



# INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

## INGENIERÍA MECÁNICA

### “ANÁLISIS DINÁMICO Y DISEÑO DE SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA MECÁNICO- HIDRÁULICO DE TRITURADORA METÁLICA”

CENTRO DE TECNOLOGÍA AVANZADA  
CIATEQ AC

PRESENTA:

KEVIN ABNER GUILLEN GALICIA  
13270512

ASESOR INTERNO:

M. C. IGNACIO ARRIOJA CARDENAS

ASESOR EXTERNO:

M. C. JULIO CÉSAR SÁNCHEZ JIMÉNEZ

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS  
11 DE DICIEMBRE DE 2017

## Tabla de contenidos

CAPÍTULO I .....	6
INTRODUCCIÓN.....	6
JUSTIFICACIÓN .....	8
OBJETIVOS .....	9
OBJETIVO GENERAL.....	9
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	9
CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE PARTICIPACIÓN.....	10
CIATEQ AC .....	10
MISIÓN .....	10
VISIÓN.....	10
LOCALIZACIÓN .....	10
SISTEMAS MECÁNICOS .....	11
MÁQUINAS ESPECIALES .....	11
PROBLEMAS A RESOLVER .....	12
CAPÍTULO II .....	13
MARCO TEÓRICO .....	13
RECICLAJE METÁLICO .....	13
BENCHMARKING .....	16
REVISIÓN DE PATENTES.....	18
CARACTERIZACIÓN DE LAS PARTES COMUNES.....	19
ESTADO DEL ARTE.....	20
CAPÍTULO III .....	24
INGENIERÍA CONCEPTUAL .....	24
CÁLCULOS Y DISEÑO DE LAS PARTES.....	25
MARTILLOS.....	25
DISCOS .....	26
CAPÍTULO IV.....	27
INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE.....	27
DISEÑO ESTÁTICO .....	27
DEFORMACIÓN DEL EJE .....	29
CAPACIDAD DE LA TRITURADORA.....	29
ANÁLISIS DINÁMICO DE LOS ELEMENTOS TRITURADORES.....	29
CÁLCULO DE TORQUE Y POTENCIA EN EL RODILLO.....	30

TORQUE RESISTIVO INERCIAL DE LA MASA RODANTE .....	31
DISEÑO BÁSICO .....	34
BANDA DE SALIDA.....	34
DISEÑO DE TOLVA.....	34
ALTERNATIVA DE BASE .....	34
DISEÑO DE BASE .....	35
DISEÑO DE PARTE MEDIA.....	36
LIMITACIONES .....	44
SELECCIÓN DEL MOTOR.....	46
DIMENSIONES DEL MOTOR.....	50
CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA MÁQUINA .....	51
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PRODUCTO.....	51
PLAN DE TRANSPORTACIÓN .....	52
PRUEBAS EXPERIMENTALES .....	53
CAPITULO V.....	55
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	55
FUENTES DE INFORMACIÓN.....	57

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. MAPA DE UBICACIÓN .....	11
FIGURA 2. RECICLAJE Y FUNDICIÓN DE UTENSILIOS METÁLICOS [5] .....	13
FIGURA 3. LA INDUSTRIA SIDERÚRGICA ESPAÑOLA 2011 [8] .....	14
FIGURA 4. TRITURADORA METÁLICA NZS HEM 1250 HAMMEL RECYCLINGTECHNIK GMBH®.....	16
FIGURA 5. TRITURADORA METÁLICA Q43P-630 JIANGSU WANSHIDA HIDRÁULICA MACHINERY CO., LTD.®.....	17
FIGURA 6. MÁQUINA DE PATENTE US 5052630 A [11].....	18
FIGURA 7. ESQUEMA BÁSICO DE UNA TRITURADORA.....	19
FIGURA 8. PATENTE 85067.....	20
FIGURA 9. PATENTE 3356016 .....	20
FIGURA 10. PATENTE 3502276.....	21
FIGURA 11. PATENTE 3587985.....	21
FIGURA 12. PATENTE 4504019.....	22
FIGURA 13. PATENTE EP 0873791 A2.....	22
FIGURA 14. PATENTE 4609155.....	23
FIGURA 15. PATENTE 20140203124 .....	23
FIGURA 16. MODELO DE ROTOR TIPO MOLINO DE MARTILLOS CON FUNCIONAMIENTO DE MARTILLOS Y DISCOS ALOJADORES .....	24
FIGURA 17. ROTOR TIPO MOLINO DE MARTILLOS .....	25
FIGURA 18. MARTILLO TRITURADOR .....	25
FIGURA 19. DISCO DE TRITURADORA.....	26
FIGURA 20. REPRESENTACIÓN BÁSICA DEL FUNCIONAMIENTO DEL MOLINO DE MARTILLOS .....	26
FIGURA 21. CARGAS DISTRIBUIDAS A TRAVÉS DEL EJE .....	27
FIGURA 22. DIAGRAMAS DE “FUERZA CORTANTE” Y “MOMENTO FLEXIONANTE” .....	28
FIGURA 23. DIAGRAMA DE MOMENTO PARA VIGA DE SECCIÓN VARIABLE .....	28
FIGURA 24. DIMENSIONES DEL ROTOR .....	30
FIGURA 25. POSICIÓN APROXIMADA DE LOS MARTILLOS AL MOMENTO DE TRITURAR .....	31
FIGURA 26. DISTANCIAS FORMADAS POR EL POSICIONAMIENTO DE LOS MARTILLOS .....	32
FIGURA 27. MARTILLOS POSICIONADOS PARA LA TRITURACIÓN DEL ACERO .....	33
FIGURA 28. BANDA DE SALIDA .....	34
FIGURA 29. LÁMINA DE TOLVA DE SALIDA .....	34
FIGURA 30. VIGA LATERAL INFERIOR .....	34
FIGURA 31. CARTABÓN DE BASE.....	34
FIGURA 32. CARTABÓN REFUERZO BASE .....	34
FIGURA 33. ANCLA BANDA TRANSPORTADORA.....	34
FIGURA 34. ANCLAS MONTADAS PARA BANDA TRANSPORTADORA .....	34
FIGURA 35. TENSOR DE POLEAS.....	34
FIGURA 36. PLACA UNIÓN LOWBOY .....	34
FIGURA 37. BASE PLACAS UNIÓN LOWBOY .....	34
FIGURA 38. PLACA DE SACRIFICIO .....	34
FIGURA 39. CHUMACERA PARTE SUPERIOR .....	34
FIGURA 40. CHUMACERA PARTE INFERIOR.....	34
FIGURA 41. TORNILLO ALLEN 1.25X6 IN .....	34
FIGURA 42. CHUMACERA COMPLETA VISTA ISOMÉTRICA .....	34
FIGURA 43. CHUMACERA COMPLETA VISTA FRONTAL .....	34
FIGURA 44. VISTA ISOMÉTRICA DE PORTAPEDALERA .....	34
FIGURA 45. VISTA ISOMÉTRICA DE CHUMACERA .....	34
FIGURA 46. ESCUADRA .....	34

FIGURA 47. PERFIL PTR PARA LA ESCUADRA .....	34
FIGURA 48. LÁMINA PARA TOLVA .....	34
FIGURA 49. LÁMINA PARA TOLVA .....	34
FIGURA 50. TOLVA COMPLETA .....	34
FIGURA 51. PLACA CARCASA .....	34
FIGURA 52. PLACA REJILLA .....	34
FIGURA 53. SOPORTE PARA TORNILLO .....	34
FIGURA 54. TORNILLO DE 0.75 IN, GRADO 2 CON ROLDANA DE PRESIÓN.....	34
FIGURA 55. VISTA ISOMÉTRICA DE CARCASA SUPERIOR .....	34
FIGURA 56. VISTA FRONTAL DE CARCASA SUPERIOR .....	34
FIGURA 57. VISTA POSTERIOR DE CARCASA SUPERIOR .....	34
FIGURA 58. VEHÍCULOS PILOTO PARA TRANSPORTE DE MAQUINARIA PESADA.....	52
FIGURA 59. CONFIGURACIÓN DE TRASLADO.....	52
FIGURA 60. ENSAMBLE PARA TRANSPORTACIÓN.....	53
FIGURA 61. FRAGMENTO TÍPICO PREVIO A LA COMPACTACIÓN.....	53
FIGURA 62. FRAGMENTO TÍPICO COMPACTADO.....	54
FIGURA 63. MATERIA PRIMA.....	54
FIGURA 64. PRODUCTO.....	54

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. LISTA DE CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DEL MOTOR DIÉSEL .....	47
TABLA 2. CARGA DE FUERZAS TRANSVERSALES Y AXIALES ADMISIBLES DEL EJE DE ACCIONAMIENTO ..	49

## CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

El presente documento tiene como finalidad presentar el proyecto de residencia titulado "Análisis dinámico y diseño de sistema de transmisión de potencia mecánico-hidráulico de trituradora metálica".

Este proyecto fue realizado en las instalaciones de CIATEQ sede Querétaro ubicadas, en el municipio de El Marqués, Querétaro, en conjunto con CIATEQ sede San Luis Potosí, S.L.P, en el área de especialidad de Sistemas Mecánicos, Gerencia de Máquinas Especiales.

Dicho proyecto está vinculado al sector de reciclaje de metales mediante un empresario intermediaria que solicitó a CIATEQ la realización de este proyecto, este empresario se dedica al transporte y compra-venta de chatarra metálica.

El proyecto consiste en una máquina transportable capaz de triturar la chatarra metálica con la misma o mejor calidad de una máquina estática convencional, a una mayor velocidad. Esto es de suma importancia ya que se optimiza el transporte de los metales desde la ciudad de San Luis Potosí hasta Ramos Arizpe, en el estado de Coahuila.

Gracias al desarrollo de esta equipo, es posible mover el equipo a donde se encuentra el metal a triturar, en vez de transportar el desperdicio metálico hasta donde va a ser convertido en "chicharrón".

El sistema es capaz de compactar hasta 25 toneladas por jornada, lo cual es el equivalente a una caja de tráiler llena de metal compactado.

El tamaño está diseñado para ser transportada con seguridad y con base en las medidas reglamentarias para los caminos y carreteras de México. Sus medidas son de dos metros y medio de ancho y un metro y medio de diámetro.

Su peso es de 22 toneladas y cuenta con un rotor que gira a mil revoluciones por minuto. La fuerza de compactación que maneja es de 5 toneladas y la presión hidráulica nominal es de 200 a 250 bares.

Este equipo se engancha a un tráiler y se traslada a los lugares donde se acumula el desperdicio metálico, especialmente el automotriz, es decir, en Yonkes o deshuesaderos.

El equipo cuenta con un área de alimentación y trituración de chatarra laminada, que permite descargar el material triturado directamente a contenedores. Tiene además un sistema hidráulico de conducción de potencia que logra densidades mínimas de 0.95 toneladas por metro cúbico.

Además de su avanzado diseño, fabricación, tamaño y peso, se logró aligerar de manera notable el rotor, pieza fundamental en el proceso de trituración. También cuenta con una tecnología innovadora conocida como “Lowboy bipartido”, que consiste fundamentalmente en un remolque con la cama baja dividida a la mitad, de tal manera que aísla al equipo de las llamadas vibraciones parasitas que se originan por el proceso.

Las condiciones de seguridad han sido un punto muy importante en esta máquina, ya que cuenta con tres sistemas -además del sistema hidráulico-que protegen al usuario en todo momento, ya que cualquier exceso de presión es detectada por la línea de seguridad. Es decir que si se llega a introducir una pieza muy grande que no es posible compactar, el sistema desactiva la trituración inmediatamente debido a la definición preestablecida de límites en la capacidad del proceso.

La modelación de las piezas y los ensambles serán realizados en el software para diseño asistido por computadora, SolidWorks®.

## JUSTIFICACIÓN

Actualmente, CIATEQ AC es un centro de investigación especializado en manufactura avanzada, a través de sus distintas áreas de especialidad, como es Sistemas Mecánicos, la cual está encargada de modernización, diseño y construcción de dispositivos con requerimientos específicos.

Por tal motivo, el solicitante ha requerido, de una máquina que pueda triturar chatarra metálica con la misma o mejor calidad de producto triturado de un modelo anterior pero incrementando la velocidad de trituración; aunado a esto, la máquina debe ser transportable.

Para el desarrollo y completo funcionamiento de esta máquina es necesario considerar los siguientes requerimientos:

- Capacidad de procesamiento de 25 Ton/jornada
- Lograr materia prima de chatarra metálica con densidades mínimas de 0.95 ton/m<sup>3</sup>.
- Área de alimentación y trituración de chatarra laminada.
- Descarga de material triturado a contenedores.
- Sistema hidráulico de conducción de potencia.
- Máquina transportable.

Debido a esto, es oportuno realizar el diseño de elementos específicos en un software CAD para poder conformar el modelo ideal, con las solicitudes requeridas, antes de su manufactura y ensamble físicos.



## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Diseño de sistema de transmisión de potencia mecánico-hidráulico de trituradora metálica, con el cual se pueda triturar desperdicio metálico para obtener la máxima calidad posible del producto final.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Mantener la máquina operando durante un período extendido de tiempo.
2. Optimizar los espacios de traslado
3. Lograr la capacidad de trituración comprometida.
4. Reducir tiempos muertos.
5. Evitar desgaste interno y pérdidas de presión en el sistema hidráulico.

## CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE PARTICIPACIÓN

### CIATEQ AC

Centro de alta tecnología, CIATEQ, A.C., fundado como Centro Público de Investigación en noviembre de 1978, es hoy una organización de Centros especializados en manufactura avanzada con cobertura nacional a través de sus sedes en 8 estados de la República que ha mostrado el mayor crecimiento a lo largo de su existencia con más de 3,600 proyectos de vinculación y más de 44,000 servicios tecnológicos ofrecidos a 3,400 clientes.

La oferta tecnológica de CIATEQ agrupada en 6 áreas de especialidad es integral y apoya prácticamente a toda la industria desde el análisis de materiales, desarrollo de productos, procesos y servicios con alta tecnología e innovación.

