



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
MECÁNICA – DISEÑO MECÁNICO

DISEÑO DE UNA MÁQUINA Y DEL PROCESO MECÁNICO PARA LA RECUPERACIÓN DE
METALES NO FERROSOS EN CABLES CON AISLANTE

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN DISEÑO MECÁNICO

PRESENTA:
JOSE ROBERTO HERRERA SALVATIERRA

TUTOR
LEOPOLDO ADRIAN GONZÁLEZ GONZÁLEZ FACULTAD DE INGENIERÍA

CIUDAD DE MÉXICO, OCTUBRE 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Espinosa Bautista Adrián
Secretario: Dr. Rocha Cózatl Edmundo Gabriel
Vocal: Dr. González González Leopoldo Adrián
1^{er.} Suplente: Dr. Dorador González Jesús Manuel
2^{do.} Suplente: Dr. Borja Ramírez Vicente

Universidad Nacional Autónoma de México

TUTOR DE TESIS:

Dr. Leopoldo Adrián González González

FIRMA

Agradecimientos:

A mi esposa Julieta Bautista y a mi hija Jimena, que con su fortaleza y paciencia se convirtieron en el pilar para poder construir este proyecto, dotándome de energía para continuar adelante aún cuando los tiempos no prometieran resultados satisfactorios. A mis padres Roberto Herrera y Lucía Salviatierra que siempre han tenido fe en mí y me han ayudado desde el día que nací. A mis hermanos Israel Herrera y Nancy Herrera que se han mantenido a mi lado en mis proyectos siempre dispuestos a ayudar y dividir la carga. A mis tíos Jorge Roldan y Judith Salviatierra que con su apoyo fue posible realizar este proceso y culminarlo con satisfacción. A todos y cada uno de ellos gracias por ser parte de mis logros.

Contenido

1. Introducción	11
2. Objetivo.....	13
2.1 Entregables.....	13
3. Marco teórico	14
3.1 Propiedades físicas de los elementos	14
3.2 Procesos de separación de materiales por diferencia de densidades	16
3.2.1 Clasificadores neumáticos	17
3.2.2 Separadores inertes.....	18
3.2.3 Flotación	19
3.2.4 Separación de medios pesados	20
3.2.5 Mesas densimétricas	20
3.3 Procesos de molienda.....	21
3.3.1 Molino de barras	22
3.3.2 Molino de bolas.....	24
3.3.3 Molino de martillos	25
4. Metodología	27
5. Diseño a nivel sistema	28
5.1 Diagrama de caja negra.....	28
5.2 Sistemas comerciales	28
5.3 Diagrama funcional propuesto.....	29
5.4 Subsistemas	29
5.4.1 Sistema de introducción del material (A).....	30
5.4.2 Sistema de molienda del material (B).....	30
5.4.3 Sistema de separación del material (C1 y C2)	32
5.4.4 Sistema de almacenamiento del material separado (D)	35
5.5 Comparación de métodos de selección.....	35
6. Ingeniería preliminar de componentes	38
6.1 Cronología de conceptos	38
6.2 Pruebas con molino de martillos	42
6.2.1 Prototipo de molino de martillos	42
6.3 Experimento de velocidades	45

6.4	Experimento con molino comercial.....	49
6.5	Experimento mesa densimétrica	53
7.	Geometría de piezas	57
7.1	Fuerza de impacto	57
7.2	Rodamientos.....	58
8.	Materiales	60
8.1	Índices de desempeño	61
8.2	CES EDUPACK (versión estudiantil).....	64
9.	Propuesta CAD	70
10.	Propuesta de valor	74
10.1	¿Cómo es su proceso?	74
10.2	¿Cuál es la diferencia con la propuesta?	75
10.3	Trabajos Futuros.....	76
11.	Conclusiones	77
12.	Bibliografía.....	79
13.	Anexos.....	81
13.1	Planos de fabricación.....	81
13.2	Revisión de patentes.....	105
13.2.1	Patentes de mecanismos de separación:.....	105
13.2.2	Patente de procedimiento de separación:	109

Lista de tablas

Tabla 1. Estados con mayor generación de basura en México (INEGI, 2016).....	11
Tabla 2. propiedades físicas de los elementos metálicos de los cables.....	15
Tabla 3. Densidad de los principales polímeros utilizados en los aislantes	15
Tabla 4. Propiedades del molino de barras	23
Tabla 5. Propiedades de molino de bolas.....	25
Tabla 6. Matriz de elementos comerciales para el sub sistema b.....	31
Tabla 7. Matriz de decisión de elementos	32
Tabla 8. Matriz de elementos comerciales y propuestas para el sub sistema c.....	33
Tabla 9. Matriz de decisión de elementos	34
Tabla 10. Matriz de decisión.....	36
Tabla 11. Factores de pesos	37
Tabla 12. Matriz de decisión.....	37
Tabla 13. Relación de voltaje con RPM's	45
Tabla 14. Resultado de los experimentos de la velocidad de trabajo	46
Tabla 15. Tabla de ANOVA.....	47
Tabla 16. Comparaciones para Tukey.....	47
Tabla 17. Comparaciones de Tukey.....	48
Tabla 18. Resultado de Tukey.....	49
Tabla 19. Materiales posibles para la fabricación	70

Lista de figuras

Figura 1. Clasificadores Neumáticos (ALMO, 2016).....	18
Figura 2. Stoner Comercial (ALMO,2016)	19
Figura 3. Proceso de separación por flotación (ALMO,2016)	19
Figura 4. Diagrama funcional – mesa densimétrica (ALMO,2016).....	21
Figura 5. Diagrama de molino de barras (Procesos de minerales molienda,2012)	22
Figura 6. Diagrama de molino de bolas (Procesos de minerales molienda,2012).....	24
Figura 7. Diagrama molino de martillos (Procesos de minerales molienda,2012).....	25
Figura 8. Primer concepto (Diseño propio)	39
Figura 9. Segundo concepto de configuración (Diseño propio)	39
Figura 10. Tercer concepto (Diseño propio)	40
Figura 11. Cuarto concepto (Diseño propio).....	40
Figura 12. Quinto Concepto (Diseño propio)	41
Figura 13. Vista superior del prototipo 1 (Fabricado).....	42
Figura 14. Vista trimétrica del prototipo (Fabricado)	43
Figura 15. Vista del interior del prototipo (Fabricado)	43
Figura 16. Vista del punto de impacto del cable con la solera (Fabricado)	44
Figura 17. Vista superior del punto de impacto del cable con la solera (Fabricado)	44
Figura 18. Cable pelado por prototipo 1	44
Figura 19. Cable desgarrado por la solera del prototipo 1	45
Figura 20. Molino de martillos comercial	50
Figura 21. Tamiz de 8mm del molino de martillos	50
Figura 22. Cables para introducir al molino	51
Figura 23. Cables para molino	51
Figura 24. Cable enmarañado para molino	52
Figura 25. Composición de cables con dos capas de aislante y núcleo metálico	52
Figura 26. Composición de cable con un solo aislante y núcleo metálico.....	52
Figura 27. Cables molidos.....	53
Figura 28. Cable molido	53
Figura 29. Molida de cables para separación	54
Figura 30. Primera separación	55
Figura 31. Segunda separación	55

Figura 32. Tercera separación	55
Figura 33. Cuarta separación	56
Figura 34. Quinta separación	56
Figura 35. Procesos de manufactura considerando forma del objeto	66
Figura 36. Procesos de manufactura considerando la masa del objeto	67
Figura 37. Procesos de manufactura considerando espesor de pared	67
Figura 38. Procesos de manufactura considerando número de lote de piezas	68
Figura 39. Modelado del molino con 5 ejes. (Modelado en NX).....	70
Figura 40. Vista lateral del molino de martillos. (Modelado en NX).....	71
Figura 41. Molino de martillos con criba. (Modelado con Nx)	71
Figura 42. Vista superior de la cámara de molienda. (Modelado en NX)	72
Figura 43. Ensamble molino de martillos. (Modelado en NX)	73
Figura 44. Molino de martillos con tolva translúcida. (Modelado en NX).....	73
Figura 45. Explosión del ensamble del molino de martillos. (Modelado en NX).....	74
Figura 46. Proceso de la empresa Eldan Recycling	75

Lista de gráficas

Gráfica 1. Nivel 2 del CES EDUPAK índice de desempeño.....	64
Gráfica 2. Nivel 3 del CES EDUPAK primer índice de desempeño aplicado	65
Gráfica 3. Nivel 3 del CES EDUPAK segundo índice de desempeño	65
Gráfica 4. Nivel 3 del CES EDUPAK segundo índice de desempeño aplicado	66
Gráfica 5. Nivel 3 del CES EDUPAK segundo índice de desempeño y proceso de manufactura	69
Gráfica 6. Nivel 3 CES EDUPAK segundo índice de desempeño y factibilidad de soldadura de material.....	69

Lista de diagramas

Diagrama 1. Diagrama de caja negra.....	28
Diagrama 2. Distema comercial.....	28
Diagrama 3. Diagrama funcional propuesto	29
Diagrama 4. Diagrama del mecanismo de molienda	30
Diagrama 5. Diagrama del mecanismo de separación.	33
Diagrama 6. Análisis de cargas.....	61

1. Introducción

En México se generan diariamente 102,895.00 toneladas (Tn) de residuos sólidos, de los cuales se recolectan 83.93% y se depositan en sitios de disposición final 78.54%, reciclando únicamente el 9.63% de los residuos generados, según datos registrados de la SEMARNAT, 2018

En el país, sigue predominando el manejo básico de los residuos sólidos urbanos (RSU) que consiste en la recolección y disposición de los residuos en rellenos sanitarios, desaprovechando aquellos residuos susceptibles a reincorporarse al sistema productivo, lo que disminuye la demanda y explotación de nuevos recursos, a diferencia de países como Suiza, Países Bajos, Alemania, Bélgica, Suecia, Austria y Dinamarca; donde la disposición final de los residuos es de menos del 5% en rellenos sanitarios. (Secretaría del medio ambiente y recursos naturales , 2017)

En la república mexicana más del 50% de la basura se genera en siete estados (tabla 1) convirtiéndolos en los puntos más importantes para la implementación de proyectos o tecnologías de reciclado y reutilización de productos.

