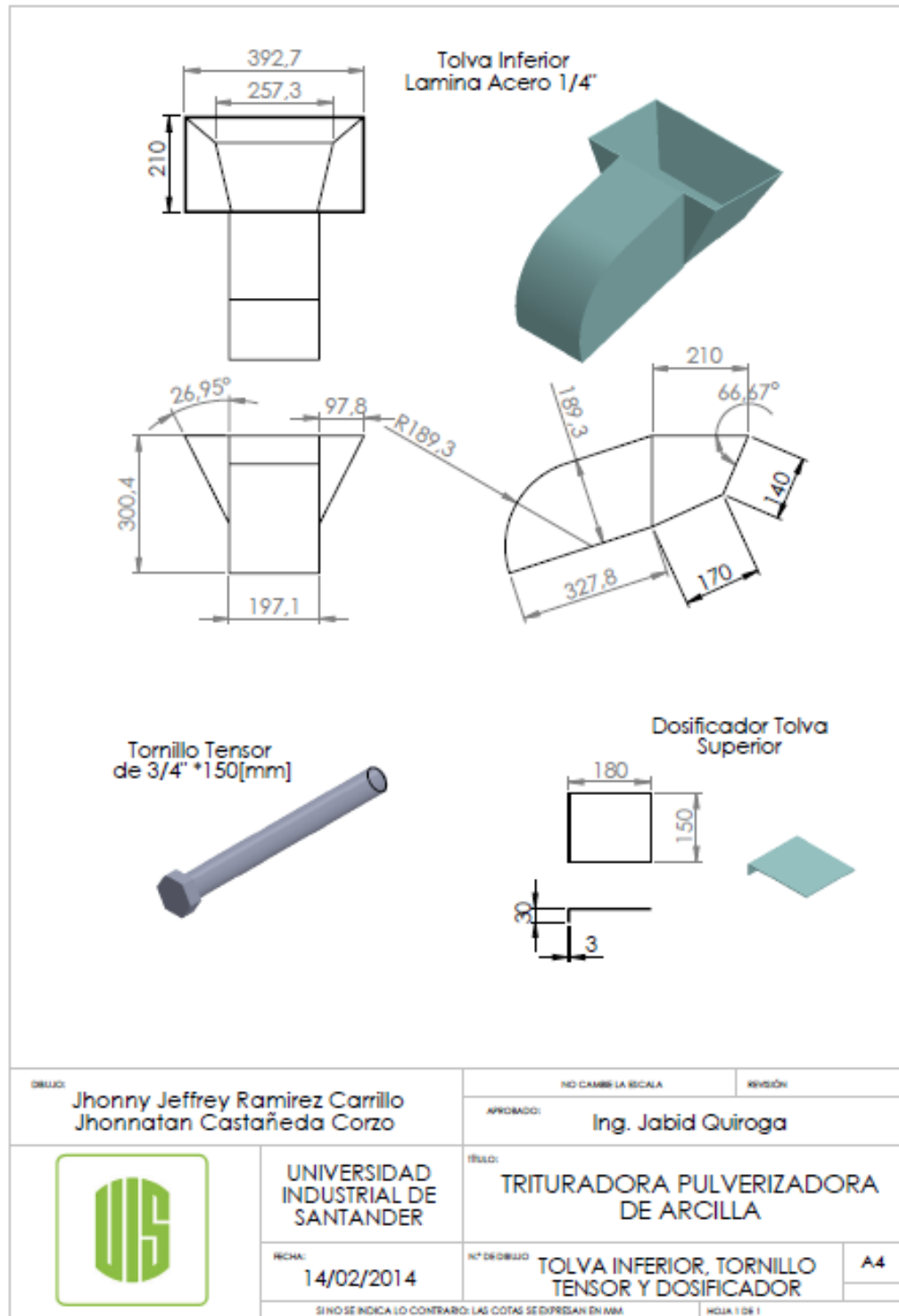


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Eje Principal	1
2	Disco Central	1
3	Discos Externos	2
4	Protector del Eje	2
5	Eje Martillo	4
6	Separadores de martillos	40
7	Martillo	32
8	Chumaceras P207	2
9	Balinas	2
10	Polea 4.5[in] Conalucida	1