[1]

### MISIÓN

"Desarrollar soluciones tecnológicas que incrementen la competitividad de nuestros clientes, generen valor para la organización y aumenten las competencias y satisfacción de nuestro personal." [2]

### VISIÓN

"Ser una organización de centros de excelencia, líderes en desarrollo tecnológico e innovación, responsables con el medio ambiente y la sociedad."

[2]

### LOCALIZACIÓN

CIATEQ sede Querétaro se localiza en:

Av. Manantiales No. 23-A. Parque Industrial Bernardo Quintana. El Marqués, Querétaro. C.P. 76246

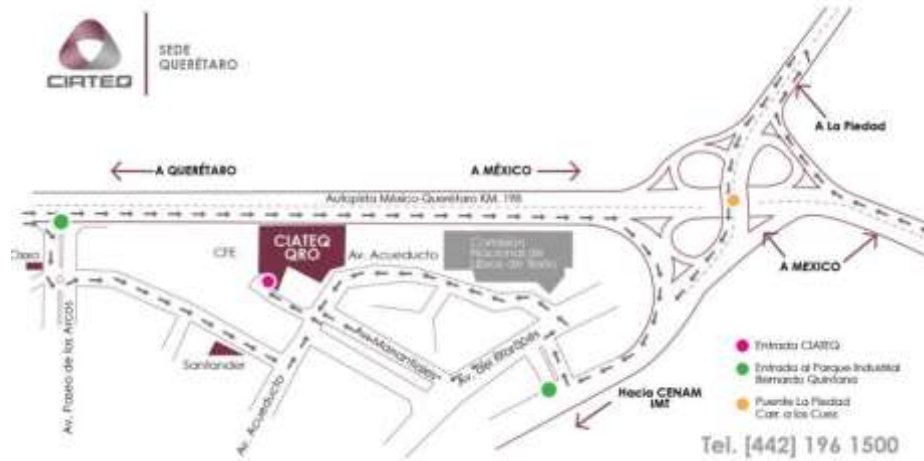


Figura 1. Mapa de ubicación

## SISTEMAS MECÁNICOS

CIATEQ, en la gerencia de Sistemas Mecánicos, realiza un trabajo sistemático para la modernización, automatización, análisis y construcción de máquinas y dispositivos, ya sea con base en conocimientos existentes o a partir de investigación, diseñados a la medida de las necesidades específicas del mercado. Asimismo, cuenta con personal especializado para el desarrollo de soluciones integrales de ingeniería en sistemas de transmisiones mecánicas de potencia y turbomaquinaria. [3]

## MÁQUINAS ESPECIALES

El área de especialidad de Máquinas Especiales está encargada del diseño, fabricación y automatización de: Máquinas y equipos para producción, dispositivos de alta precisión, Sistemas de inspección, Dispositivos de sujeción, medición, soldadura y armado.

De igual manera se encarga del diseño de productos, vehículos especiales, actuadores eléctricos de alta precisión. [3]

## PROBLEMAS A RESOLVER

Determinar el diseño óptimo del sistema de transmisión de potencia, así como la evaluación de alternativas para que éste cumpla con los requerimientos solicitados.

Eliminar los atascos de la máquina, los cuales llevan al paro de la misma, con ello, reducir tiempos muertos innecesarios causados por estos atascos.

Mantener la máquina operando a su capacidad máxima, durante la jornada de trabajo, afín de obtener la capacidad de trituración esperada.

Reducir el daño atribuido a la cavitación en el arranque de la máquina y prolongar la vida útil de las flechas de las bombas.

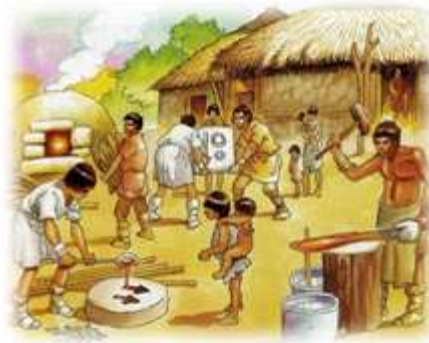
## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### RECICLAJE METÁLICO

Los metales son componentes que han sido utilizados por el hombre desde la Era más remota, tanto así que les dieron nombres a algunas de ellas: La Edad del Bronce, La Edad del Hierro, la fiebre del Oro, etc. se han encontrado minas de silicio del final de la Edad de Piedra en el centro y noroeste de Europa. Los utensilios metálicos se funden y moldean desde tiempos prehistóricos, es lo que podríamos considerar un reciclaje primitivo.

Existe en todo el mundo una amplia infraestructura de chatarreros para reciclar acero desde hace ya 100 años. Esta infraestructura industrial, prepara todo tipo de chatarra para suministrarla a las industrias siderúrgicas y fundiciones, las cuales la funden, refinan y convierten en nuevo acero. [4]



*Figura 2. Reciclaje y fundición de utensilios metálicos [5]*

De los 784 millones de toneladas anuales producidas de acero en el mundo, cerca del 43% es reciclada proveniente de chatarra. Esto equivale al peso de 150 torres Eiffel o 1,2 millones de autos cada día.

En un año normal, la industria mundial del acero a través del reciclado, ahorra el equivalente a la energía requerida para 110 millones de hogares.

Un coche de tamaño medio requiere aproximadamente, 800 kg de acero y 130 kg de metales no ferrosos. Si el nivel de propiedad de autos fuere en todo el mundo como en EE.UU., la propia producción automotriz se habría agotado por acabar todas las reservas conocidas de hierro. El reciclaje de los metales contribuye significativamente a no empeorar la situación actual de

contaminación. Al reciclar la chatarra se reduce la contaminación del agua, aire y los desechos de la minería en un 70%. Obtener aluminio reciclado reduce un 95% la contaminación, y contribuye a la menor utilización de energía eléctrica, en comparación con el procesado de materiales vírgenes. Reciclando una lata de refresco se ahorra la energía necesaria para mantener un televisor encendido durante 3 horas. [6]

Una gran ventaja del reciclaje del metal, en relación al papel, es que ilimitado el número de veces que se puede reciclar. Sin embargo presenta una desventaja, no se puede reciclar en casa.

La mayor parte de los metales que existen pueden fundirse y volver a procesarse creando nuevos metales. Metales como aluminio, plomo, hierro, acero, cobre, plata y oro son reciclados fácilmente cuando no están mezclados con otras sustancias, porque pueden ser fundidos y cambiar de forma o adoptar la misma anterior. De estos materiales, el hierro es el que tiene mayor demanda comercial.

El reciclaje del aluminio está incrementándose bastante debido a que una lata, producto de reciclaje, requiere sólo una parte de la energía necesaria para elaborar una lata similar con materias primas. Si recuperáramos todos estos metales serían una gran fuente de materias primas. [7]

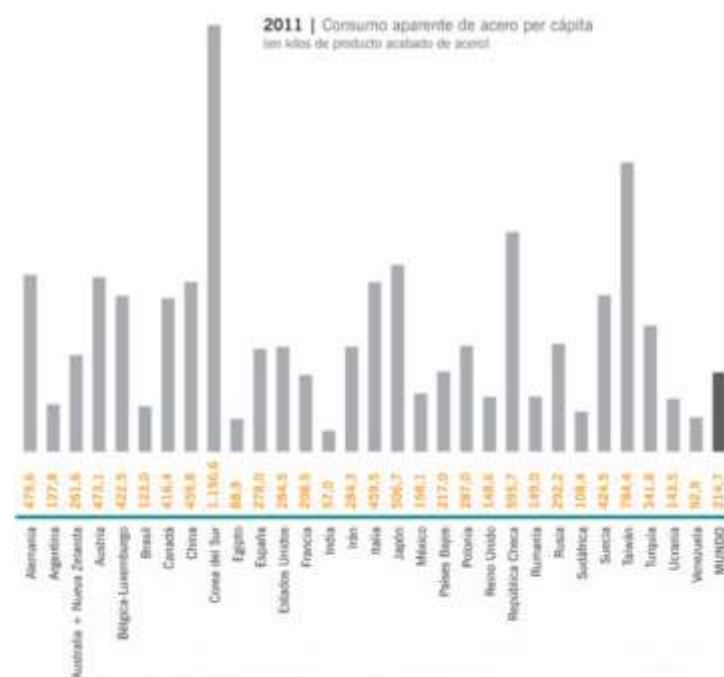


Figura 3. La industria siderúrgica española 2011 [8]

El sector siderúrgico cierra el ciclo del reciclaje del acero, más que duplicando el valor añadido con respecto a la materia prima (chatarra férrica). Hay dos diferentes procesos industriales en la actual producción siderúrgica: la siderurgia integral (horno alto y acería al oxígeno LD) y las acería de horno eléctrico.

En el primer caso, la producción de acero se realiza básicamente a partir de mineral de hierro, pero se utiliza también entre un 20% y un 30% de chatarra, que se emplea para controlar la temperatura del proceso, actuando como material refrigerante. La acería de horno eléctrico, por su parte, utiliza fundamentalmente y hasta en un 100% chatarra como materia prima.

Producción de acero en horno eléctrico a partir fundamentalmente de chatarra, por regiones <sup>(1)</sup> (en millones de toneladas)

	2001	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Asia	98,8	151,5	161,5	162,5	156,6	179,6	195,0
UE-27	71,9	83,0	84,6	82,2	61,2	72,4	75,8
América del Norte	58,9	76,0	77,7	72,4	51,8	67,6	70,6
Otros Europa	11,9	20,4	22,7	22,8	20,0	23,5	27,7
CEI	12,6	21,1	24,7	25,5	26,8	22,9	22,7
Oriente Medio	9,5	13,2	14,5	14,7	15,7	17,2	18,9
América del Sur	12,4	17,4	18,0	17,1	14,1	15,1	18,0
África	7,7	11,0	11,8	10,9	10,2	11,1	10,6
Oceanía	1,5	1,7	1,8	1,7	1,2	1,5	1,5
<b>TOTAL MUNDIAL</b>	<b>285,1</b>	<b>395,2</b>	<b>417,4</b>	<b>409,9</b>	<b>351,5</b>	<b>410,7</b>	<b>442,1</b>



Producción de acero en horno eléctrico a partir fundamentalmente de chatarra, por regiones 2011 (en porcentaje)

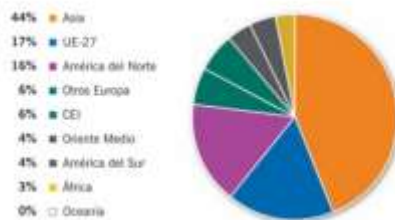


Figura 4. WORLD STEEL IN FIGURES 2012

El reciclaje es algo consustancial a la industria siderúrgica. La fabricación industrial del acero puede decirse que se inició a mediados del siglo XIX, con la invención del proceso Bessemer, que permitía la producción masiva de acero. Y ya entonces, en las grandes ciudades industriales como Londres o Nueva York, se recogían ollas, cacerolas y todo tipo de productos de acero para su reciclaje en las plantas siderúrgicas. [9]

## BENCHMARKING

### Trituradora metálica NZS HEM 1250 HAMMEL Recyclingtechnik GmbH®

El modelo NZS HEM es ideal para carrocerías, perfiles y pacas de aluminio, bloques de motor, productos de línea blanca, chatarra de metal. La trituración se realiza por discos excéntricos recientemente desarrollados y un rotor especial para el triturado. Con parrilla de cribado se alcanza una granulometría final exacta. Cuenta con un tambor magnético integrado en la salida para la separación de metales férricos y no férricos. [12]



Figura 4. Trituradora metálica NZS HEM 1250 HAMMEL Recyclingtechnik GmbH®



Trituradora metálica Q43P-630 Jiangsu Wanshida hidráulica Machinery Co., Ltd.®

La trituradora metálica Q43P-630 Jiangsu Wanshida hidráulica Machinery Co., Ltd.® está diseñada para destrozarse varios residuos. Es ampliamente utilizada en muchas áreas tales como el pre-tratamiento de la reducción de volumen, Las cuchillas de la máquina son fáciles de reemplazar.

Las palas de la máquina están diseñadas por el modelo sin ayuda y equipadas con una fijación especial para facilitar el montaje y desmontaje. Es viable para el mantenimiento y para reemplazar las cuchillas sin desmontar la máquina, su fuente de alimentación es completamente hidráulica. [13]



*Figura 5. Trituradora metálica Q43P-630 Jiangsu Wanshida hidráulica Machinery Co., Ltd.®*

A pesar de haber una amplia gama de trituradoras metálicas comerciales, el desarrollo de una trituradora metálica es necesario, debido a las diversas características específicas solicitadas, las cuales deben ser cumplidas en su totalidad para el correcto funcionamiento.

## REVISIÓN DE PATENTES

La máquina para trituración más apropiada en diseño y funcionamiento es la máquina de la patente US 5052630 A, la cual cuenta con un solo eje que realiza la trituración gracias a las cuchillas montadas en él, además, cuenta con un circuito hidráulico que detecta cualquier condición de sobrecarga e invierte el eje giratorio para comenzar la trituración en la dirección opuesta. Si se produce una condición de sobrecarga en la dirección inversa, el eje giratorio vuelve a invertirse en el sentido de giro hacia delante [10]

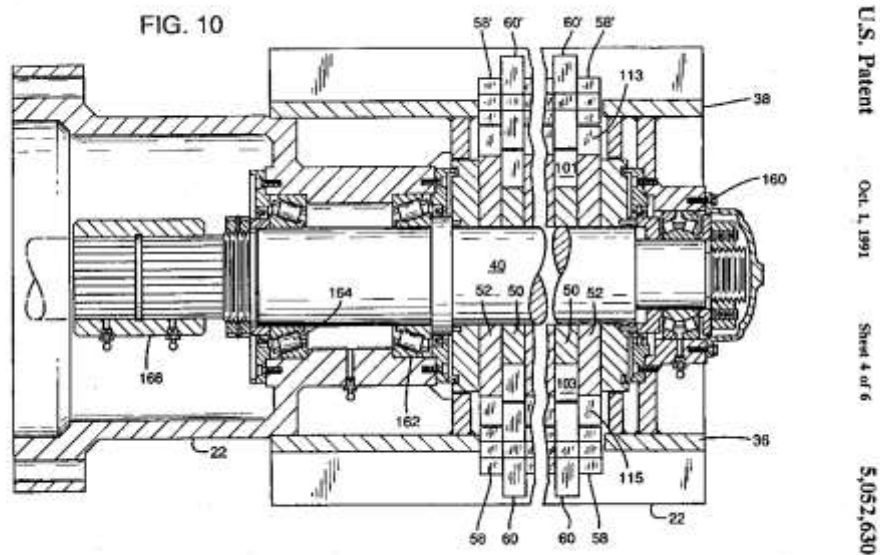


Figura 6. Máquina de patente US 5052630 A [11]

Actualmente, existen varios tipos de máquinas trituradoras para diferentes tipos de materiales, que llegan a abarcar desde rocas hasta acero, sus características específicas dependen del modelo comercial de cada una de ellas; como son el tamaño, la orientación (axial o biaxial), incluso el accionamiento (hidráulico, electromagnético, electromecánico, etc.).