TABLA 1. ESTADOS CON MAYOR GENERACIÓN DE BASURA EN MÉXICO (INEGI, 2016)

Entidad federativa	Toneladas	Porcentaje
Distrito Federal	17 043	19.7
Estado de México	8 285	9.6
Jalisco	6 524	7.6
Veracruz de Ignacio de la Llave	4 451	5.2
Guanajuato	3 719	4.3
Tamaulipas	3 175	3.7
Nuevo León	3 077	3.6
Total	46 275	53.7

La generación de nuevas tecnologías para la resolución de problemas específicos que aquejan a nuestra sociedad debe considerar la sustentabilidad como un punto clave. Por lo que el objetivo de este trabajo es resolver la problemática en la recuperación de productos metálicos, específicamente cables de núcleo metálico con aislante, sin generar contaminantes para el medio ambiente.

2. Objetivo

Diseñar un proceso y proponer una máquina capaz de separar los tres elementos que conforman los cables de diferentes calibres (Cobre, Aluminio, Aislante) sin generar contaminantes.

Considerando:

- ❖ Un proceso mecánico para la separación de los 3 materiales diferentes por medio de sus propiedades físicas.
- ❖ Una reducción en el número de pasos tomando como referencia los procesos actuales de recuperación de metal en cables con aislante.
- ❖ La determinación del punto críticos del proceso y desarrollo de este.

2.1 Entregables

- ❖ Proceso mecánico para la separación de los metales no ferrosos
- ❖ Desarrollo del punto crítico
 - Detección de punto crítico
 - Estudio de punto crítico
 - Pruebas y prototipo del elemento
 - Diseño conceptual
 - Planos de fabricación
- ❖ Trabajos futuros

3. Marco teórico

Dentro de la industria nacional en el ámbito del reciclaje, una de las empresas más comprometidas en el reciclaje de cables de cobre y aluminio es Grupo Lyrsa, quienes poseen un proceso de separación obteniendo productos de máxima calidad y pureza, recurriendo a un proceso inicial de triturado del cable, una etapa de separación y almacenado hasta la fundición final.

Otras empresas del ramo como Codelco utilizan procesos similares, donde la principal forma de separación del aislante del metal es la fundición de este, dado que su punto de fusión es menor al de cualquiera de los dos metales del que esté compuesto el cable. Dichos procesos generan contaminantes para el medio ambiente además de requerir un control sobre el proceso de fundición, el cual es utilizado por todo tipo de personas ajenas a estas instituciones con el fin de conseguir el metal, por lo que se han suscitado diferentes incendios en rellenos sanitarios o en depósitos de basura. (Methane to Markets, 2009)

3.1 Propiedades físicas de los elementos

El conocimiento de las propiedades físicas de los elementos a separar es primordial para lograr dicho objetivo (Tabla 2 y 3). Las propiedades físicas de los metales que poseen los cables les confieren a éstos características propias que los hacen excelentes conductores eléctricos, y a la vez sus diferencias permiten proponer la densidad de los diferentes elementos como método de separación.

TABLA 2. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS ELEMENTOS METÁLICOS DE LOS CABLES

Nombre	Aluminio	Cobre
Símbolo químico	Al	Cu
Número atómico	13	29
Grupo	13	11
Periodo	3	4
Aspecto	Metálico	Metálico, rojizo
Bloque	p	d
Densidad	2698,4 Kg/m ³	8960 Kg/m ³
Masa atómica	26,981 u	63.536 u

TABLA 3. DENSIDAD DE LOS PRINCIPALES POLÍMEROS UTILIZADOS EN LOS AISLANTES

DENOMINACIÓN DIN	DENSIDAD TÍPICA
	Kg/m ³
Poliamida PA	1150
Polióxido de Metilo POM C Poliacetal - Acetal	1410
Tereftalato de Polietileno Polyester PET	1380
Polietileno Pe	950
Polipropileno PP	910
Cloruro de Polivinilo PVC rígido	1420
Cloruro de Polivinilo PVC flexible	1240
Metacrilato de Polimetilo PMMA	1200

Policarbonato PC	1200
Politetrafluoretileno PTFE	2180
Fluoruro de Polivinilideno PVDF	1780
Polietercetona PEEK	1320
Polisulfona PSU	1240
Polietersulfona PES	1370
Polieterimida PEI	1270
Poliimida PI	1430
Polisulfuro de Fenileno PPS	1430
Polifenilsulfona PPSU	1290
Polibenzimidazole PBI	1300
Poliamidaimida PAI	1410

3.2 Procesos de separación de materiales por diferencia de densidades

En química e ingeniería química, un proceso de separación se usa para transformar una mezcla de sustancias en dos o más productos distintos. Los productos separados podrían diferir en propiedades químicas o algunas propiedades físicas, tales como el tamaño o tipo de cristal. Con base en lo visto en las tablas 2 y 3 consideramos la diferencia de densidades de los tres elementos que componen el cable en cuestión para hacer uso de esta y lograr una separación. Dentro de las separaciones por densidad encontramos:

- Clasificadores neumáticos

- Clasificador neumático zigzag
- Clasificador neumático de aire pulsado
- Separadores inertes
- Flotación
- Separador de medios pesados
- Mesa densimétrica

3.2.1 Clasificadores neumáticos

En los clasificadores neumáticos los residuos sólidos son vaciados en un ducto vertical, el aire que asciende desde el fondo del conducto a velocidad constante se utiliza para transportar los materiales más livianos hasta la descarga por la parte superior de la columna vertical. Los materiales más pesados caen al fondo debido a que el flujo de aire ascendente es insuficiente para elevarlos. El control porcentual de las fracciones liviana y pesada se realiza variando la carga de residuos, la tasa de flujo de aire y la sección transversal del ducto. Para introducir los residuos al clasificador se requiere un mecanismo de compuerta neumático. Entre otros tipos de clasificador neumático están:

- Clasificador neumático zigzag: Por sus deflectores internos en zigzag, el flujo de aire crea turbulencias que hacen dar vueltas a los materiales permitiendo fácilmente su disgregación.
- Clasificador neumático de aire pulsado: Puede ser activo o pasivo; la velocidad del flujo de aire es variable, la rapidez con que cae la partícula está en función del tiempo en que se alcanza la velocidad límite. Corrientes variables de aire mantienen a las partículas cayendo en un rango de velocidad, permitiendo separarlas completamente con velocidades límites similares.

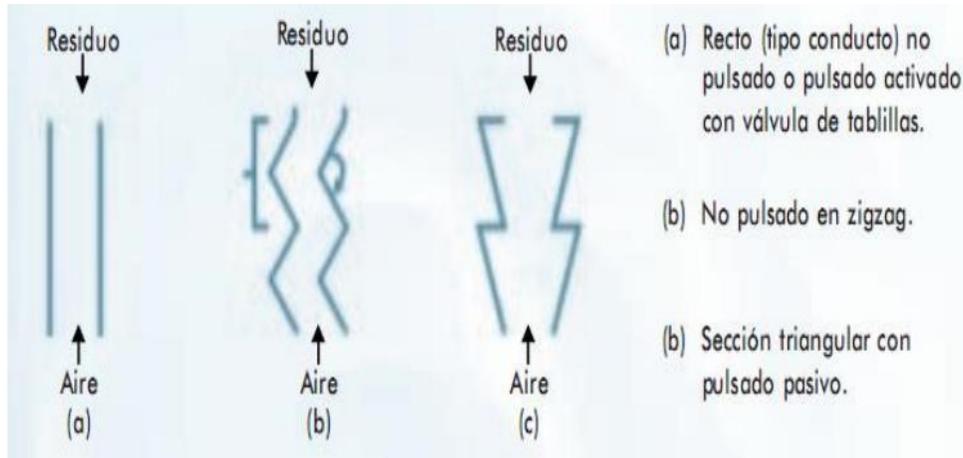


FIGURA 1. CLASIFICADORES NEUMÁTICOS (ALMO, 2016)

3.2.2 Separadores inertes

Los separadores inertes también llamados stoner, constan de una parrilla porosa que vibra en línea recta en sentido ascendente. El aire a baja presión sube por la parrilla y se suministra en el material a separar; que se estratifica por las diferencias de la velocidad límite entre las partículas. El material ligero sube por el aire de suministro y circula hacia abajo, el pesado se queda sobre la parrilla y asciende por acción vibratoria de la misma. La operación del stoner depende de la inclinación de la parrilla y los volúmenes de aire; y los residuos que alimentan el dispositivo se sitúan sobre la parrilla. Estos equipos se crearon inicialmente para separar rocas, funcionan únicamente como separadores de densidad dentro de una gama precisa de distribución, esto dado porque el criterio de separación es la velocidad límite, y no la densidad o el peso.