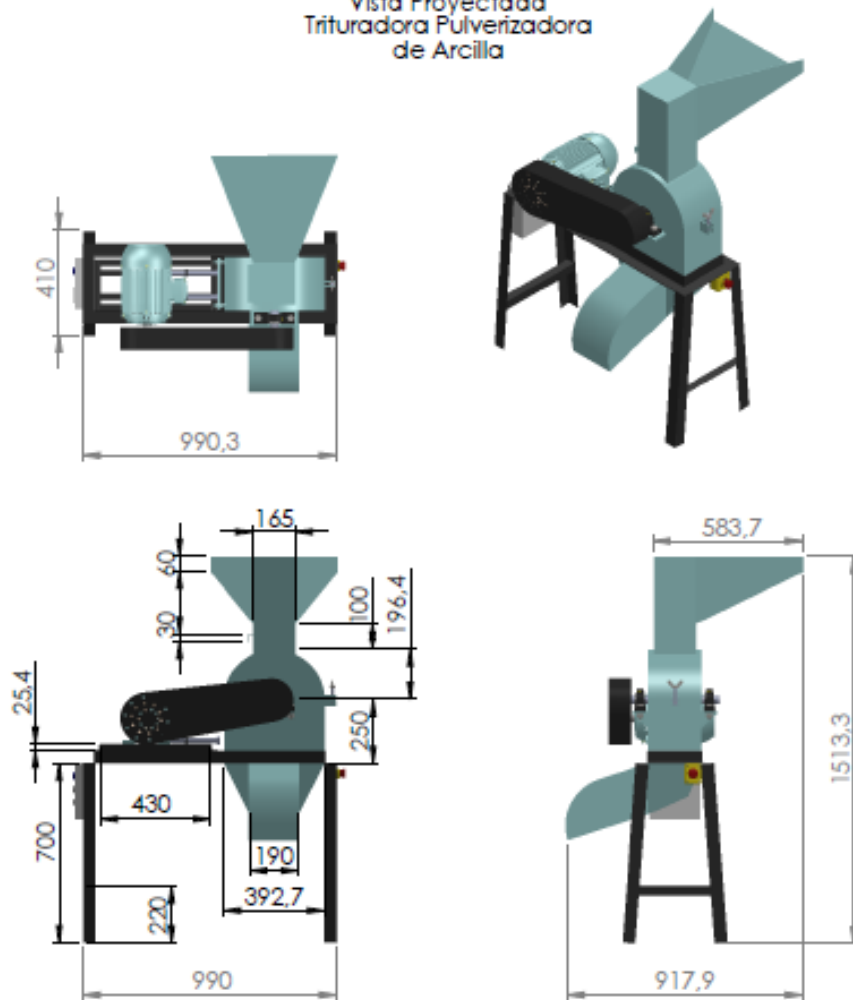
	DISEÑO: Jhonny Jeffrey Ramirez Carrillo Jhonnatan Castañeda Corzo	NO CAMBIA LA ESCALA INGENIERO Ing. Javid Quiroga	REVISIÓN
	FECHA: UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	FECHA: 14/02/2014	FECHA: 14/02/2014
		N.º DE DISEÑO: TRITRADORA PULVERIZADORA DE ARCILLA	N.º DE DISEÑO: Molino
		N.º DE DISEÑO: 14/02/2014	N.º DE DISEÑO: A3
		<small>SE NO DE NECESARIO CONTINUAR LAS COTAS DE EXPRESAR EN MM. ESCALA 1:100</small>	



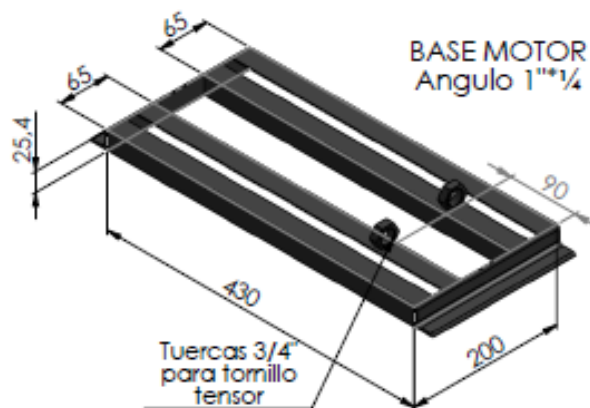
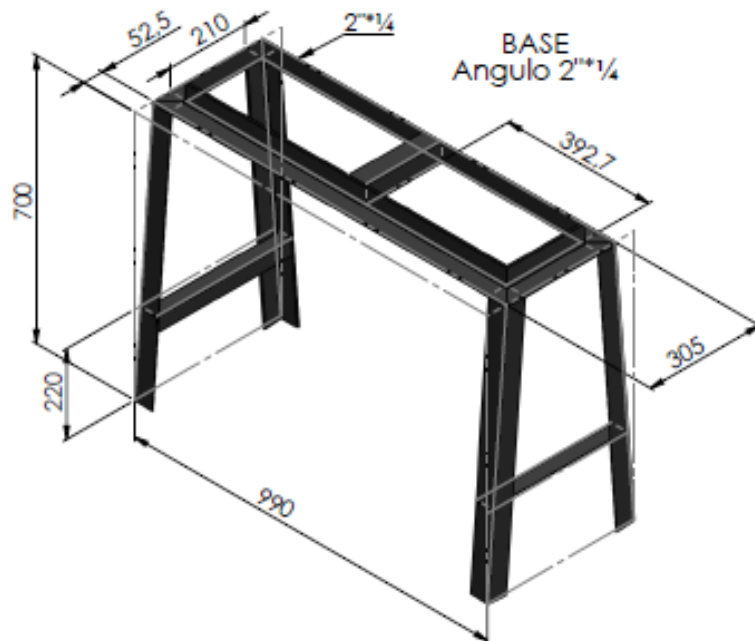