## CARACTERIZACIÓN DE LAS PARTES COMUNES

Están compuestas principalmente de armazón, eje excéntrico, polea grande, volante, mandíbula móvil, placa de protección lateral, placa codo, asiento trasero de paca codo, husillo regulador de holgura, resorte restaurador, mandíbula fija y la móvil, etc.; entre cuales la placa codo también sirve de seguros.

Se adopta el acero al manganeso de alta intensidad, fundido y configurado de una vez, disponiendo las ventajas tales como resistencia a fricción y a presión, y larga vida de servicio, etc. Se aplican principalmente a la trituración de las piedras grandes, medias y pequeñas y los objetos correspondientes.

En resumen, todas las trituradoras comparten los siguientes elementos:

- Armazón
- Alimentación
- Descarga
- Elemento fijo
- Elemento móvil
- Mecanismo de accionamiento

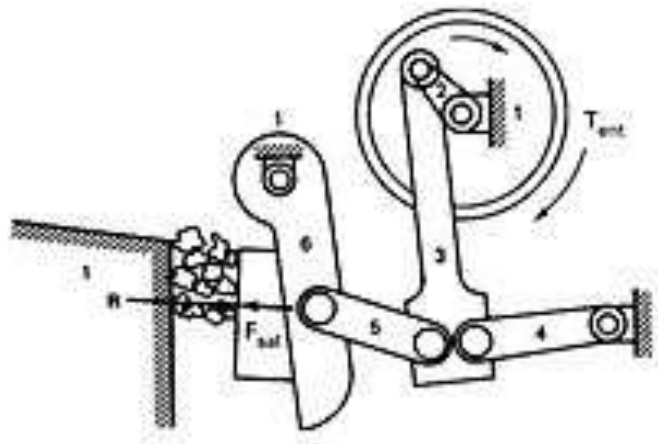


Figura 7. Esquema básico de una trituradora

## ESTADO DEL ARTE

Las patentes que se han desarrollado, los conceptos que han sido pioneros antes de que las patentes fueran emitidas, todo relacionado con el desarrollo de máquinas de trituración industriales, se presentan a continuación. En general, estas patentes describen la mayor parte de ésta tecnología, las palabra clave utilizada en la búsqueda de dichas patentes fue *shredder*.

### 85067-EIDAL, BURDA

La patente emitida como 85067 fue citada por el equipo de patentes legales de Culbertson en documentos de investigación, como la primer patente y tecnología real en la aplicación de una trituradora de doble eje de corte en 1858, y aunque no muestra el verdadero diseño sólido de corte coaxial de ésta, es probablemente la base para todas las trituradoras de corte, o el primer documento patentado que muestra la tecnología.

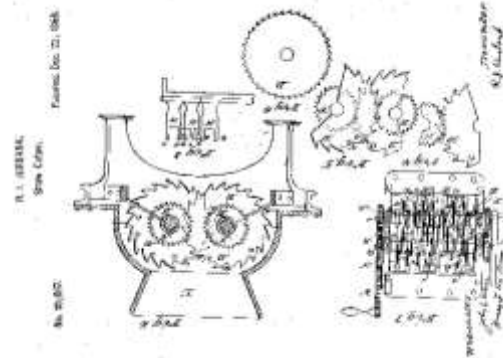


Figura 8. Patente 85067

### 3356016-EIDAL, BURDA

La patente publicada 3356016 muestra el primer número de una solicitud de patente para un molino vertical de martillos, para uso en la destrucción de automóviles. Ésta era la primera línea comercialmente acertada de las destructoras de coches en el mundo, usando la tecnología vertical de la trituradora o del molino.

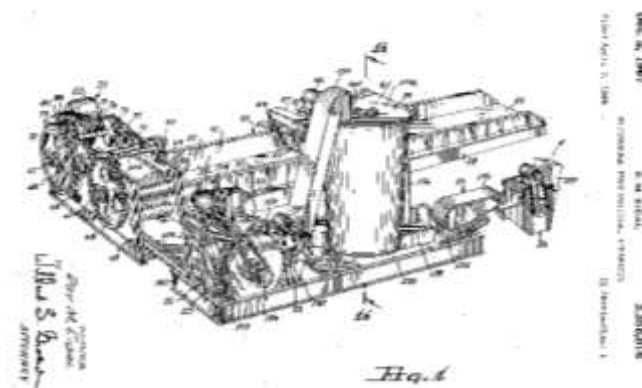


Figura 9. Patente 3356016

3502276-EIDAL, BURDA

Esto es lo que llamamos la trituradora Bloapco o la trituradora de acero Rip dependiendo del diseño.

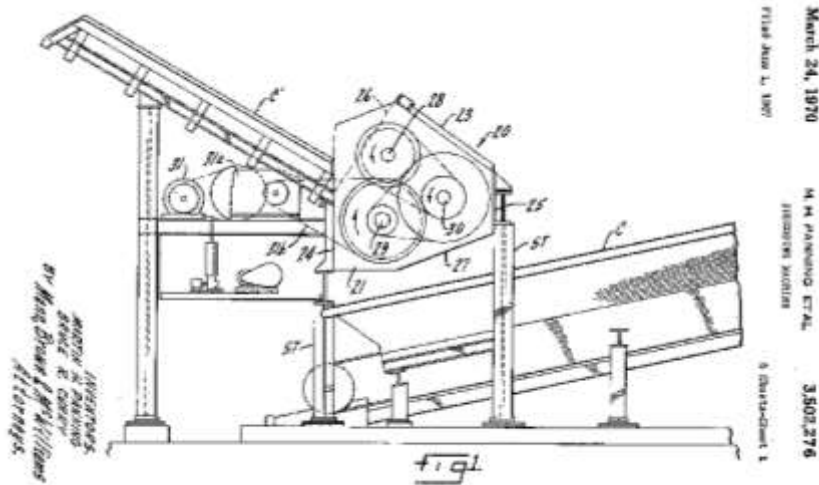


Figura 10. Patente 3502276

3587985-EIDAL

La famosa trituradora Eidal de dos cilindros que fue copiada por el grupo Dravo, fue pionera en el uso de una destructora de doble rotor. Este diseño es el único diseño de su clase y no hay otras empresas en el mundo para hacer este diseño aún hoy desde su patente en 1971. La tecnología y las patentes fueron adquiridos por la familia Burda en 1983 de la división Pangborn de Carborundum en Hagerstown , Maryland.

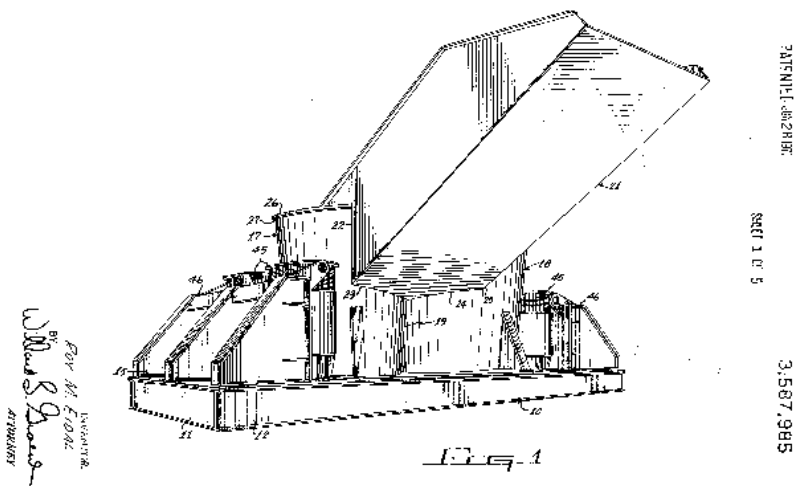


Figura 11. Patente 3587985

**4504019-NEWELL, ALTON S.**

Consiste en un molino de martillo para tratar chatarra que incluye un martillo giratorio para dar golpes de impacto a la chatarra metálica. Se proporcionan rejillas de descarga para disponer la chatarra a través de las salidas de descarga para el molino de martillos. El rotor es un tipo de disco con martillos giratorios situados en pasadores que se extienden a través de los discos. Una gran cantidad de tapas están situadas circunferencialmente alrededor de cada disco y unidas a él para proteger el disco contra el desgaste excesivo. Un rodillo de alimentación doble alimenta la chatarra al molino de martillos para ser triturado.

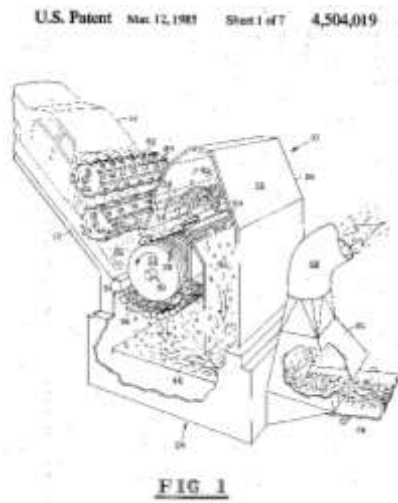


Figura 12. Patente 4504019

**EP 0873791 A2-JENNERJOHN, DENNIS A.**

La invención se refiere a rotores para trituradoras y molinos de martillos. En particular, se refiere a un rotor que tiene un exterior sin perforar, generalmente sin ranuras y que proporciona una acción de corte completa a través de un eje del rotor.

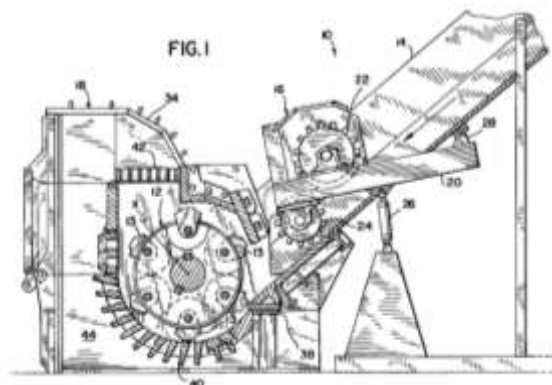


Figura 13. Patente EP 0873791 A2

4609155-GARNIER, BURDA

Esta es una patente que se basa en las solicitudes de patente que fueron hechas por Dan Burda en 1982 para la detección de atascos y el control de la trituradora, para poner en reversa las máquinas y desatar las trituradoras.

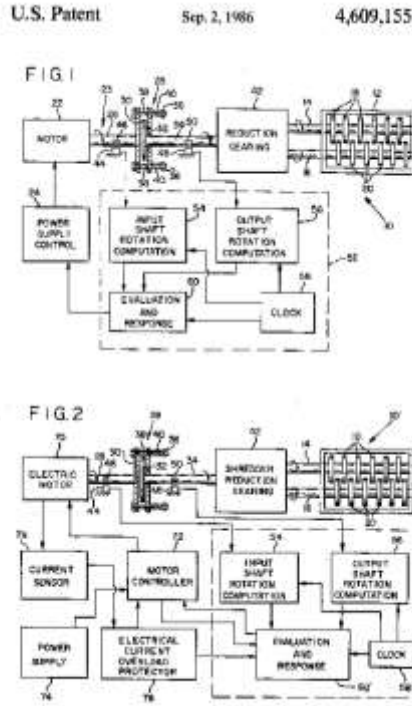


Figura 14. Patente 4609155

20140203124-JOSÉ ÁNGEL ARRIETA GONZÁLEZ

Se refiere a una máquina que tritura diferentes tipos de desechos metálicos en fragmentos, la cual tiene éxito en el logro de una calidad de trituración similar a la de las instalaciones estacionarias y tiene la característica de ser móvil.

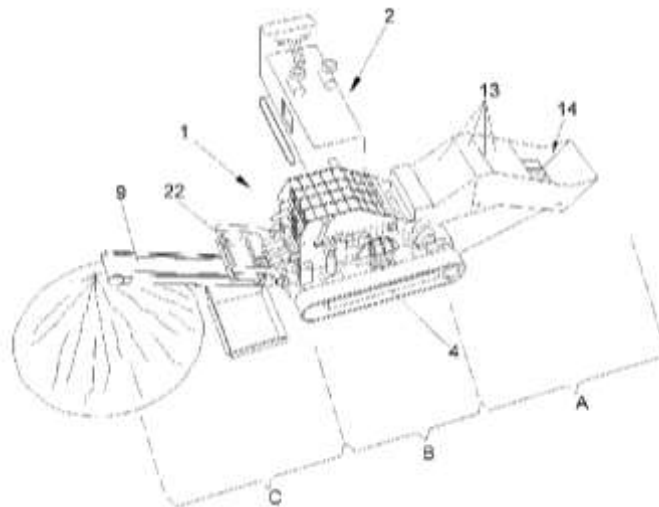


Figura 15. Patente 20140203124

## CAPÍTULO III

### INGENIERÍA CONCEPTUAL

La máquina trituradora metálica debe realizarse con el objetivo final de triturar acero ASTM A36 con las siguientes propiedades mecánicas:

- Espesor: 3.5 mm (14 in)
- Módulo de elasticidad (E): 207 GPa
- Esfuerzo de cedencia ( $S_y$ ): 248 MPa
- Esfuerzo último ( $S_u$ ): 517 MPa
- Deformación unitaria elástica: 0.0012
- Deformación unitaria de ruptura: 0.3
- Módulo de resiliencia:  $148 \times 10^3 \text{ N-m} / \text{m}^3$
- Módulo de ruptura:  $155.2 \times 10^6 \text{ N-m} / \text{m}^3$

Para la conceptualización de la máquina se eligió un molino de martillos, por su amplio rango en aplicaciones de trituración, ya que son capaces de triturar piedras y metales; aunado a esto se prefiere que la máquina tenga un solo rotor y perfiles de tipo campana.