FIGURA 2. STONER COMERCIAL (ALMO,2016)

3.2.3 Flotación

La flotación es la operación básica en la que se utiliza la diferencia de densidades para separar dos componentes en un fluido. Los residuos se sumergen en agua en un tanque adecuado, los materiales densos se precipitan hacia el fondo y los más livianos flotan y pueden retirarse de la superficie. Los dos tipos de residuos pueden someterse a otro tipo de procesamiento, o en su defecto, deberán ser dispuestos en relleno sanitario. Este procedimiento puede realizarse para separar la madera de los residuos de construcción.



FIGURA 3. PROCESO DE SEPARACIÓN POR FLOTACIÓN (ALMO,2016)

3.2.4 Separación de medios pesados

El proceso de separación de medios pesados fue desarrollado para la separación de triturados con alto contenido de aluminio, principalmente usado en la industria de recuperación automotriz. En este proceso, un material fragmentado rico en aluminio es lanzado a una corriente líquida que tiene un peso específico alto. El nivel de la gravedad específica permite la flotación del aluminio mientras otros materiales se mantienen sumergidos. Para implementar este proceso se requiere de una alimentación diaria de 2.000 a 3.000 Tn de material a procesar.

3.2.5 Mesas densimétricas

La separación densimétrica por vía seca se obtiene sobre un fondo de tratamiento inclinado y dotado de movimiento vibratorio. Dicho fondo permeable es atravesado por una corriente de aire ascendente, obteniéndose dos efectos sobre el material a tratar:

- Los productos de menor densidad flotan sin tener contacto con el fondo y se deslizan hacia la parte inferior debido a la pendiente.
- Los productos de mayor densidad se encuentran en contacto con el fondo y son empujados por la vibración hacia la parte superior.

Cuanto mayor sea la diferencia de densidades de los productos, más amplias podrán ser las franjas granulométricas en tratamiento.

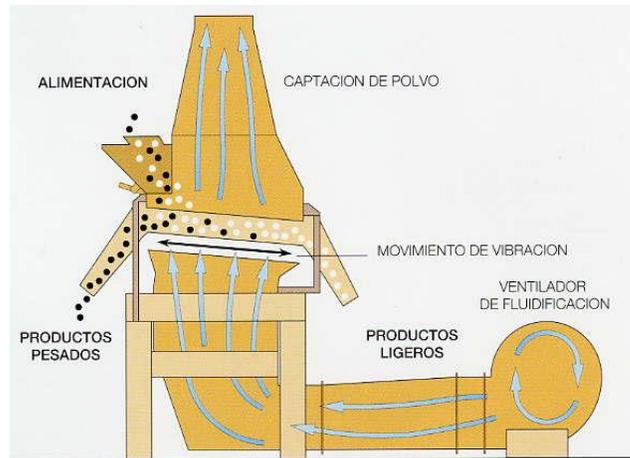


FIGURA 4. DIAGRAMA FUNCIONAL – MESA DENSIMÉTRICA (ALMO,2016)

3.3 Procesos de molienda

La molienda es una operación de reducción de tamaño de rocas y minerales de manera similar a la trituración. Los productos obtenidos por molienda son más pequeños y de forma más regular que los surgidos de trituración. Generalmente se habla de molienda cuando se tratan partículas de tamaños inferiores a 1 pulgada (") ($1" = 2.54 \text{ cm}$) siendo el grado de desintegración mayor al de trituración.

Se utiliza fundamentalmente en la fabricación de cemento Portland, en la preparación de combustibles sólidos pulverizados, molienda de escorias, fabricación de harinas, alimentos balanceados, etc. Además, se utiliza en la concentración de minerales ferrosos y no ferrosos, donde se muele la mena previamente extraída de canteras y luego se realiza un proceso de flotación por espumas para hacer flotar los minerales y hundir la ganga y así lograr la separación. (Procesos de minerales, 2012)

3.3.1 Molino de barras

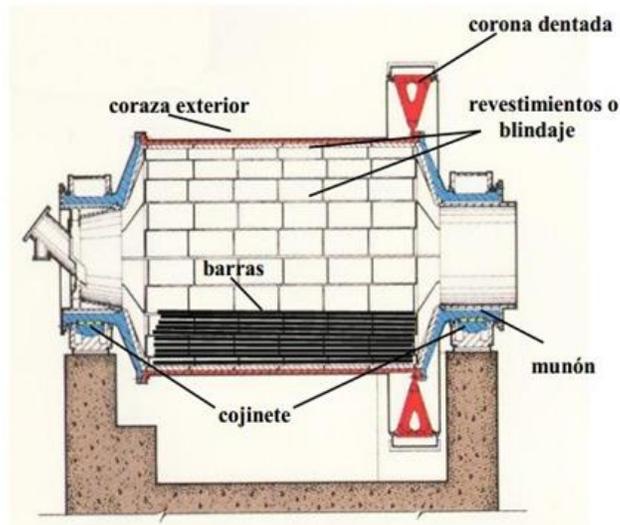


FIGURA 5. DIAGRAMA DE MOLINO DE BARRAS (PROCESOS DE MINERALES MOLIENDA,2012)

El molino de Barras está formado por un cuerpo cilíndrico de eje horizontal, que en su interior cuenta con barras cilíndricas sueltas dispuestas a lo largo del eje, de longitud aproximadamente igual a la del cuerpo del molino. Éste gira gracias a que posee una corona, la cual está acoplada a un piñón que se acciona por un motor generalmente eléctrico.

Las barras se elevan, rodando por las paredes del cilindro hasta una cierta altura, y luego caen efectuando un movimiento que se denomina “de cascada”. La rotura del material que se encuentra en el interior del cuerpo del cilindro y en contacto con las barras, se produce por frotamiento y por percusión (Fig.5).

El material ingresa por el eje en un extremo del cilindro, y sale por el otro extremo o por en medio del cilindro, según las distintas formas de descarga: por rebalse (se emplea en molienda húmeda), periférica central, y periférica final (ambas se emplean tanto en molienda húmeda como en seca).

El Molino de Martillos muele, tritura y destroza toda clase de productos por medio de una serie de martillos rotativos que impactan repetidamente el producto en su interior, reduciendo su tamaño hasta hacerlo pasar a través de una criba perforada. Misma que es intercambiable fácilmente para variar el tamaño de las partículas. En la tabla 4 se muestran las comparativas de las diferentes variables que se presentan en la molienda por medio de un molino de barras.

TABLA 4. PROPIEDADES DEL MOLINO DE BARRAS

TIPO DE DESCARGA	REBALSE	PERIFÉRICA FINAL	PERIFÉRICA CENTRAL
TIPOS DE MOLIENDA	Húmeda	Seca o Húmeda	Seca o Húmeda
TIPOS DE CIRCUITOS	Abierto	Abierto	Abierto
TASA MÁXIMA DE REDUCCIÓN	15-20:1	12-15:1	4-8:1
TAMAÑO DE MOLIENDA	Malla 10-35	Malla 4-12	Malla 3-6
TAMAÑO MÁXIMO DE ALIMENTACIÓN	< 3/4"	< 3/4"	< 3/4"
RELACIÓN L/D	1,25:1	1,25:1	1,25:1
% TÍPICO DE VEL. CRÍTICA	60-65 %	65-70 %	65-70 %
% DE CARGA	40-45 %	35-50 %	30-50 %
CAPACIDAD	Normal	Normal	Doble

3.3.2 Molino de bolas

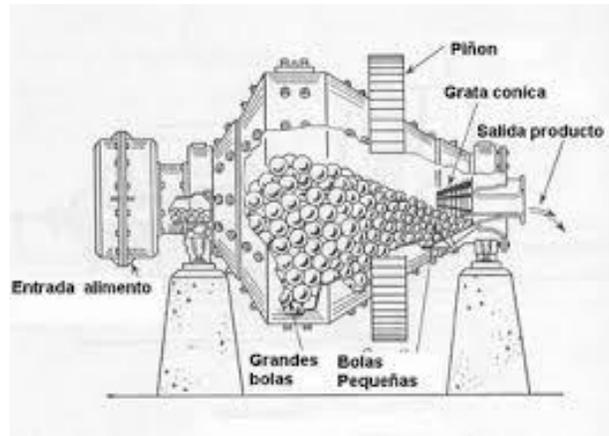
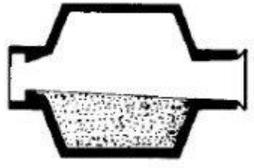
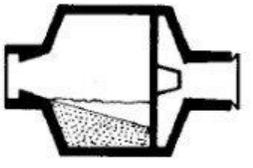
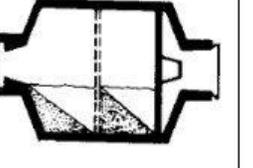


FIGURA 6. DIAGRAMA DE MOLINO DE BOLAS (PROCESOS DE MINERALES MOLIENDA,2012)

El molino de Bolas, análogo al de Barras, está formado por un cuerpo cilíndrico de eje horizontal, que en su interior tiene bolas libres. El cuerpo gira a merced del accionamiento de un motor, el cual mueve un piñón que engrana con una corona que tiene el cuerpo cilíndrico. Las bolas se mueven haciendo el efecto “de cascada”, rompiendo el material que se encuentra en la cámara de molienda mediante fricción y percusión. El material por moler ingresa por un extremo y sale por el opuesto. Existen tres formas de descarga: por rebalse (se utiliza para molienda húmeda), por diafragma, y por compartimentado (ambas se utilizan para molienda húmeda y seca). La tabla 5 muestra las variables que presenta la molienda en un proceso con un molino de bolas.