Vista Proyectada
Trituradora Pulverizadora
de Arcilla



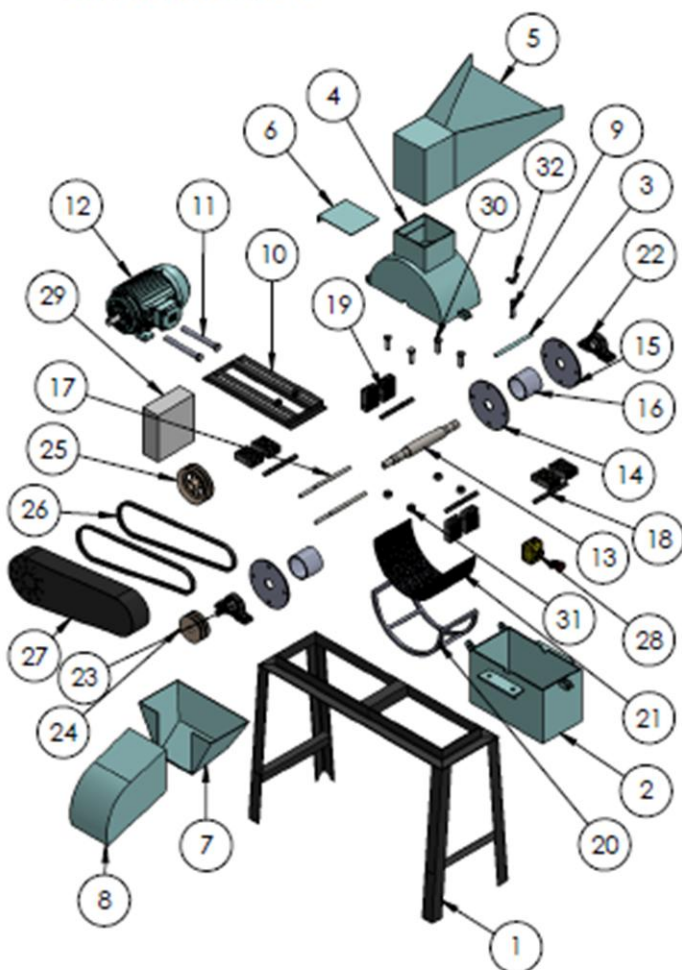
DISEÑO: Jhonny Jeffrey Ramirez Carrillo Jhonnatan Castañeda Corzo		NO CAMBIE LA ESCALA REVISIÓN	
		APROBADO: Ing. Javid Quiroga	
	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		TÍTULO: TRITURADORA PULVERIZADORA DE ARCILLA
	FECHA: 14/02/2014	N° DE DISEÑO: VISTA PROYECTADA	A4
	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO, LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		HOJA 1 DE 1



DIBUJO: Jhonny Jeffrey Ramirez Carrillo Jhonnatan Castañeda Corzo		NO CAMBIE LA ESCALA REVISIÓN
APROBADO: Ing. Javid Quiroga		
	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	TÍTULO: TRITURADORA PULVERIZADORA DE ARCILLA
	FECHA: 14/02/2014	N° DE DIBUJO: BASES
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO, LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM.		HOJA 1 DE 1

VISTA EN ESTADO
EXPLOSIONADO

N.º DE SUBCÓDIGO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Base	1
2	Carcasa Inferior	1
3	Pasador Tapas	1
4	Carcasa Superior	1
5	Tolva Superior	1
6	Dosificador	1
7	Tolva Inferior 2.0	1
8	Tolva Inferior 2.1	1
9	Seguro Tapas	1
10	Base Del Motor	1
11	Tornillo Tensor	2
12	Motor monofásico 220V 50Hz (1740RPM)	1
13	Eje Principal	1
14	Disco Central	1
15	Discos Externos	2
16	Protector del Eje	2
17	Eje Martillo	4
18	Separadores de martillos	40
19	Martillo	32
20	Soporte Criba	1
21	Criba	1
22	Chumaceras P207	2
23	Chumaceras P207	2
24	Polea 4.5 (in) Conductora	1
25	Polea 6 (in) Conductora	1
26	Conexión V Trapezoidal A-S3	2
27	Guarda Bandas	1
28	Parada de emergencia	1
29	Panel de Control Eléctrico	1
30	Perno 3/4" Chumaceras	4
31	Tuercas de seguridad 3/4"	4
32	Tuerca Mariposa Seguro Tapas	1



DELLJO:

Jhonny Jeffrey Ramirez Carrillo
Jhonnatan Castañeda Corzo

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

APROBADO:

Ing. Javid Quiroga



UNIVERSIDAD
INDUSTRIAL DE
SANTANDER

TÍTULO:

TRITURADORA PULVERIZADORA
DE ARCILLA

FECHA:

14/02/2014

N.º DE DIBUJO

VISTA EN ESTADO EXPLOSIONADO

A.4

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO, LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM

FOLIA 1 DE 1