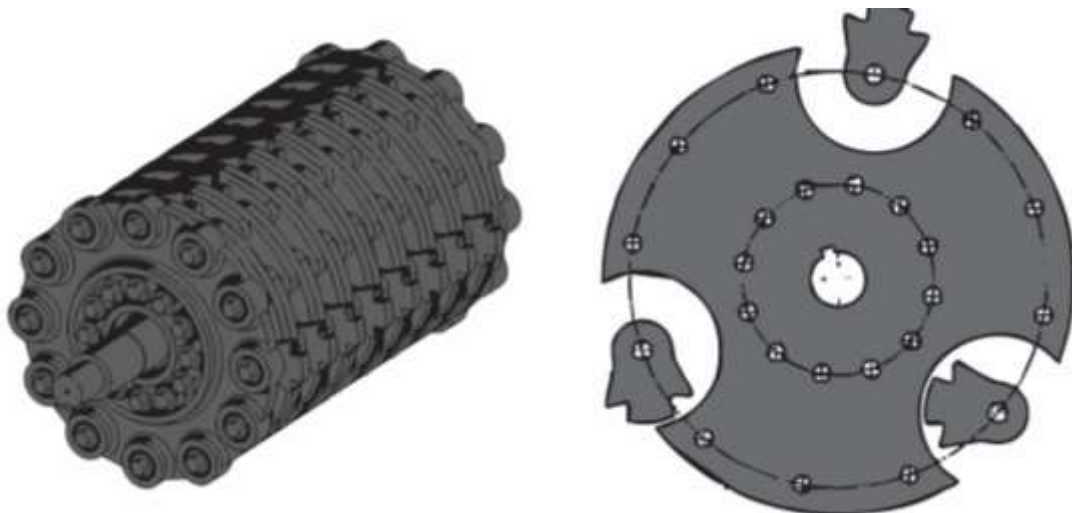
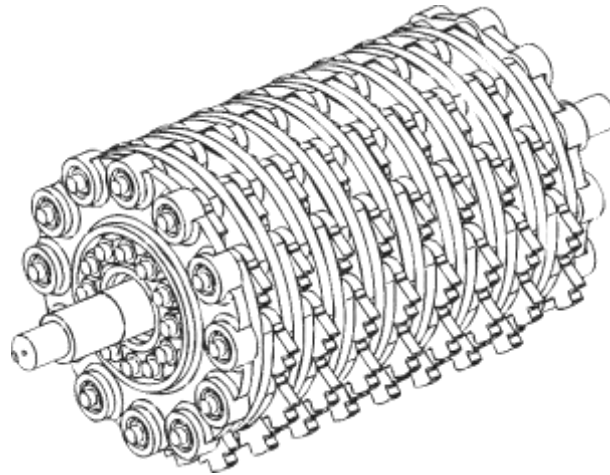


Figura 16. Modelo de rotor tipo molino de martillos con funcionamiento de martillos y discos alojadores



## CÁLCULOS Y DISEÑO DE LAS PARTES

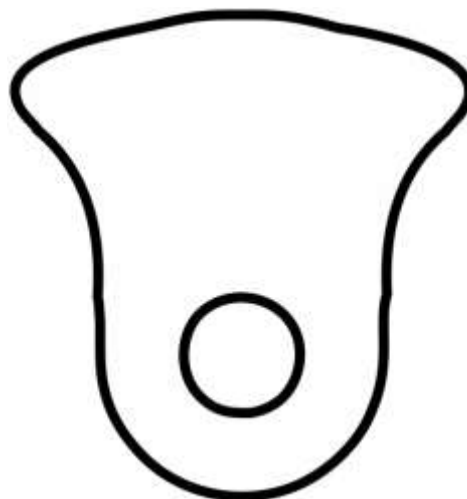
La trituradora está construida en lámina y perfiles de acero, en la parte superior posee una tolva de ingreso para regular la chatarra que ingresa, el rotor está hecho de acero, calibrado y montado sobre dos rodamientos. En el eje están montados los discos; entre los discos están montados los martillos para golpear la chatarra.



*Figura 17. Rotor tipo molino de martillos*

### MARTILLOS

Los martillos están espaciados de manera proporcional; de tal modo que pueda haber 3 martillos por disco.

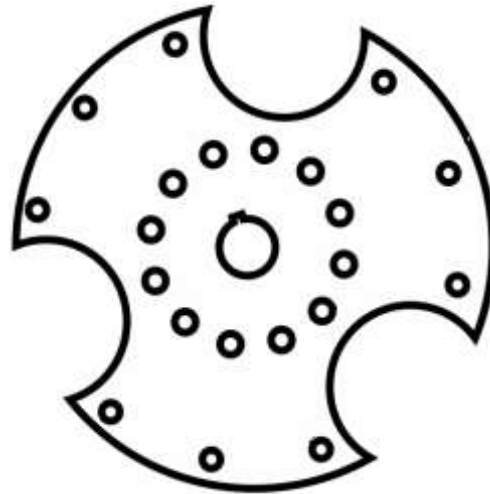


*Figura 18. Martillo triturador*

Están diseñados de tal modo que con cada golpe por pasada, se vuelven más duros.

## DISCOS

En los espacios de los discos se acoplan los martillos que a su vez, sirven de soporte para los martillos.



*Figura 19. Disco de trituradora*

Los martillos giran libremente, impulsados por el rotor de la máquina para aplastar con alta velocidad, tanto de presión como de rotación. El hecho de que giren libremente, hace que la máquina sea capaz de realizar trituración seca y mojada; además, si se cambia el sentido de rotación, asegura una mejor calidad de trituración de los materiales.



*Figura 20. Representación básica del funcionamiento del molino de martillos*

## CAPÍTULO IV

### INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE

#### DISEÑO ESTÁTICO

En el siguiente diagrama se aprecia cómo están distribuidas las cargas a través del eje.

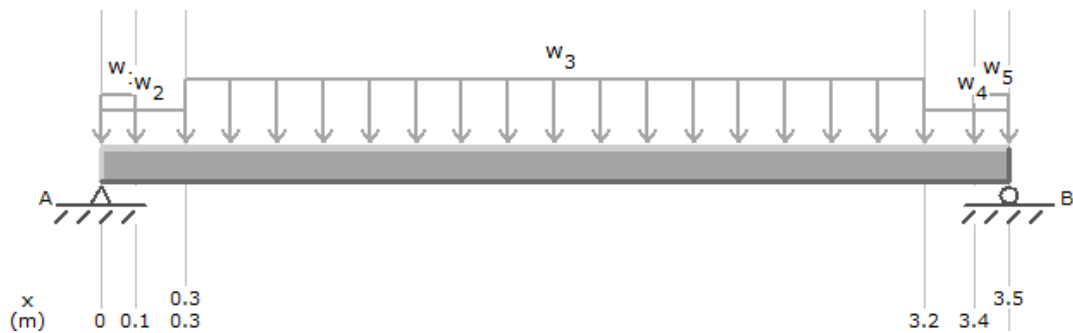


Figura 21. Cargas distribuidas a través del eje

Las cargas están distribuidas de manera uniforme en ambos lados del eje, por lo que podemos deducir que las fuerzas reactivas serán las mismas tanto para A como para B.

Las cargas mostradas en el diagrama, tienen valores que deben ser llevados a unidades de fuerza para poder realizar el análisis estático, los cuales dependen de la distancia en las que están distribuidas, los cuáles son:

- $W_1=W_5=18000 \text{ N/m}$  distribuida en **0.131 m**
- $W_2=W_4=1268.6617 \text{ N/m}$  distribuida en **0.32598 m**
- $W_3=215746.3 \text{ N/m}$  distribuida en **2.84807 m**

Con estos datos, podemos obtener las fuerzas que actúan sobre el eje, con ellas podemos obtener las fuerzas de reacción para realizar los diagramas respectivos de la viga.

- $F_1=F_5=2358 \text{ N}$
- $F_2=F_4=413.5583396 \text{ N}$
- $F_3=614460.5646 \text{ N}$
- $F_A=F_B=310001.8407 \text{ N}$

Apoyados en MD Solid, podemos hacer los diagramas aproximados de “fuerza cortante” y “momento flexionante” respectivos para la viga.

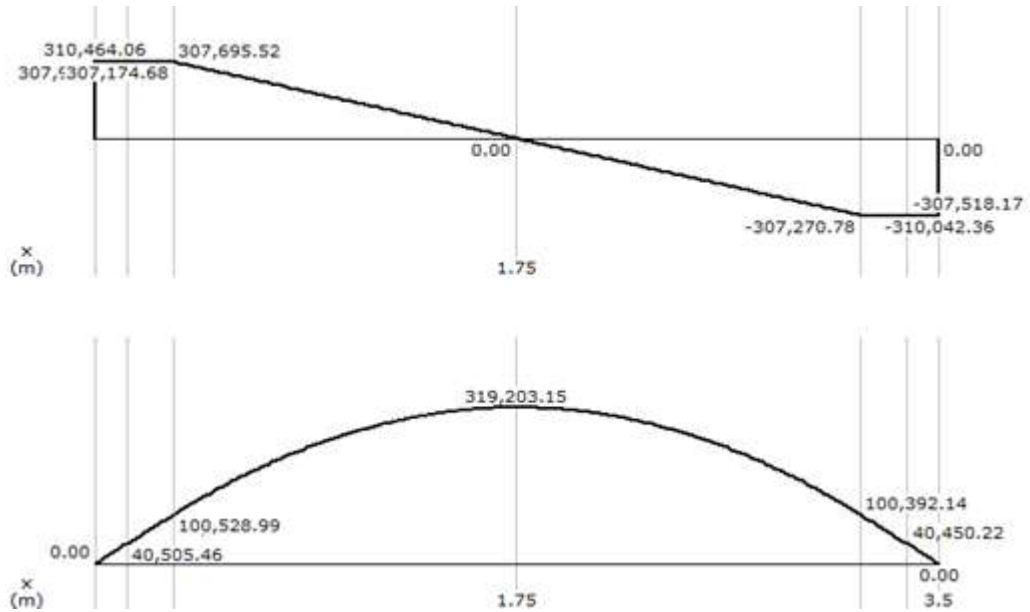


Figura 22. Diagramas de “fuerza cortante” y “momento flexionante”

La viga está compuesta por dos secciones, las secciones son iguales en ambos lados con valores de inercia de:

- $I_1=0.000191748 \text{ m}^4$
- $I_2=0.005181665 \text{ m}^4$

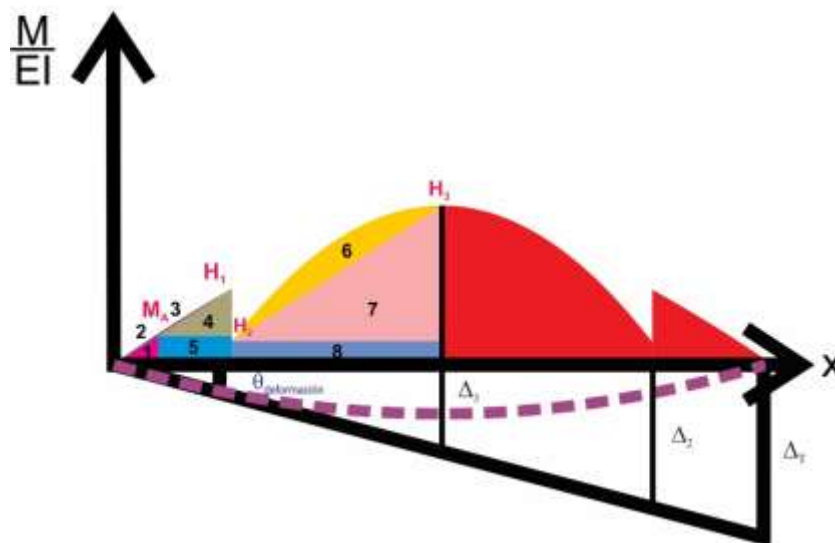


Figura 23. Diagrama de momento para viga de sección variable

## DEFORMACIÓN DEL EJE

La deformación máxima del eje se presenta a la mitad, aplicando el método de área de momentos, considerando las 8 figuras que se presentan en esa porción de la gráfica y corroborando haciendo ecuaciones por tramos, podemos obtener las áreas correspondientes y encontrar qué valor tiene la deformación máxima a la mitad de la viga, el cuál es:

$$\delta_{\text{Total}} = \mathbf{0.000566727 \text{ m}}$$

## CAPACIDAD DE LA TRITURADORA

El equipo debe estar preparado para la cumplir con la producción para la cual fue solicitado.

La capacidad de la molienda es el primer parámetro requerido para diseñar el molino, se necesita triturar 25 toneladas por jornada laboral (8 horas), es decir, se tiene que moler 3.125 Ton/hr. Si se parte de la siguiente conversión de unidades, se puede obtener aproximadamente cuántos “chicharrones” se deberán triturar por minuto para cumplir la capacidad requerida de trituración.

$$3.125 \frac{\text{Ton}}{\text{h}} \cdot \frac{1000000 \text{ gr}}{1 \text{ Ton}} \cdot \frac{1 \text{ chicharrón}}{1500 \text{ gr}} \cdot \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} = \mathbf{34.72 \text{ chicharrones por minuto}}$$

Si se divide esta cantidad entre la velocidad angular a la que estará trabajando la trituradora, se obtiene aproximadamente el número de chicharrones que se deberán obtener por cada revolución del eje del motor.

$$\frac{34.72 \frac{\text{chicharrones}}{\text{minuto}}}{700 \text{ RPM}} = \mathbf{0.049603175 \text{ chicharrones por revolución del eje}}$$

## ANÁLISIS DINÁMICO DE LOS ELEMENTOS TRITURADORES

Los elementos que estarán en movimiento constante para llevar a cabo la operación de triturar son el rotor y los martillos.