TABLA 5. PROPIEDADES DE MOLINO DE BOLAS

Tipos de Descarga			
	Rebalse	Diafragma	Compartimentado
Tipos de Molienda	Húmeda	Seca o Húmeda	Seca o Húmeda
Tipos de Circuitos	Cerrado	Cerrado	Cerrado o Abierto
Tamaño de Molienda	Fino – Malla 200	Intermedio (Vía Húmeda) – Malla 65-100; Fino (Vía Seca) – Malla 325	Fino – Malla 150-325
Tamaño Máximo de Alimentación	Malla 10-14	< 1/2"	< 1/2"
Relación L/D	1-1,5:1	1-1,5:1	C. Abierto: 3,5-5:1 C. Cerrado: 2,5-3,5:1
% Típico de Vel. Crítica	65-70 %	68-78%	C. Abierto: 65-75 % C. Cerrado: 70-78 %
% de Carga	40-45 %	35-50 %	30-50 %

3.3.3 Molino de martillos

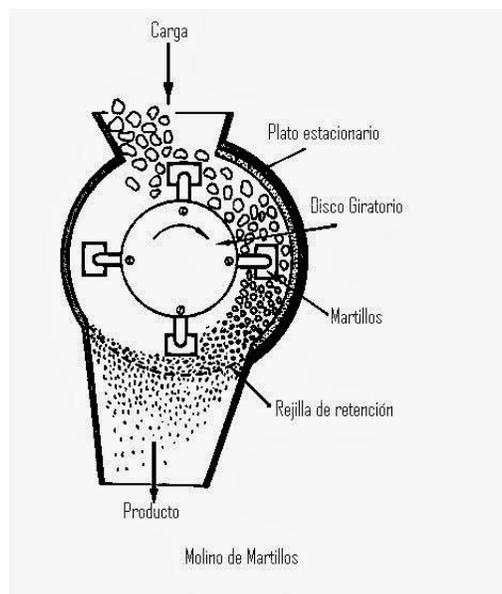


FIGURA 7. DIAGRAMA MOLINO DE MARTILLOS (PROCESOS DE MINERALES MOLIENDA,2012)

El molino de martillos actúa por efecto de impacto sobre el material a desintegrar, El material a moler ingresa por la boca de entrada y por gravedad cae al interior de la cámara de desintegración, donde es golpeado por los martillos. Seguidamente choca con la cámara de desintegración y nuevamente es golpeado por los martillos. Esto ocurre sucesivamente hasta que alcanza un tamaño tal que puede pasar por la rejilla de la descarga. El tamaño de salida de los materiales triturados puede variarse cambiando la rejilla de salida. Los molinos de martillos se usan para triturar y pulverizar materiales que no sean demasiado duros o abrasivos.

4. Metodología

Con base en el estudio de diferentes metodologías de diseño de productos y tomando como fuente principal “Diseño y desarrollo de productos” de Karl T. Ulrich y Steven D. Eppinger. Se enmarcan los siguientes pasos a desarrollar en el presente trabajo.

- Definición de la problemática
- Marco teórico
- Diseño en nivel sistema
 - Definir subsistemas
 - Ingeniería preliminar de componentes
 - Concepto por desarrollar
- Diseño a detalle
 - Definición de geometría de piezas
 - Selección de materiales
- Construcción de prototipo
 - Pruebas de desempeño generales
 - Identificación de oportunidades de mejora
- Resultados
- Conclusiones

5. Diseño a nivel sistema

Se utilizó un modelo de caja negra para observar la entrada al sistema, así como la salida de este, con el objetivo de analizar los puntos y poder plantear mecanismos que satisfagan la problemática.

5.1 Diagrama de caja negra



DIAGRAMA 1. DIAGRAMA DE CAJA NEGRA

5.2 Sistemas comerciales

El entendimiento del proceso comercial actual permite proponer alternativas para la solución del problema, por ello es indispensable conocer los pasos de este proceso, los cuales se enlistan en el diagrama 2.

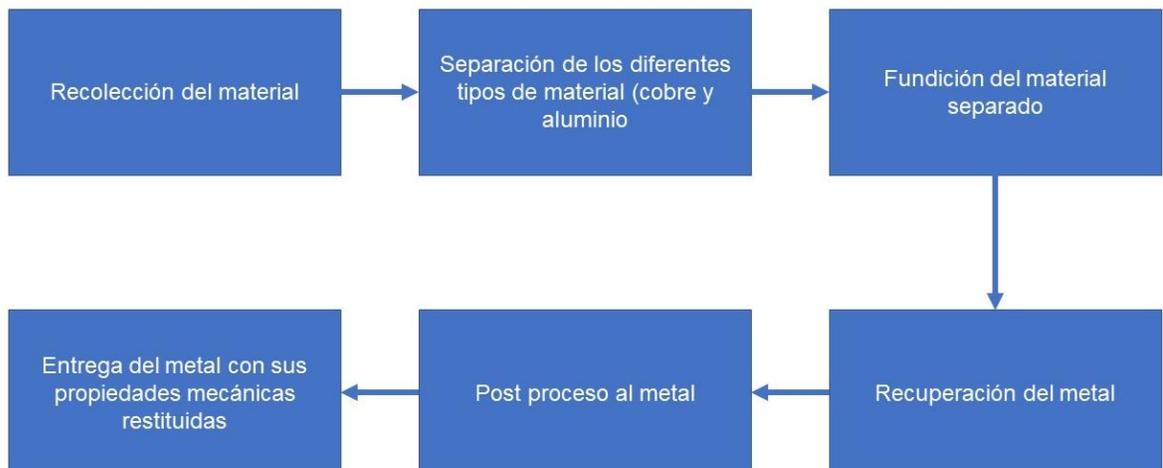


DIAGRAMA 2. SISTEMA COMERCIAL

5.3 Diagrama funcional propuesto

Desarrollando el diagrama de caja negra con base en el entendimiento del diagrama funcional comercial, se realizó la propuesta conceptual la cual se presenta en el diagrama 3.

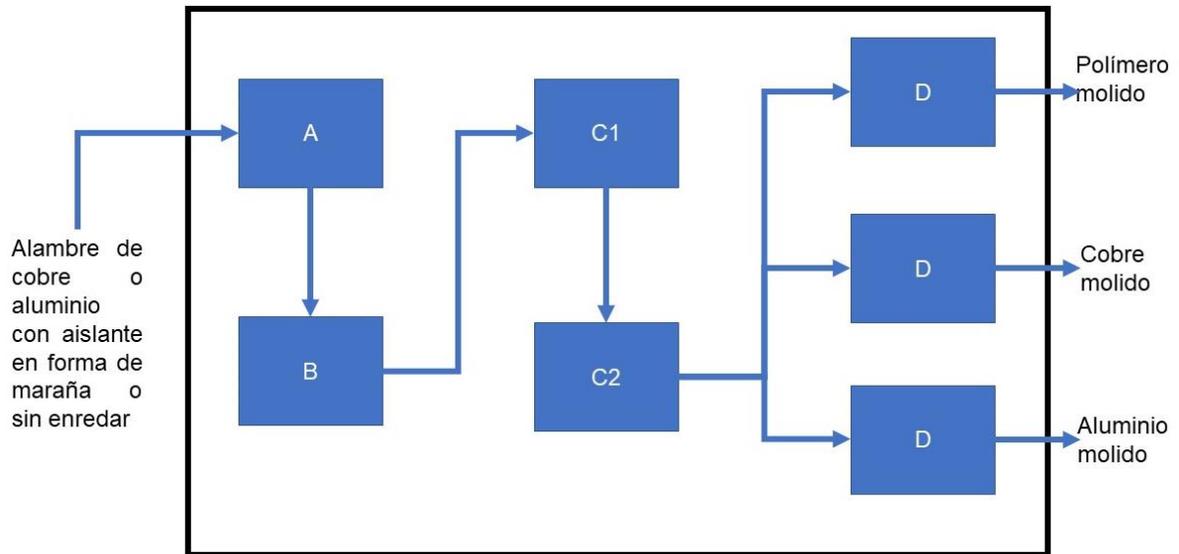


DIAGRAMA 3. DIAGRAMA FUNCIONAL PROPUESTO

5.4 Subsistemas

Del diagrama 3 se observa un planteamiento de subsistemas para resolver las necesidades de las salidas del material, estos subsistemas son:

- Sistema de introducción de material (A).
- Sistema de molienda del material (B).
- Sistema de separación del material primario y secundario (C1, C2).
- Sistema de almacenamiento del material separado (D).

Los sistemas mencionados anteriormente fueron analizados y desarrollados para su comprensión y selección del proceso adecuado para el cumplimiento de su funcionalidad.

5.4.1 Sistema de introducción del material (A)

Se entiende como este subsistema a la compuerta por la que se introduce el cable, en otras palabras, una ranura en la estructura por la cual se permite el acceso del material. Para su diseño se considera un volumen de entrada no mayor a los 3 kg.