El diseño del martillos es fundamental en el molino, ya que esta pieza será la que produzca que el material se fracture y se haga chicharrón al momento del choque entre ambos.

Mediante un análisis en ANSYS, se determinó que la energía necesaria para deformar el acero es equivalente a dejar caer un objeto metálica de 24.7 kg desde una altura aproximada a los 50 m.

La energía de ruptura se puede interpretar como energía potencial, la cual se puede calcular en base a los datos obtenidos de la simulación.

$$E_{RUPTURA} = mgh = 24.7 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 50 \text{ m} = \mathbf{12115.35 \text{ J}}$$

### CÁLCULO DE TORQUE Y POTENCIA EN EL RODILLO

El tiempo para que la máquina estabilice su funcionamiento es alrededor de 600 segundos. Procedemos a calcular la aceleración angular de la máquina, tomando en cuenta que la máquina parte del reposo y la velocidad de trabajo es de 700 RPM; lo que significa la velocidad angular inicial es 0 y la velocidad de trabajo debe ser convertida a unidades congruentes.

$$\omega = \omega_0 + \alpha t$$

$$\alpha = \frac{\omega}{t} = \frac{73.3038 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{600 \text{ s}} = \mathbf{0.122173 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}}$$

Con la aceleración angular podemos calcular el torque se genera en el rodillo.

$$T = I\alpha$$

La inercia del eje es de 233.6593 kgm<sup>2</sup>, la cual es calculada con la ecuación y las medidas presentadas a continuación.



Figura 24. Dimensiones del rotor

$$I = \frac{\pi \cdot D^4 \cdot \rho \cdot l}{32} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot (0.25)^4 \cdot 7850 \cdot 0.32598}{32} + \frac{\pi \cdot (0.57)^4 \cdot 7850 \cdot 2.84807}{32} = \mathbf{233.6593 \text{ kgm}^2}$$

Utilizando la aceleración previamente calculada, procedemos a calcular el torque.

$$T_{Impacto} = (233.6593 \text{ kgm}^2) \left( 0.122173 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \right) = \mathbf{28.54687 \text{ Nm}}$$

Tomando los valores del torque y considerando que al transmitir la velocidad por poleas, se pierda el 30% de la velocidad a la que está trabajando el rotor, tenemos:

$$P = T \omega_{Final}$$

$$P = (28.54687 \text{ Nm}) \left( 51.31268 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right) = \mathbf{1464.816 \text{ Watts}}$$

### TORQUE RESISTIVO INERCIAL DE LA MASA RODANTE

En nuestro sistema de impacto tenemos 32 elementos que contribuyen o inhiben (dependiendo su posición) al aumento de inercia, estos elementos son los martillos, los cuáles ejercen una fuerza de 221.46075 N por martillo.

Para calcular el torque producido por los martillo respecto al centro del rotor, utilizamos la siguiente ecuación.

$$\sum M_O = W_{Martillo} \cdot d$$

La posición aproximada que los martillos tienen al momento de girar, se presenta a continuación, con ello también las distancias perpendiculares que se necesitan para calcular el torque.

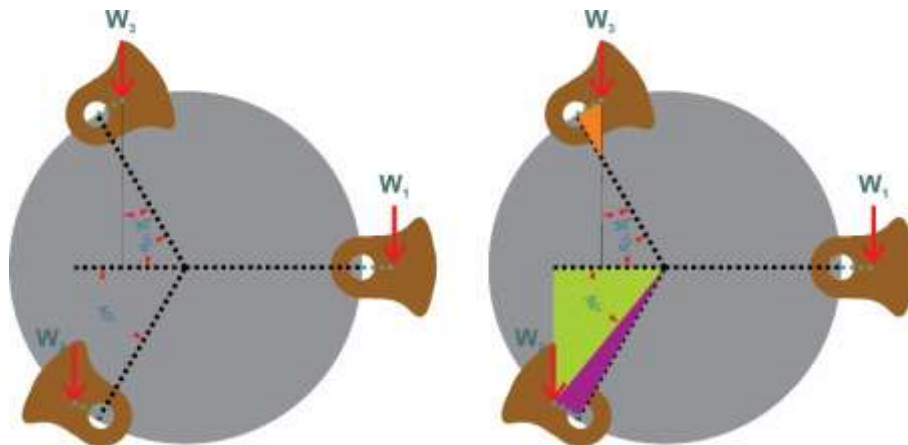


Figura 25. Posición aproximada de los martillos al momento de triturar

Como el eje de martillos gira a velocidad angular constante, realizaremos el análisis estático de fuerzas totales.

$$\sum M_O = -W_1 \cdot d_{W_1} + W_2 \cdot d_{W_2} + W_3 \cdot d_{W_3}$$

Para obtener los momentos resultantes por los pesos de los martillos, tenemos que utilizar las distancias perpendiculares.

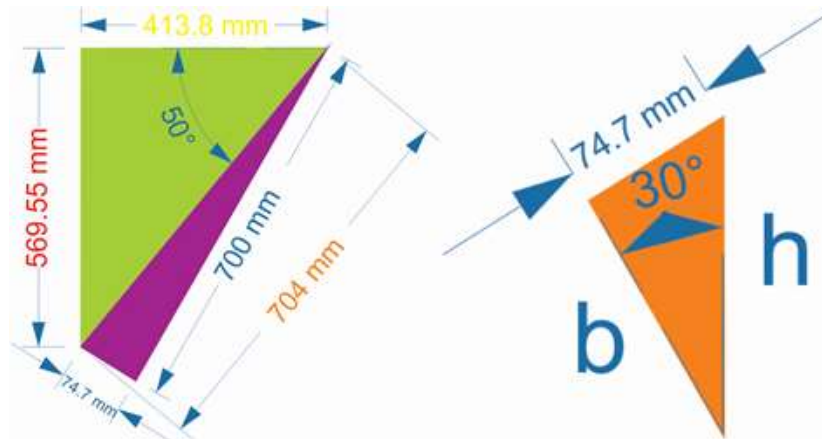


Figura 26. Distancias formadas por el posicionamiento de los martillos

Utilizando los ángulos que forman, las medias del rotor, las del martillo y aplicando trigonometría se pueden encontrar las distancias faltantes.

$$d_{W_3} = R_{Rotor} - B_{Triángulo_3} \cos(60)$$

$$d_{W_2} = A_{Triángulo_2}$$

Para las medidas del triángulo con  $W_3$ , se procede de la manera siguiente:

- $H = (0.0747 \text{ m}) / \sin(30^\circ) = \mathbf{0.1494 \text{ m}}$
- $B = (0.1494 \text{ m}) (\cos(30)) = \mathbf{0.12938 \text{ m}}$

Habiendo calculado todas las distancias, podemos calcular el momento que producen los martillos.

Sustituyendo los valores, tenemos que:

$$\sum M_O = \mathbf{9.481617 \text{ Nm}}$$

La máquina cuenta con 4 discos iguales, así que en total se cuenta con un torque de 37.92647 Nm.

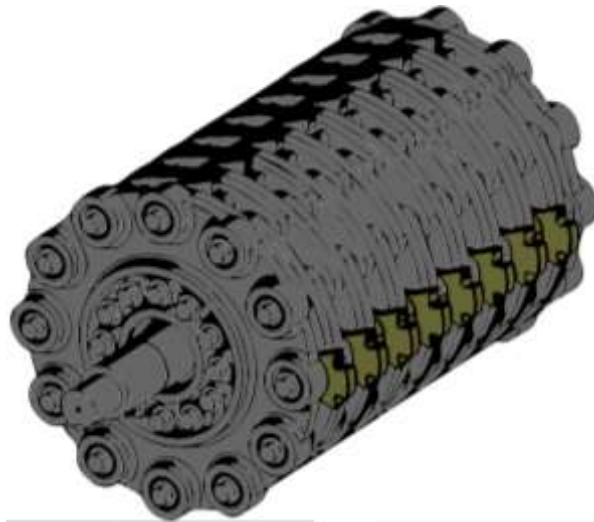
Para calcular el torque disponible en la máquina, se utiliza la ecuación que continúa.

$$T_{Total} = T_{Impacto} + M_O = 28.54687 \text{ Nm} + 37.92647 = \mathbf{66.47333 \text{ Nm}}$$



Los cálculos realizados son necesarios para conocer si el motor empleado en la trituradora es el adecuado para el proceso de despedazar el acero, de este modo nos aseguramos de que la fuerza, el torque y la potencia, sean los valores adecuados para eliminar los tiempos muertos causados por paros en la trituradora en su intento de cizallar materiales más gruesos o en mayor cantidad, la cual se ve obligada a parar porque, en caso de no realizar los cálculos de manera correcta, es incapaz de aplicar la energía necesaria para que el acero se vuelva “chicharrón” y continúe su trayecto dentro de la máquina sin causar ningún tipo de inconveniente.

Es necesario asegurarse de que se están transmitiendo; si no en su totalidad en su mayor parte, los valores calculados hacia los martillos, ya que ellos efectúan los cortes primarios, le dan forma al acero e incluso logran frenar al rotor, lo cual afecta a los cortes secundarios y hay que asegurarse de que la energía perdida afecte lo menos posible a la trituradora para evitar los atascos.



*Figura 27. Martillos posicionados para la trituración del acero*

## DISEÑO BÁSICO ALTERNATIVA DE BASE

Antes de la descripción de los elementos y el diseño que decidió utilizarse para las estructuras que sirven de base, se debe mencionar que no fue la primera alternativa para la trituradora.

Se propuso inicialmente, el modelo mostrado en la siguiente figura. Sin embargo, al analizar la funcionalidad de la máquina se encontró dificultad para cumplir las labores que debía desempeñar. Por tal motivo se optó por el diseño que se describirá en breve, el cual, a pesar de ser más robusto, fue óptimo de acuerdo a su funcionalidad.

La base para la trituradora estaba diseñada con vigas de acero (perfil I), y la rejilla era sostenida con actuadores. A pesar de que este diseño no fue utilizado, se tomaron elementos de él para conformar el diseño definitivo, modificando algunas de sus características.

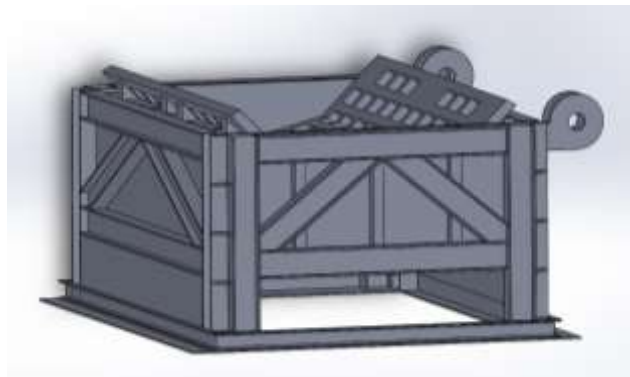


*Figura 28. Alternativa de base (vista isométrica)*

## DISEÑO DE BASE

### Estructura base

Se integran columnas, vigas y láminas de resguardo de acero que sirven para tener una base sólida.

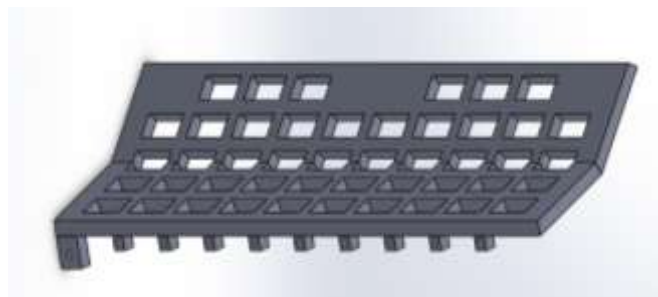


*Figura 29. Elemento estructural base*

### Media rejilla

Acoplada a otra rejilla similar, son montadas sobre la base y aseguradas con tornillos 1.5 in X 7, grado 8.

El material procesado también sale atravesando la rejilla.

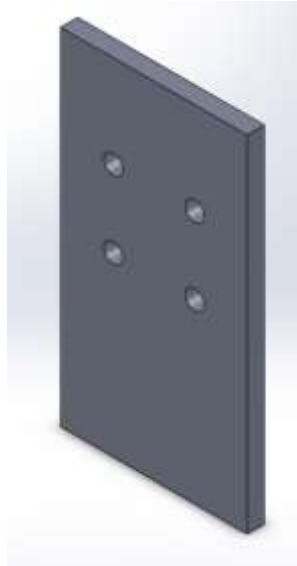


*Figura 30. Media rejilla*

## DISEÑO DE PARTE MEDIA

### Placa de soporte para carcasa superior

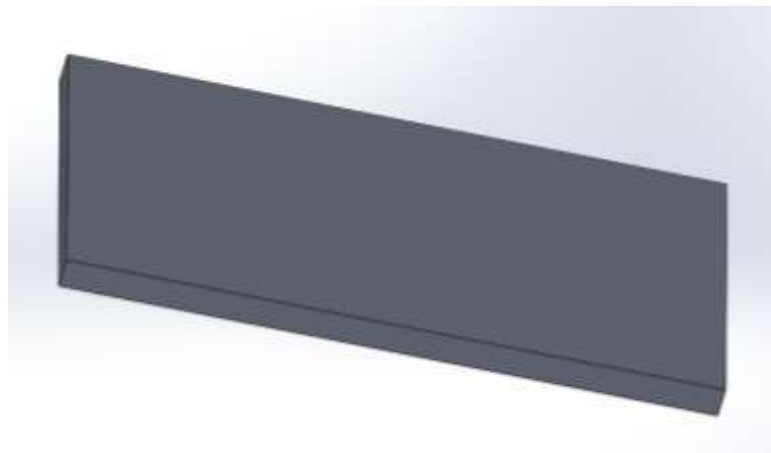
La carcasa superior es acoplada a la base y a ésta estructura con la ayuda de un cartabón de fijación.



*Figura 31. Placa de soporte para carcasa superior*

### Placa de soporte para carcasa superior

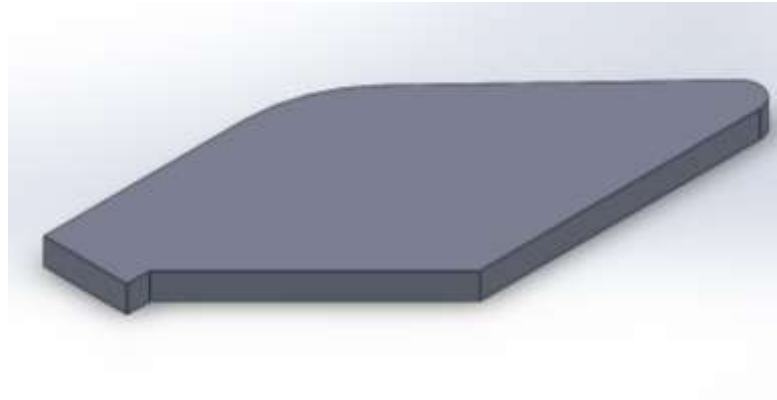
La carcasa también es montada sobre esta placa; además se montan sobre ella la tapa del rotor y la carcasa inferior.



*Figura 32. Placa de soporte para carcasa superior*

### Cartabón chumacera

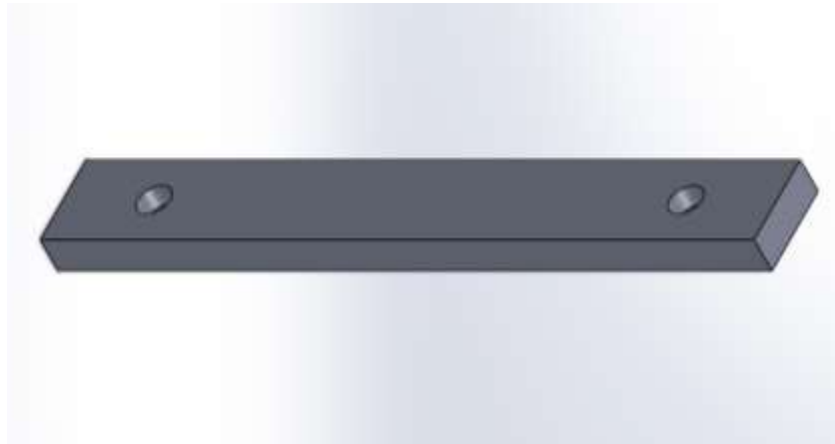
Ayudan a soportar el peso de la chumacera, en la cual está montada el rotor.



*Figura 33. Cartabón chumacera*

### Inserto para placa de sacrificio

Mantienen fija la placa de sacrificio, a su vez ayudan a la recolección del material procesado.



*Figura 34. Inserto para placa de sacrificio*

### Viga lateral

Diseñada para acoplarse al lado más largo de la base y darle firmeza a esta sección de la máquina trituradora.



*Figura 35. Viga lateral*

### Viga frontal

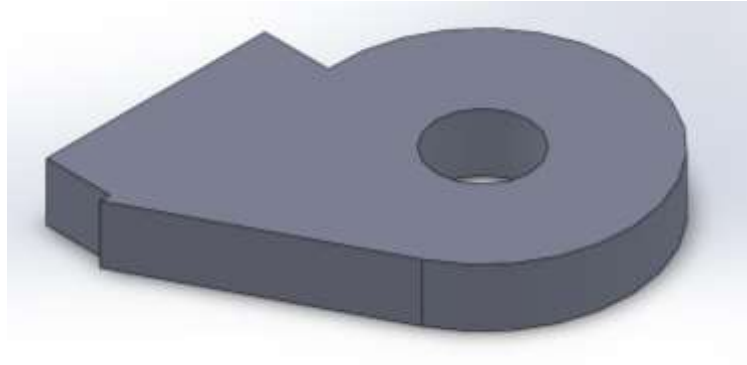
Diseñada para acoplarse al lado más corto de la base, aunado a las otras vigas, le dan la forma, el tamaño y la firmeza a esta parte de la trituradora.



*Figura 36. Viga frontal*

### Bisagra 1

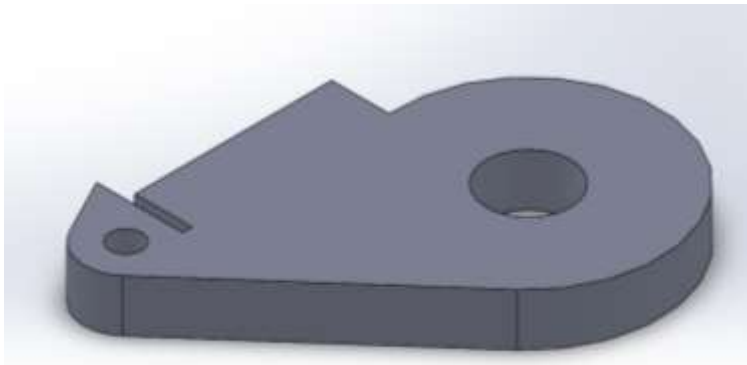
Está diseñada para ir acoplada a bisagras ubicadas en la base de la trituradora.



*Figura 37. Bisagra 1*

### Bisagra 2

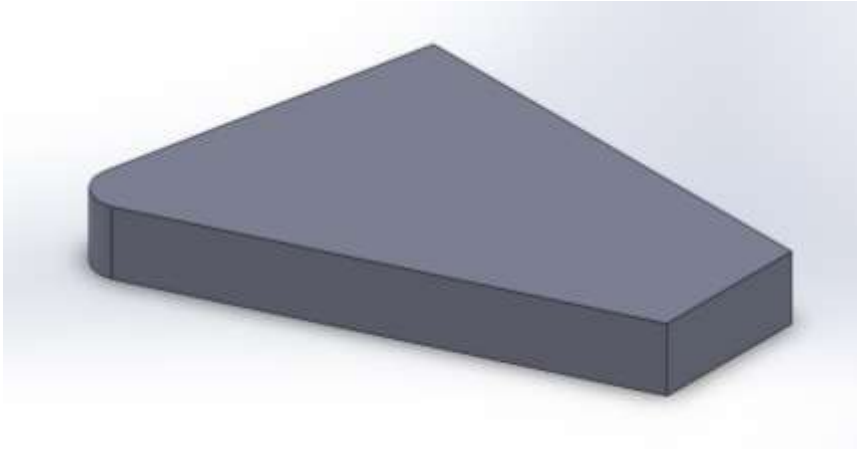
Diseñada para ir acoplada a bisagras ubicadas en la base y para uniones a placas sólidas de la rejilla localizadas en la carcasa superior.



*Figura 38. Bisagra 2*

### Cartabón placa de sacrificio

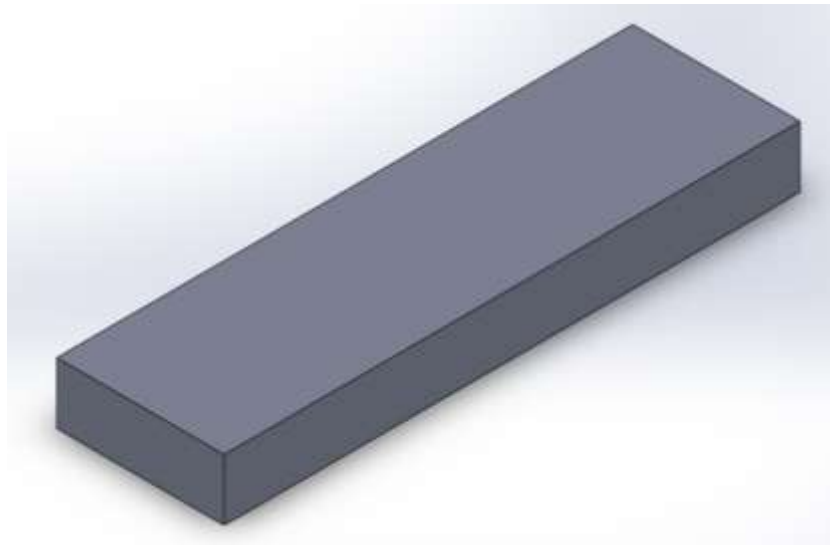
Proporciona la inclinación y la firmeza para la placa de sacrificio.



*Figura 39. Cartabón placa de sacrificio*

### Cartabón para viga

Proporcionan firmeza para las vigas frontales que forman la estructura.



*Figura 40. Cartabón para viga*



## Placa rejilla

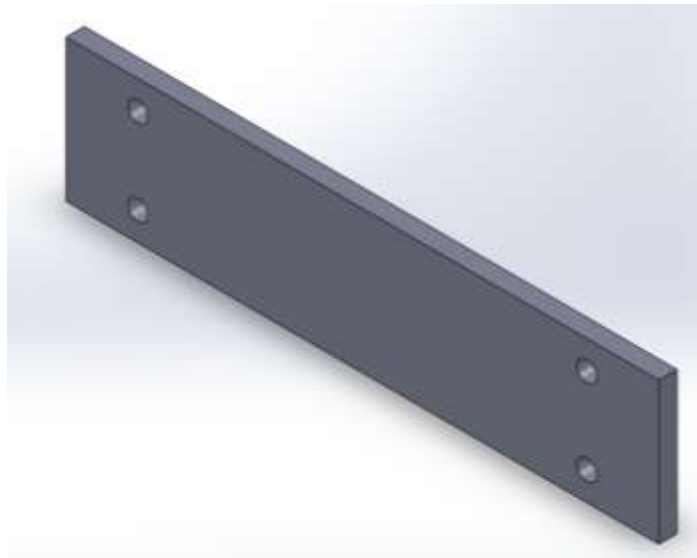
Se montan en la viga frontal, cartabones de placa de sacrificio y en los insertos para la placa de sacrificio, apoyan también para la recolección del producto procesado.



*Figura 41. Placa rejilla*

## Soporte chumacera

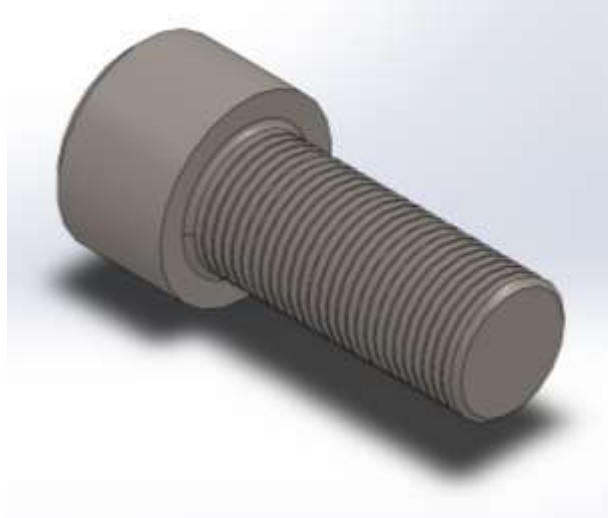
Ayudan a mantener la chumacera perfectamente ensamblada y le da la elevación adecuada para mantener al rotor al nivel que debe tener.



*Figura 42. Soporte chumacera*

### Tornillo 0.75-1.5

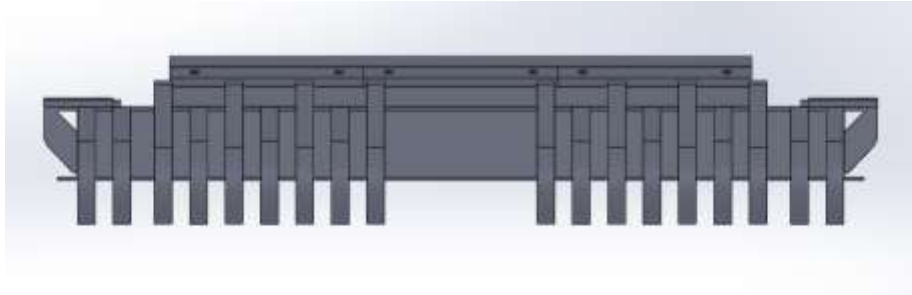
Mantienen a los insertos para la placa de sacrificios fijos a la placa de sacrificio a los cartabones que sostiene a la placa.



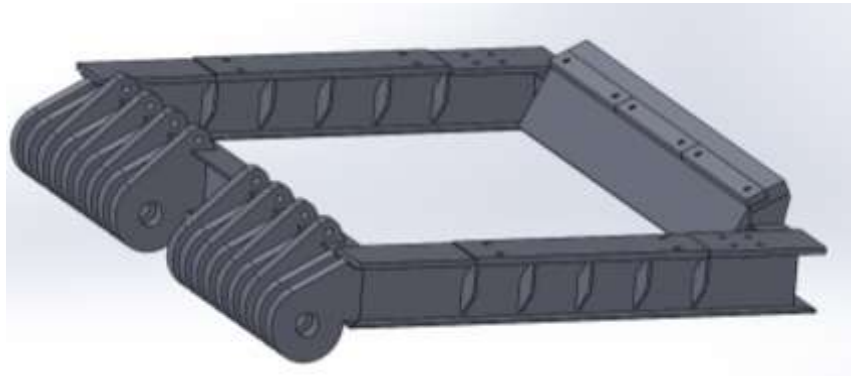
*Figura 43. Tornillo 0.75-1.5*

### Ensamble final de parte media

De acuerdo con los requerimientos iniciales se diseñó la estructura de la trituradora para que tuviera la rigidez necesaria para soportar todas las cargas existentes al momento de operar la máquina e incluso cuando no lo esté.

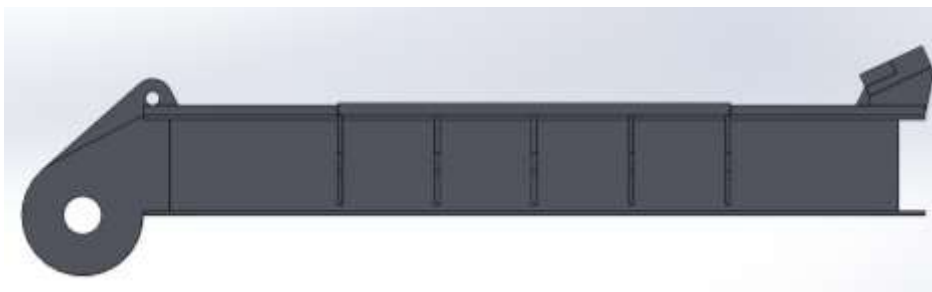


*Figura 44. Vista frontal de parte media*



*Figura 45. Vista isométrica de parte media*

De igual forma cuenta con bisagras que permiten poder darle mantenimiento a la máquina, separar las estructuras para desprender chatarra metálica que pueda quedar atorada y también para dar mantenimiento a los martillos.