5.4.2 Sistema de molienda del material (B)

Este subsistema es el encargado de la reducción final del tamaño del material de tal modo que a la salida del mismo se cuente con los tamaños necesarios para realizar la separación de los elementos



DIAGRAMA 4. DIAGRAMA DEL MECANISMO DE MOLIENDA

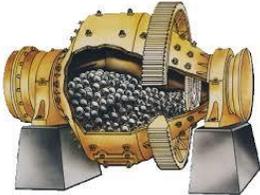
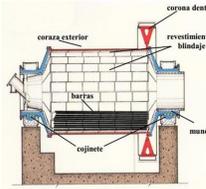
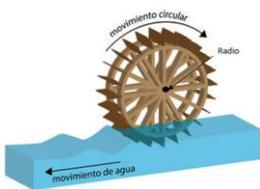
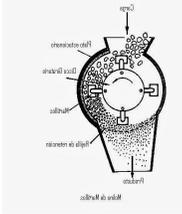
5.4.2.1 Requerimientos del subsistema B

- Permitir el acceso de material previamente cortado (AC)
- Moler el material (MM).
- No permitir la salida de material hasta tener el tamaño deseado (TD).

- El material de salida no debe de estar contaminado por alguno de los otros materiales en cuestión (CM).

En la tabla 6 se presenta una matriz de los diferentes elementos comerciales que son capaces de realizar el proceso de molienda, con ella se realizó una evaluación y posteriormente una selección del elemento que cumplió de mejor manera los requerimientos mencionados.

TABLA 6. MATRIZ DE ELEMENTOS COMERCIALES PARA EL SUB SISTEMA B

		Sub sistema B (Molino)			
Candidatos					
	Molino de viento	Molino de bolas	Molino de barras	Molino de agua	
					
	Molino de martillos	Molino de maíz			

5.4.2.2 Evaluación de los candidatos del subsistema B

Este punto contrastó cada uno de los candidatos con las funciones que debe cumplir, si realizaban la función se les asignó un + de lo contrario un -. El elemento con mejor evaluación neta fue el mecanismo seleccionado.

TABLA 7. MATRIZ DE DECISIÓN DE ELEMENTOS

	Viento	Bolas	Barras	Agua	Martillos	Maíz
AC	+	+	+	+	+	+
MM	-	+	+	-	+	+
TD	-	-	-	-	+	-
CM	-	-	+	-	+	+
Suma +	1	2	3	1	4	3
Suma -	3	2	1	3	0	1
Evaluación Neta	-2	0	2	-2	4	2
Lugar	4	3	2	4	1	2
continua	No	No	No	No	Si	No

El mecanismo que con bases en las especificaciones técnicas cumple de mejor manera con lo establecido en las necesidades de este subsistema es el molino conformado por el sistema de martillos, por lo cual es el elemento seleccionado para esta función.

5.4.3 Sistema de separación del material (C1 y C2)

El subsistema de separación es el encargado de recibir la molienda del paso anterior y por medio de la diferencia de densidades realizar una separación, debido a que los elementos están conformados por tres materiales diferentes, se realizó un proceso primario en donde se removió un primer material pasando los dos restantes a una segunda separación.

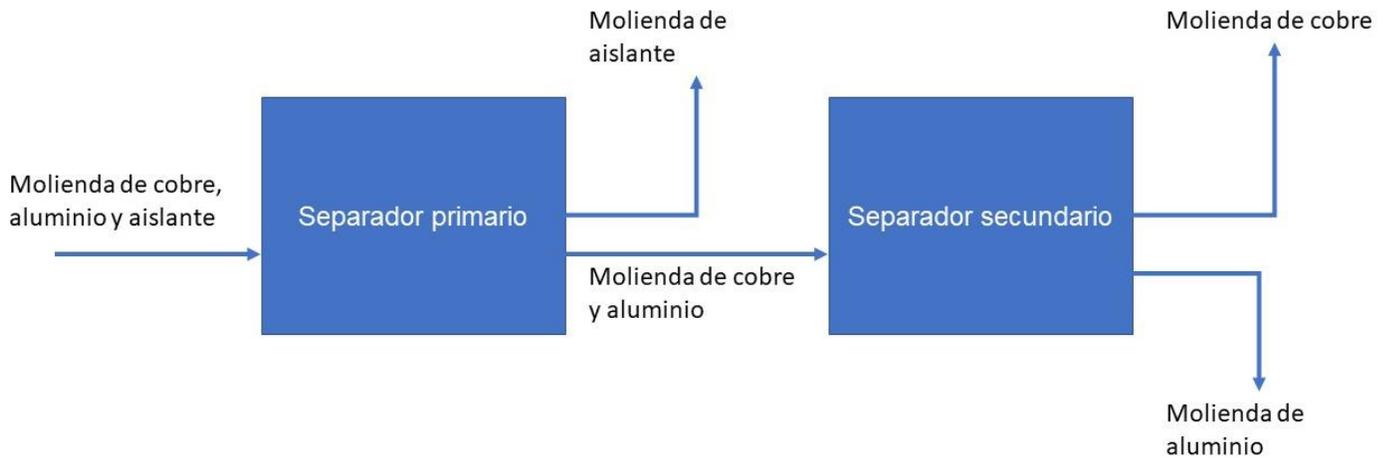


DIAGRAMA 5. DIAGRAMA DEL MECANISMO DE SEPARACIÓN.

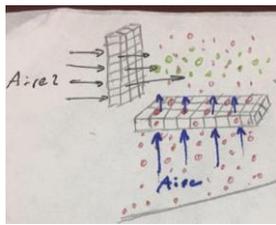
5.4.3.1 Requerimientos del subsistema:

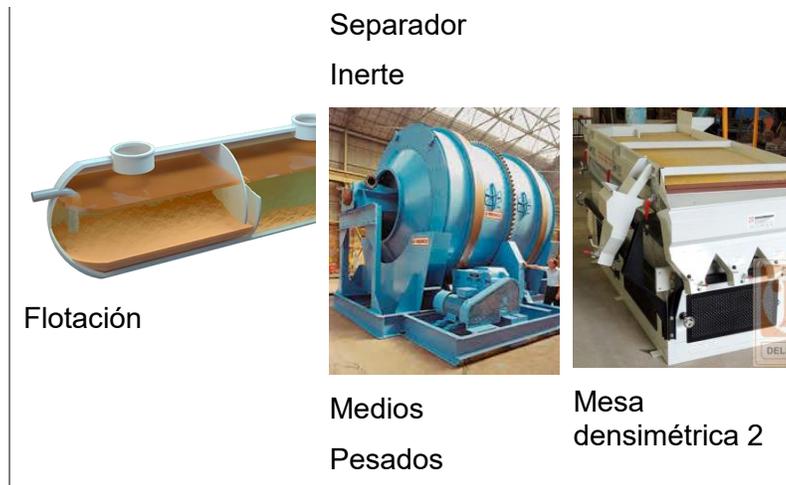
- Separar los materiales por densidad (SMD).
- No generar contaminación (NGC).
- Sistema con bajo consumo de energía (SBE).
- Sistema de tamaño compacto (STC).
- Fácil recolección del material separado (FRS).

La tabla 8 presenta una matriz de elementos comerciales y **una propuesta** (✓) para el subsistema C, la cual fue evaluada para la selección del elemento que cumple con las especificaciones señaladas.

TABLA 8. MATRIZ DE ELEMENTOS COMERCIALES Y PROPUESTAS PARA EL SUB SISTEMA C

Sub sistema C1 y C2 (Separador de material)

Candidatos	 <p>Clasificador Neumático</p>	 <p>Mesa densimétrica</p>	 <p>Propuesta (✓)</p>
------------	---	---	---



La propuesta consta de un sistema de rejillas en la parte baja y en uno de los costados por donde se hace pasar aire, el aire levanta el material menos pesado y deja pasar el otro, un segundo sistema de aire empuja el material menos denso a un costado teniendo de este modo la separación del material.

5.4.3.2 Evaluación de los candidatos del subsistema C

Al igual que en el subsistema B se realizó la evolución de los candidatos para la elección del mecanismo a utilizar.

El elemento de mesa densimétrica es el que mejor cumple las necesidades planteadas. De la tabla 9 se observa que hay dos elementos que pueden ser seleccionados, dichos elementos son mesas densimétricas cuya variación es la forma, mientras una realiza el proceso de separación de manera vertical la otra lo hace de modo horizontal, para este trabajo se hizo uso de la mesa que ocupa una menor área superficial. Del mismo modo este elemento fue utilizado en los subsistemas C1 y C2, debido a que tienen la misma función.

TABLA 9. MATRIZ DE DECISIÓN DE ELEMENTOS

Clasificado or Neumático	Separador Inerte	Mesa Densimétrica	Mesa Densimétrica 2	Flotación	Medio Pesados	Propuesta
--------------------------------	---------------------	----------------------	---------------------------	-----------	------------------	-----------

SMD	+	+	+	+	+	+	+	+
NGC	+	+	+	+	-	-	-	+
SBE	-	-	+	+	+	-	-	-
STC	-	-	-	-	+	-	-	+
FRS	+	+	+	+	-	+	-	-
Suma +	3	3	4	4	3	2	3	3
Suma -	2	2	1	1	2	3	2	2
Evolución Neta	1	1	3	3	1	-1	1	1
Lugar	2	2	1	1	2	3	2	2
Continua	No	No	Si	Si	No	No	No	No

5.4.4 Sistema de almacenamiento del material separado (D)

En este subsistema se consideró un depósito de bajo costo, así como bajo peso para su fácil transporte, por lo que se ha elegido recipientes de plástico para cada una de las salidas del sistema, colocando recipientes de diferente color para la fácil identificación del material que contienen.

5.5 Comparación de métodos de selección

Como complemento de esta selección de subsistemas se realizó una comparación entre dos métodos diferentes de selección para el subsistema B con la finalidad de corroborar que la selección previa fuera correcta.

Las necesidades del subsistema B son:

- Permitir el acceso de material previamente cortado (AC).
- Moler el material (MM).
- No permitir la salida de material hasta tener el tamaño deseado (TD).
- El material de salida no debe de estar contaminado por alguno de los otros materiales en cuestión (CM).

La primera forma de selección fue realizada por la metodología propuesta por Ulrich la cual se presenta en la tabla 10.

TABLA 10. MATRIZ DE DECISIÓN

	Viento	Bolas	Barras	Agua	Martillos	Maíz
AC	+	+	+	+	+	+
MM	-	+	+	-	+	+
TD	-	-	-	-	+	-
CM	-	-	+	-	+	+
Suma +	1	2	3	1	4	3
Suma -	3	2	1	3	0	1
Evaluación Neta	-2	0	2	-2	4	2
Lugar	4	3	2	4	1	2
continua	No	No	No	No	Si	No

El mecanismo que con bases en las especificaciones técnicas cumple de mejor manera con lo establecido en las necesidades de este subsistema es el molino conformado por el sistema de martillos, por lo cual es el elemento seleccionado para esta función. Se realizó la misma selección por medio de la metodología planteada por Dieter la cual realiza una matriz de factor de pesos como se ve en la tabla 11, esta matriz hace un análisis entre las diferentes necesidades del subsistema y determina cual es el factor o necesidad que tiene más relevancia, para posteriormente con una matriz de decisión que cuenta con las alternativas propuestas y donde se introduce el factor de peso, se seleccione la alternativa que cumple de mejor manera las necesidades planteadas, tomando como base la que cumple de mejor manera con la función principal de la matriz de pesos. A continuación, se presenta la tabla 11 factor de peso.

TABLA 11. FACTORES DE PESOS

	AC	MM	TD	CM	F.P.	
AC		0	0	0	0	0
MM	1		0	0	1	0.16666667
TD	1	1		0	2	0.33333333
CM	1	1	1		3	0.5
TOTAL					6	

La tabla 12 presenta la matriz de decisión con base en el factor de peso y las alternativas.

TABLA 12. MATRIZ DE DECISIÓN

	F.P.	A1	A2	A3	A4	A5	A6
AC	0	7	0	10	0	10	0
MM	0.16	7	1.16	7	1.16	8	1.33
TD	0.33	3	1	6	2	6	2
CM	0.5	3	1.5	7	3.5	7	3.5
TOTAL		3.66	6.66	6.83	3.66	8.33	5.16

Para ambos casos de selección para el subsistema B, el molino de martillos es el elemento seleccionado que satisface las necesidades planteadas.

6. Ingeniería preliminar de componentes

Con los resultados obtenidos en las evaluaciones de los diferentes subsistemas, se realizó la combinación de los mecanismos que fueron utilizados para desarrollar el elemento final, estos dispositivos son:

- Para el sistema de introducción de material – se diseñó un acceso para el material que por medio de la fuerza de gravedad permite la entrada a la zona de molienda.
- Para el sistema de molienda – Las tablas indicaron que el mecanismo que cumple mejor con los requerimientos del subsistema es el molino de martillos.
- Para el sistema separador – El análisis previo indicó al elemento mesa densimétrica como herramienta para realizar la separación por medio de la densidad.
- Para el sistema recolector – Los contenedores de plástico de bajo costo y de fácil transporte son los elementos seleccionados.

6.1 Cronología de conceptos

Lo primeros pasos de este trabajo arrojaron un primer concepto figura 8 en el cual se tenía contemplado un sistema de corte y triturado del mecanismo, una separación por mesa densimétrica y la recolección. En las figuras 9, 10, 11 y 12 se presenta la evolución cronología de los conceptos

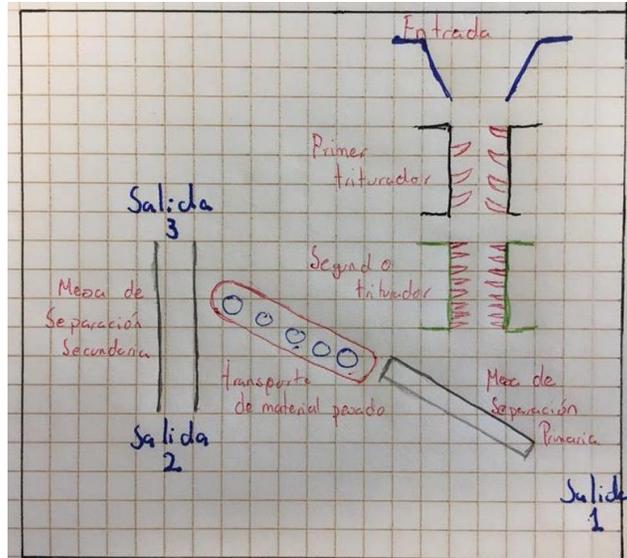


FIGURA 8. PRIMER CONCEPTO (DISEÑO PROPIO)

En el segundo concepto introduce el molino de martillos como resultado de los pasos anteriores en la selección de elementos de los subsistemas.

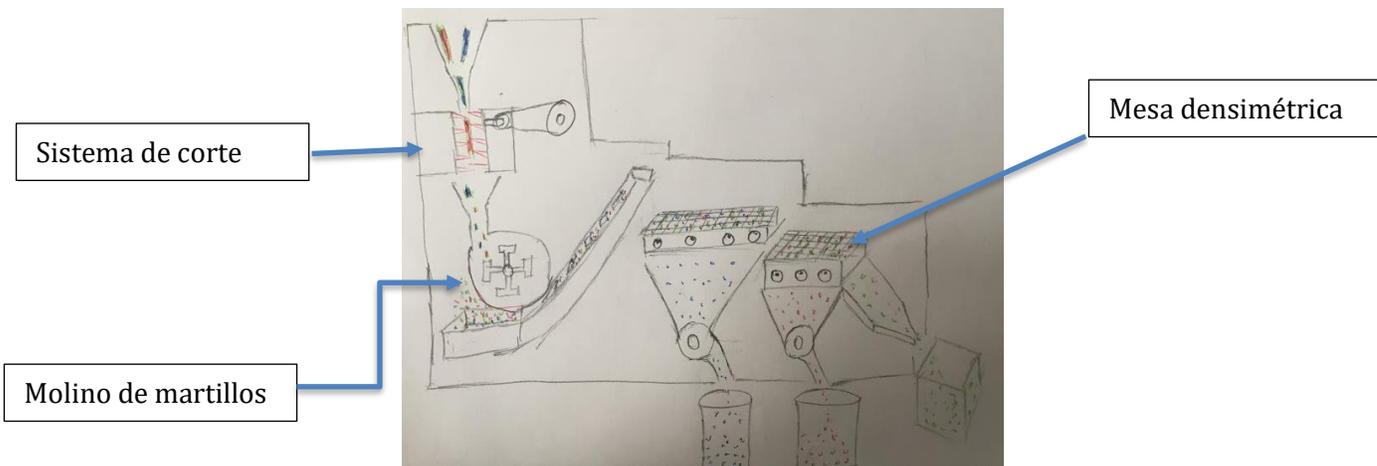


FIGURA 9. SEGUNDO CONCEPTO DE CONFIGURACIÓN (DISEÑO PROPIO)

El tercer concepto remueve el sistema de corte y lo sustituye por un sistema triturador bajo el mecanismo de cono, del cual la salida llega al molino de martillos para posteriormente realizar la separación por medio de la mesa densimétrica.

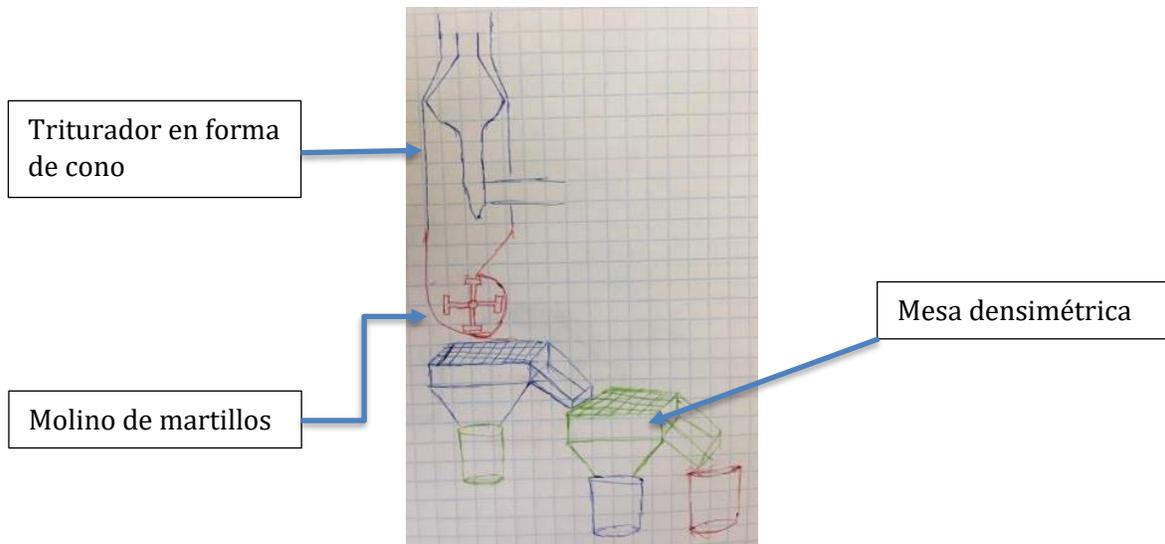


FIGURA 10. TERCER CONCEPTO (DISEÑO PROPIO)