*Figura 46. Vista lateral de parte media*

## LIMITACIONES

Las principales limitaciones se encuentran en los requerimientos de circuitos hidráulicos y la potencia del motor que se aplicarían a la trituradora.

Clasificando las limitaciones de la siguiente manera:

(α) Si algún requerimiento solicitado es muy alto y hay una repercusión importante en los circuitos hidráulicos.

(β) Si algún requerimiento solicitado es muy alto y hay repercusión importante en la potencia del motor.

(ε) Si hay repercusión importante en los sistemas de transmisión de potencia.

(ε) Requerimiento inconsistente con otros puntos.

(φ) Requerimiento que pone en gran riesgo *el performance* del sistema hidráulico e incrementa de forma importante la complejidad del circuito. El requerimiento puede hacer que no se cumplan los tiempos de ciclo.

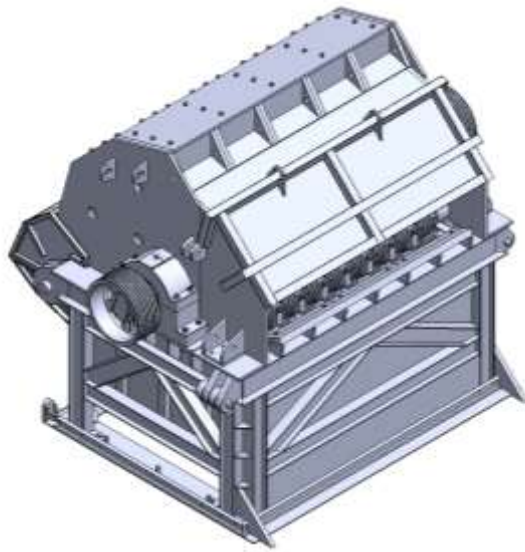
(π) Requerimiento no definido claramente.

Por este motivo, se contará con el apoyo del área de Control y Electrónica para la realización de todos los requerimientos de control, conexiones eléctricas e hidráulicas solicitadas para el proyecto en caso de que puedan ser alcanzados o en su defecto modificados con la aprobación del cliente.

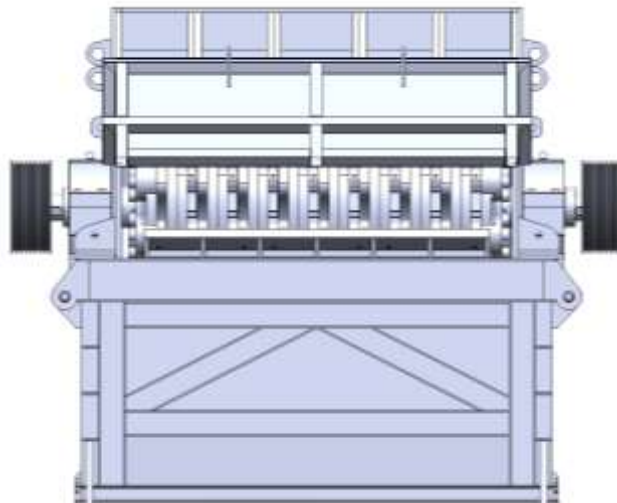
De igual forma, el proyecto se vería afectado en la etapa de manufactura, debido a la cantidad de proyectos que se realizan en el área que se encargaría de la fabricación y el ensamblaje. Esta sería una limitación importante para la finalización total de la trituradora.

Otro aspecto de importancia para considerar es el aspecto financiero, debido a los costos de generación del proyecto, ya que este debe ser autorizado para dar marcha a la compra de los materiales y equipos para la construcción del prototipo. Y si éste llevase más gastos de los previstos o la fluctuación de la moneda nacional podría verse interrumpido.

## Ensamble general de trituradora metálica



*Figura 47. Vista isométrica de trituradora metálica*



*Figura 48. Vista lateral de trituradora metálica*

## SELECCIÓN DEL MOTOR

De acuerdo a las especificaciones dadas se necesita un torque proporcionado por motor diésel de 1700 N-m para triturar el acero sin tener ningún paro, por tanto se seleccionó un Motor Cummins VTA 1710 el cual, de acuerdo con sus especificaciones, cumpliría con los requisitos ya que este modelo puede proporcionar hasta 2000 N-m de torque.



Figura 49. Motor Cummins VTA 1710

El motor diésel es la unidad que hace funcionar de manera correcta a la trituradora. En conjunto con los motores hidráulicos se realiza el proceso de machacar el acero, ya con ayuda de ellos el rotor y los martillos giran con la energía necesaria para llevar la chatarra metálica al “chicharrón” metálico.

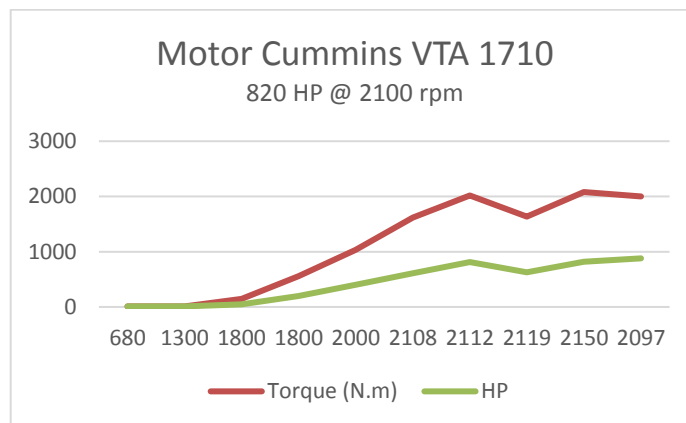


Figura 50. Gráfico HP-Torque del motor

A continuación, se describen las características del motor, así como los datos pertinentes para el torque que ejercerá con respecto a las que son necesarios para el proceso.

### Dimensiones del motor

Longitud aproximada	[in]	84
Anchura	[in]	67
Altura	[in]	68
Peso: seco neto	[lb]	13220
Emisiones		Sin certificación

### Generalidades

Calibre	[in]	6.7
Carrera	[in]	7.5
Cilindrada	[in <sup>3</sup> ]	2107
De aspiración		Turboalimentado y postrefrigerado
Relación de compresión		13,0:1
Rotación (desde el extremo del volante)		Hacia la izquierda
Sistema de lubricación (llenado)	qt	448
Configuración del motor		Diésel, 8 cilindros en "V", 4 tiempos

### Clasificación de potencia

Potencia mínima	[bkW]	507
Máxima potencia	[bkW]	746
Régimen nominal	[rev/min]	855-1800

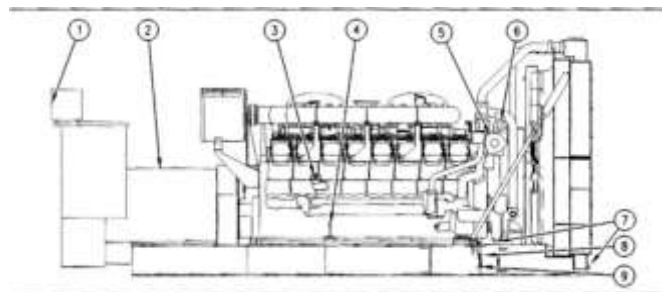


Figura 51. Vista lateral del motor

### Características típicas

1. Panel de control
2. Generador
3. Tapón del depósito de aceite
4. Varilla graduada
5. Filtros de aceite
6. Filtros secundarios de combustible
7. Purga de agua
8. Pantalla de aceite
9. Tapón de drenaje de aceite

Tabla 1. Lista de características típicas del motor diésel

De acuerdo con las especificaciones requeridas y el motor utilizado, se deben considerar los elementos hidráulicos adecuados para obtener el torque necesario, en este caso, las bombas hidráulicas alimentan a todo el sistema de manera directa o indirecta.

El siguiente gráfico representa las RPM y la presión que envía la bomba hidráulica.

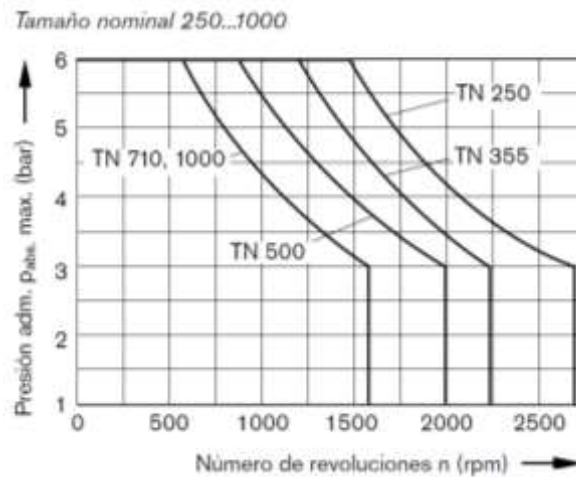


Figura 52. Gráfico para selección de bomba hidráulica

En nuestro caso de estudio, para la realización de la trituración es necesario que la bomba pueda trabajar hasta 2000 RPM, se muestra en la siguiente figura las dimensiones para un tamaño nominal 500.

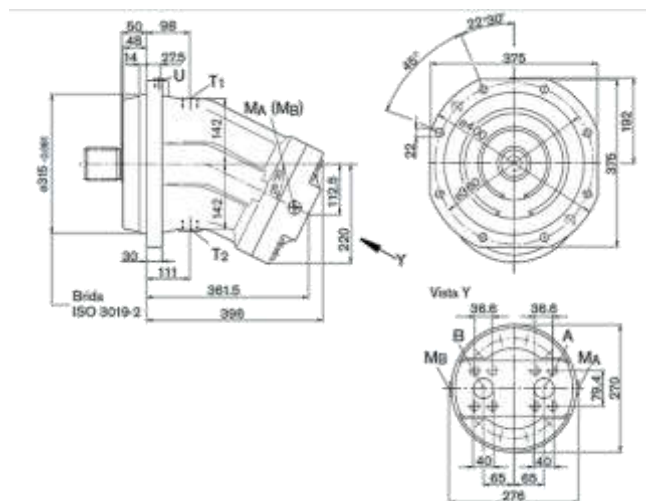


Figura 53. Dimensiones, tamaño nominal 500

Tenemos que tener en cuenta que el torque final máximo de la bomba dependerá de las características del trabajo a las que es sometido, en este caso, dependerá



de manera directa de las RPM. Por esa razón se consideraron mayor número de RPM para tratar de reducir las pérdidas de torque durante todo el procedimiento de machacar el metal.

De acuerdo con los datos de la bomba, se seleccionan los motores hidráulicos que mueven a los rodillos de pre-compactación, la siguiente tabla proporciona las características técnicas:

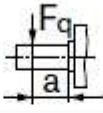
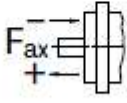
<b>Tamaño nominal</b>				<b>500</b>
Fuerza transversal, máx. <sup>1)</sup> a una distancia a (del collar del árbol)		$F_q \text{ máx}$	N	1900
		a	mm	52,5
Fuerza axial, máx. <sup>3)</sup>		$+F_{ax} \text{ máx}$	N	3000
		$-F_{ax} \text{ máx}$	N	3000
Fuerza Axial adm./bar de presión serv.		$\pm F_{ax} \text{ adm./bar}$	N/bar	

Tabla 2. Carga de fuerzas transversales y axiales admisibles del eje de accionamiento

Tomando en consideración los datos proporcionados por la tabla, se seleccionan los motores hidráulicos adecuados para transmitir la potencia necesaria durante la operación de la máquina.

Data

MOTOR TYPE*	Displacement (cm <sup>3</sup> /rev)		Specific torque (Nm/bar)		Rated speed ** (rev/min)	Max speed (rev/min)	Max pressure*** (bar)
	full	half	full	half			
<b>CA 50</b>	3 140	1 570	50	25	200	280	350
CA 50-20	1 256	-	20	-	280	280	350
CA 50-25	1 570	-	25	-	280	280	350
CA 50-32	2 010	-	32	-	280	280	350
CA 50-40	2 512	-	40	-	230	280	350
<b>CA 70</b>	4 400	2 200	70	35	180	240	350
CA 70-60	3 771	1 886	60	30	195	275	350
<b>CA 100</b>	6 280	3 140	100	50	190	270	350
CA 100-80	5 024	2 512	80	40	220	280	350
<b>CA 140</b>	8 800	4 400	140	70	170	220	350
CA 140-120	7 543	3 771	120	60	180	245	350
<b>CA 210</b>	13 200	6 600	210	105	85	115	350
CA 210-180	11 314	5 657	180	90	100	135	350

Figura 54. Principales medidas de motores hidráulicos compactos

Tomando en cuenta los datos proporcionados por el fabricante de motores, los requerimientos del cliente y de acuerdo a los rangos definidos en los que trabajan las bombas, se selecciona el tipo más apropiado.

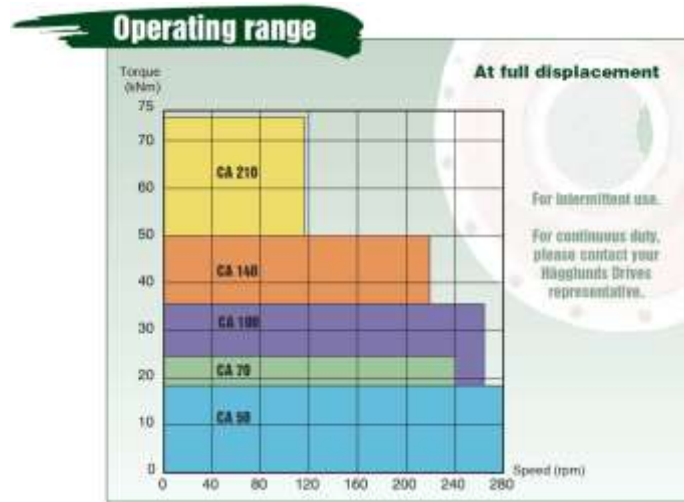


Figura 55. Rango de operaciones para los motores

### DIMENSIONES DEL MOTOR

Es importante que se adapten al lugar donde serán acoplados junto al sistema hidráulico y la bomba hidráulica, como ya se mencionó, estos motores son los que ejercen el torque a la chatarra metálica que ingresa. Cada motor se debe acoplar debidamente a los rodillos, los cuales pre-compactan el acero, en su paso por el alimentador.