El cuarto concepto desarrollado intercambia el sistema de triturado cónico de la entrada por un sistema de martillos primario manteniendo un segundo sistema de martillos y el principio de la mesa densimétrica

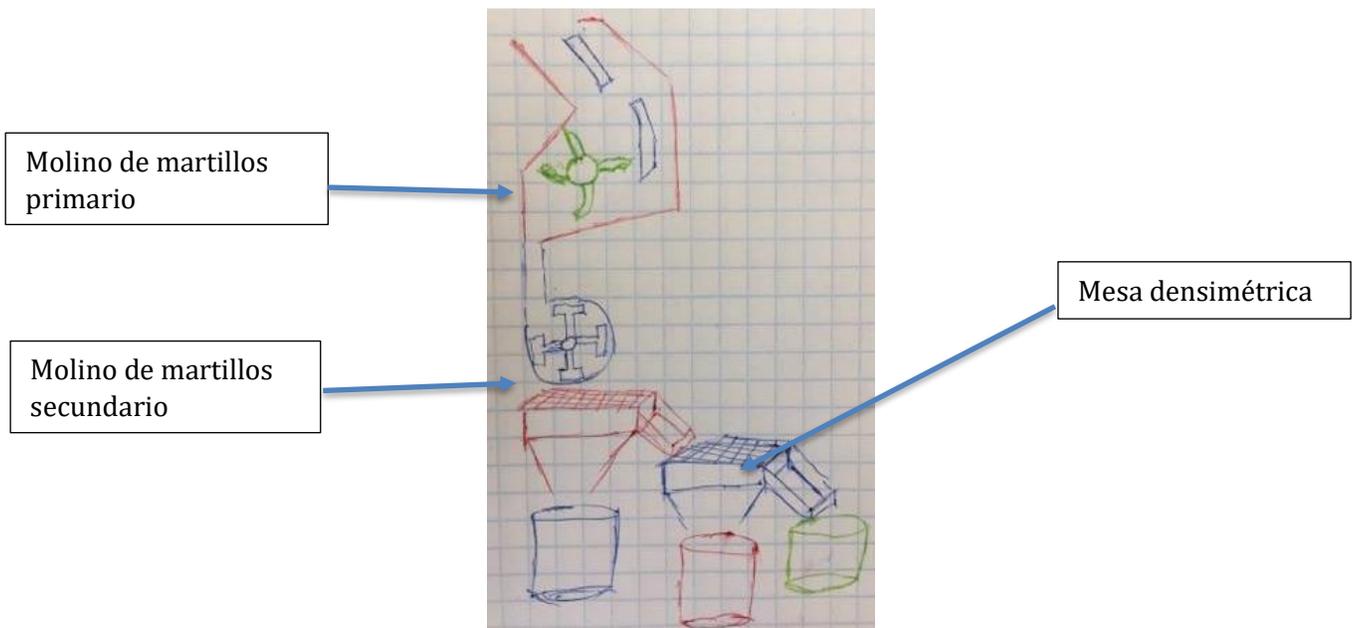


FIGURA 11. CUARTO CONCEPTO (DISEÑO PROPIO)

El quinto concepto suprime el primer molino de martillos para reducir pasos en el proceso como fue indicado en el objetivo de este trabajo realizando un rediseño del molino para que sea capaz de satisfacer los requerimientos del subsistema, y manteniendo el principio de la mesa densimétrica para la separación de los cuerpos, del mismo modo la recolección del material final es por medio de los contenedores de plástico y la entrada del sistema se diseñó para que por medio de la gravedad él material entre en la cámara de molienda.

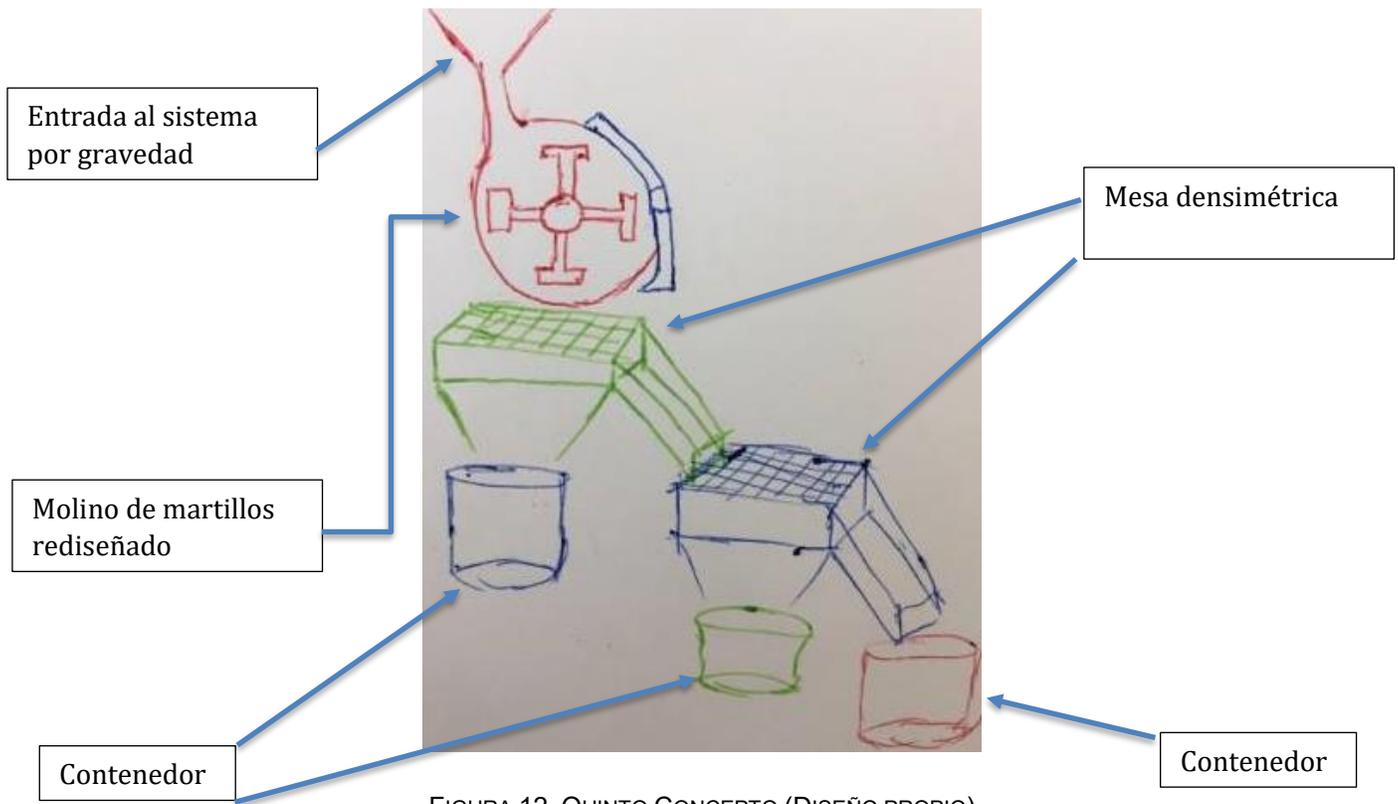


FIGURA 12. QUINTO CONCEPTO (DISEÑO PROPIO)

6.2 Pruebas con molino de martillos

Las pruebas se llevaron a cabo en dos secciones, la primera consta de la fabricación de un prototipo el cual sirvió para comprobar que el molino de martillos es capaz de quitar el recubrimiento del cable (principio de funcionalidad), del mismo modo se hizo uso de este prototipo para encontrar los rangos de trabajo (velocidad del motor). La segunda parte de las pruebas se realizaron con un molino comercial, con la intención de observar las variables a modificar, y proponer un rediseño final.

6.2.1 Prototipo de molino de martillos

Sistema que asemeja el golpe de una solera contra el cable, en un sistema de Molino por martillos, donde la solera genera un proceso de desgaste sobre el material, dicho desgaste se presenta en forma de desgarramiento del plástico que recubre el metal al punto de generar un rompimiento de este. Después el impacto continua sobre el cable de metal el cual de la misma manera por desgaste es fracturado.