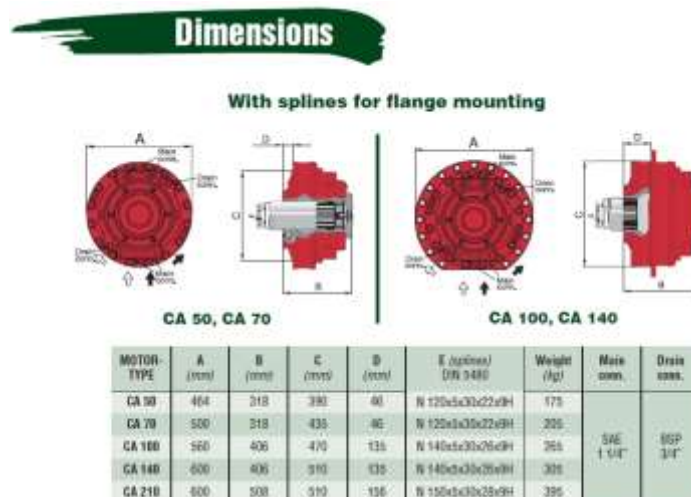


Figura 56. Dimensiones de los motores

Los motores van acoplados por tornillos 3/4" G8, son alimentados por las bombas hidráulicas, las cuales también se encargan de mover al rotor y los martillos.

## CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA MÁQUINA

- Superficie de operación: Tierra asentada. Composición no rocosa o porosa.
- Inclinación:
  - Longitudinal no mayor a 4°.
  - Transversal no mayor a 2°.
- No operar bajo lluvia abierta, ni condiciones saturadas de salinidad o presencia de agentes químicos.
- Temperatura ambiente no mayor a 45°C, ni menor a 10° C.
- Operación sólo durante horario con iluminación natural.
- Operar máquina en espacio abierto con una distancia mínima de 60 m a cualquier centro habitacional.

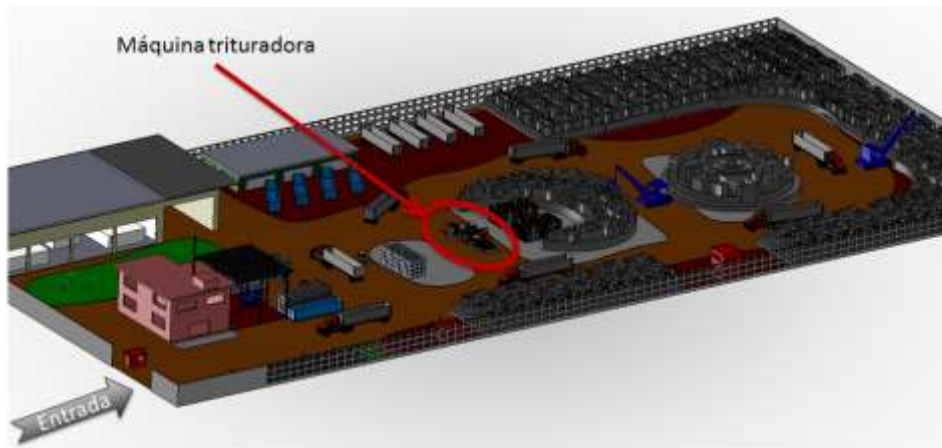


Figura 57. Entrada a instalaciones y ubicación

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PRODUCTO

- Dimensiones de la chatarra: 2 m x 3 m x 0.4 m, en alimentación orientada.
- RPM Nominal alimentación = 30 rpm.
- Material preferentemente lámina de acero calibre 10 o inferior.
- RPM de diseño del rotor = 1,000 rpm.
- RPM del motor diésel = 2,100 rpm
- Nivel de ruido: Superiores a 106 Db.
- Fuerza pre compactación = 5 ton.
- Vibración: Menor a 2.5 mm/s RMS
- Presión hidráulica nominal = 200 a 250 bar

## PLAN DE TRANSPORTACIÓN

Debido a las dimensiones de la máquina se debe de solicitar permiso a la Policía Federal para circular libremente y se debe de escoltar por, al menos, un carro piloto detrás de la máquina, con las luces intermitentes encendidas y con torreta de color ámbar.



*Figura 58. Vehículos piloto para transporte de maquinaria pesada*

- La velocidad de transportación debe de permanecer en todo momento por debajo de 50 km/hr.
- El horario de transportación de la máquina por carreteras de uso federal debe ser de 7 a.m. hasta las 6 p.m. o en su defecto, mientras haya luz natural suficiente. En caso de que durante el traslado no se cuente con luz natural suficiente, la máquina debe de dejar de circular.
- El acceso y el patio de operaciones es suficientemente grande para las maniobras típicas de un tractocamión con caja o con “full”. Las dimensiones de la máquina son menores.



*Figura 59. Configuración de traslado*

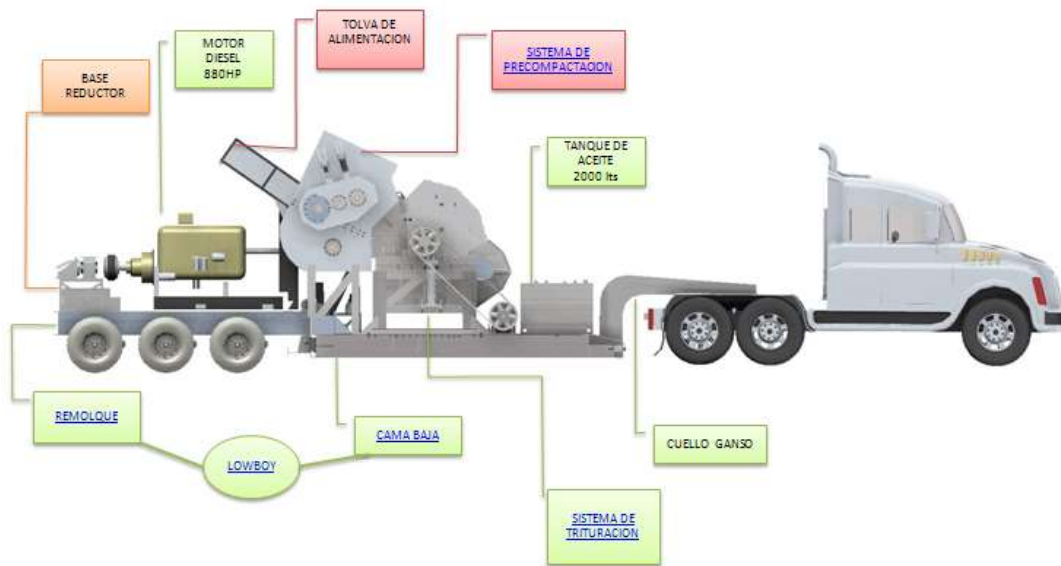


Figura 60. Ensamble para transportación

## PRUEBAS EXPERIMENTALES

Cumplidos los respectivos procesos de diseño, manufactura y construcción, fue necesario realizar pruebas para comprobar que la trituradora fuese capaz de llevar a cabo la trituración del acero con las características planteadas por el cliente.

La trituración no es el único método para densificar desechos metálicos, también se cuenta con la compactación y el cizallamiento; pero al contrario de estas dos, es el método que mejor limpia el desperdicio y sobre todo, le da un valor alto en el mercado.



Figura 61. Fragmento típico previo a la compactación

Para compactar el fragmento típico, se tiene que aplicar 1 T de fuerza.

Para compactar mayor número de fragmentos de acero, se busca dosificar las cantidades que entran al rotor principal, con esto se evita la sobrecarga de material en la máquina y se reducen los “atorones” en la misma.



*Figura 62. Fragmento típico compactado*

De las pruebas realizadas, se pudo observar que el producto presenta cierta uniformidad en su tamaño, reduciendo placas de acero con medidas aproximadas de 2X0.7 m a un “chicharrón” metálico con un diámetro aproximado de 20 cm.



*Figura 63. Materia prima*

En la siguiente figura se observa el material triturado, resultado de las pruebas realizadas con mayores y más grandes cantidades de desperdicio metálico.



*Figura 64. Producto*

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La trituradora de desperdicio metálico es de vital importancia para el cliente que lo solicitó, ya que triturando el desperdicio metálico de esta manera se mejora y optimiza el traslado del mismo, aprovechando de mejor manera los espacios destinados para dicho traslado.

Durante el desarrollo del banco de pruebas se logró con cumplir con todos los elementos mecánicos de los requerimientos solicitados, como fueron descritos al inicio. Con cada diseño que fue modelado en 3D, se contó con la participación del Área de Aplicación de Ingeniería, quienes realizaron análisis de elemento finito, para determinar los esfuerzos y deformaciones que podría sufrir la estructura bajo las fuerzas a las que estaría sometido, de esto se puede decir que el modelo final diseñado fue el más óptimo, ya que consideró las recomendaciones hechas por dicha área y fueron modificados o agregados elementos que mejoraron el diseño final.

Sin embargo, como fue previsto, no todos los objetivos fueron cumplidos en su totalidad, e incluso hubo un obstáculo que no fue contemplado al inicio que consumió mucho tiempo ya que las máquina comenzaba a hacer demasiados paros innecesarios, motivo por el cual se platicó con el cliente para sugerir soluciones que conllevaban más costos o incumplir algunas especificaciones iniciales, todo esto no permitía un avance significativo para definir los alcances y la forma del proyecto.

De igual forma, el tiempo de respuesta de los proveedores fue una limitación en cuanto al período de realización del proyecto, ya que sin los materiales que fueron solicitados no sé podía proseguir con el desarrollo del prototipo, y esto causó también un retraso significativo en cuanto a la culminación total del proyecto.

A pesar de esto, se pudieron manufacturar los elementos modelados y todos los equipos comerciales fueron adquiridos en su totalidad.

Otra problemática fue en los puntos de conexiones hidráulicas, ya que como fue descrito podía y pudo complicar la culminación total del prototipo a su debido

momento, ya que se extendió el tiempo de trabajo dedicado a esta área y no se logró terminar de acuerdo a los tiempos previstos, debido a la complejidad de los requerimientos, los cuales, en muchos apartados causaron conflicto y tuvieron que ser discutidos con el cliente para solucionar dichos problemas.

El hecho de participar en este proyecto como residente fue significativo para el desarrollo como profesionalista, ya que se aplicaron conocimientos obtenidos durante la carrera, como fue el modelado en 3D; que fue la parte vital del proyecto. A su vez, se tuvo participación en otros aspectos fuera del diseño, como es en la parte administrativa, donde fue necesario realizar algunas cotizaciones, cálculos de costos, tiempos de trabajo, reuniones con los proveedores y juntas con el cliente para discutir y revisar avances en cuanto al proyecto.

Debido a confidencialidad cliente-CIATEQ firmada en un convenio no se pueden mostrar abiertamente todos los resultados del proyecto como son planos, resultados de análisis o pruebas, pero a forma de conclusión, se puede reiterar que los objetivos planteados al inicio para este proyecto de residencia fueron cumplidos en su totalidad.



## FUENTES DE INFORMACIÓN

### CITAS Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] <http://www.ciateq.mx/conoce-ciateq.html>
- [2] <http://www.ciateq.mx/conoce-ciateq/mision-y-vision.html>
- [3] <http://www.ciateq.mx/oferta-tecnologica/sistemas-mecanicos.html>
- [4] <http://residuosindustriales365.com.mx/recoleccion-de-desechos-industriales-en-queretaro/>
- [5] <https://sobrehistoria.com/>
- [6] <http://www.redcicla.com/movil/metal.html>
- [7] <http://www.foremex.com.mx/blog/reciclaje-de-metales.html>
- [8] WORLD STEEL ASSOCIATION: World steel in figures 2012
- [9] Informe 2013 sobre el RECICLAJE DEL ACERO en la Industria Siderúrgica Española.
- [10] <https://www.google.ch/patents/US5052630>.
- [11] <https://patentimages.storage.googleapis.com/pages/US5052630-4.png>
- [12] <http://www.hammel.de/index.php/es/productos/post-triturador>
- [13] <http://wanshida.gmc.globalmarket.com/products/details/q43p-630-metal-shredder-1533935.html>

## TESIS CONSULTADAS

- LÓPEZ MIRANDA ANDERSON ROGELIO, “Diseño y construcción de una máquina desmenuzadora de turba y/o tierra para vivero” (2006). Riobamba-Ecuador.
- CUADRADO MONTAYO IVÁN RAFAEL-RUEDA CASTILLO JOSÉ LUIS, “Diseño y construcción de un molino de martillos” (2009). Quito.
- GARCÍA SAN EMETERIO ALEJANDRO, “Diseño de máquina trituradora de áridos de impacto” (2016). Cantabria.
- RAMOS PEÑA FERNANDO SANTIAGO-VEGA FIALLOS KLEBER ALEXANDER, “Diseño y construcción de una máquina trituradora de hojas secas de guayusa con una capacidad de 6.5 quintales por hora” (2015). Quito.
- ABARCA CARRIEL LUIS ANDRÉS, “Diseño de una trituradora de martillos para reciclar botellas” (2009). Guayaquil-Ecuador.
- NIÑO DE GUZMÁN OSPINA DELMI ÓSCAR, “Diseño de un molino de martillo de doble eje” (2006). Lima-Perú.
- BALCAZAR DÍAZ MARITZA ELIZABETH-GUAMBA DÍAZ JUAN PABLO, “Diseño de un triturador de cacao” (2009). Quito.