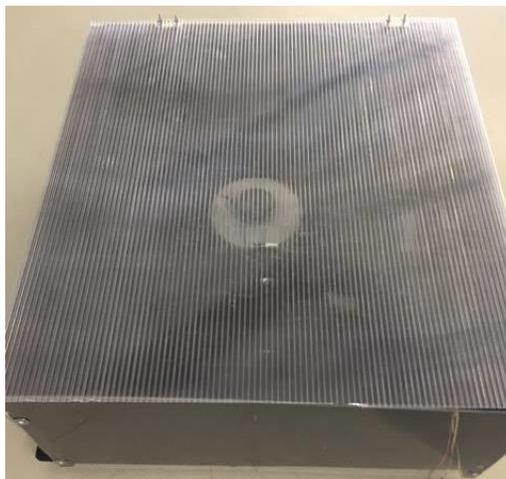
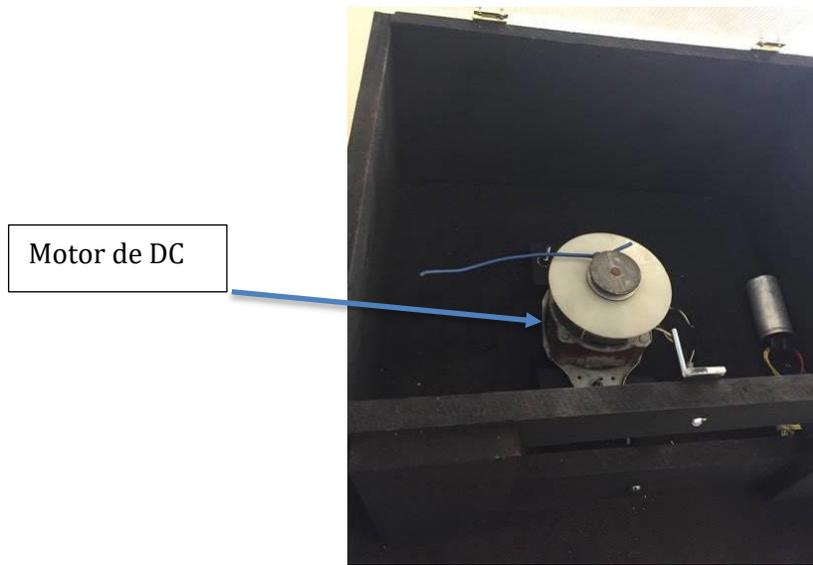


FIGURA 13. VISTA SUPERIOR DEL PROTOTIPO 1 (FABRICADO)

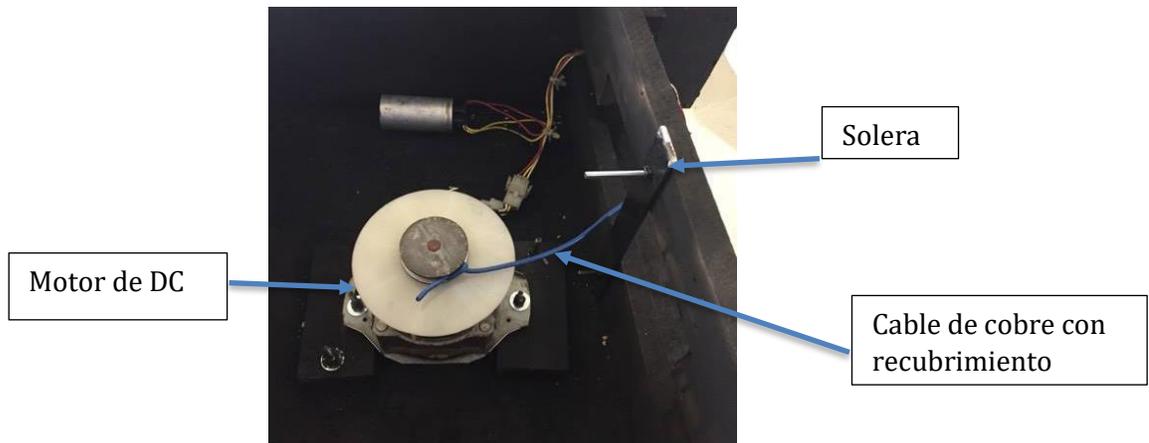


FIGURA 14. VISTA TRIMÉTRICA DEL PROTOTIPO (FABRICADO)



Motor de DC

FIGURA 15. VISTA DEL INTERIOR DEL PROTOTIPO (FABRICADO)



Motor de DC

Solera

Cable de cobre con recubrimiento

FIGURA 16. VISTA DEL PUNTO DE IMPACTO DEL CABLE CON LA SOLERA (FABRICADO)

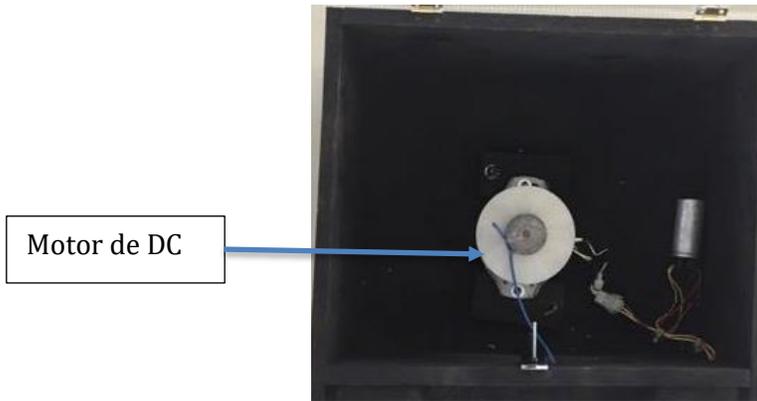


FIGURA 17. VISTA SUPERIOR DEL PUNTO DE IMPACTO DEL CABLE CON LA SOLERA (FABRICADO)

El resultado del experimento se presenta en las figuras 18 y 19, donde se observa la separación del núcleo metálico del recubrimiento.

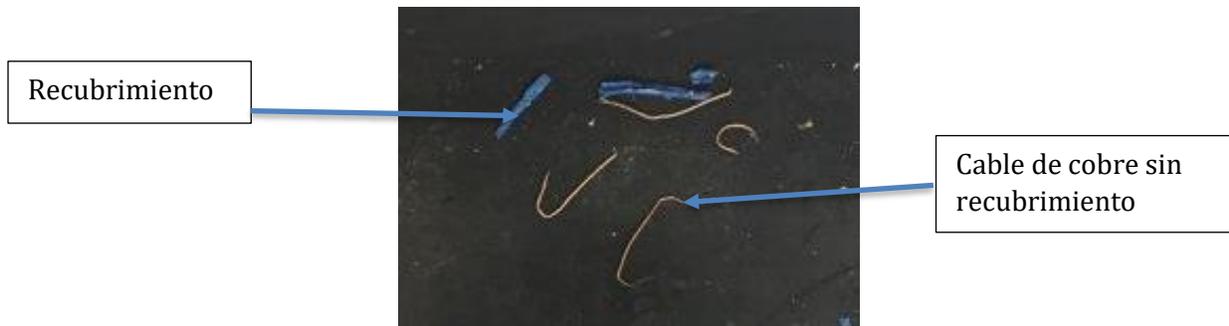
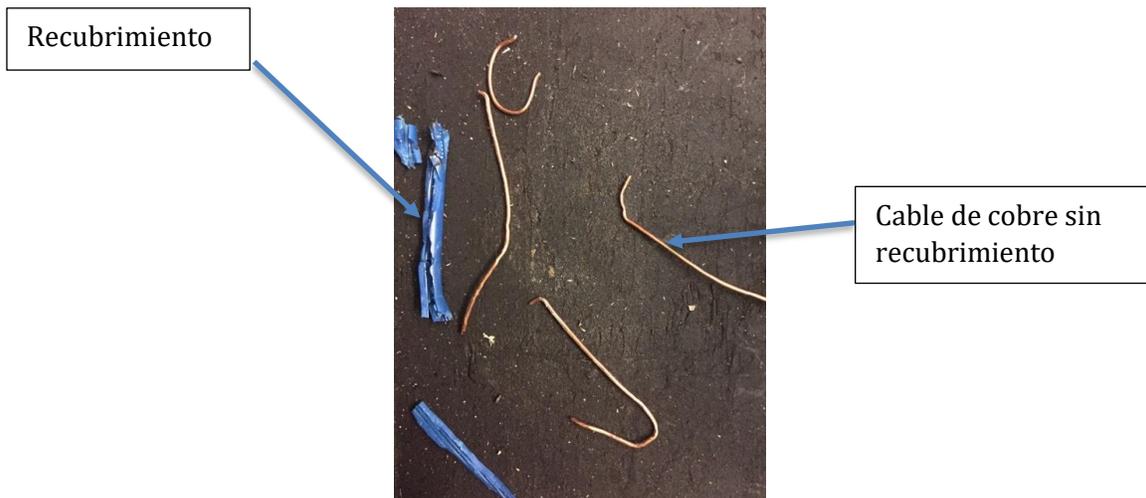


FIGURA 18. CABLE PELADO POR PROTOTIPO 1



6.3 Experimento de velocidades

Se realizó un ajuste en el prototipo funcional para adaptarlo a un motor de corriente directa de una potencia de 1 Hp, y de dos polos, por lo que este motor entrega una velocidad máxima de 1800 rpm. Se utilizó una fuente de voltaje de 48 volts para poder controlar la velocidad del motor y con ello poder establecer parámetros de trabajo de la máquina. Los parámetros de velocidad se presentan en la tabla 13.

TABLA 13. RELACIÓN DE VOLTAJE CON RPM'S

Volts	RPM
0	0
6	225
12	450
18	675
24	900
30	1125
36	1350
42	1575
48	1800

Para el experimento se utilizó un cable de calibre 12 de cobre con recubrimiento de polímero, el cable fue dividido en trozos de 25 centímetros de largo asegurando tres trozos para cada una de las velocidades de prueba. Para fijar el tiempo se realizaron unas pruebas las cuales constaron de introducir el cable en el prototipo y dejarlo operar por periodos de tiempo de 30 segundos, 60 segundos, 90 segundos 120 segundos y 150 segundos, de lo observado en estas

pruebas se fijó un tiempo de 90 segundos para los experimentos. Los pasos para cada iteración del experimento fueron:

- Fijar el voltaje en la fuente para la velocidad seleccionada.
- Introducir el cable en el prototipo.
- Encender el dispositivo por el tiempo establecido.
- Retirar el cable del dispositivo.
- Observar la muestra para fijar una calificación.

Con base en el diseño de experimentos se realizó una aleatorización del experimento (que velocidad es la que se prueba) para esta aleatorización se utilizó la página <http://www.alazar.info/generador-de-numeros-aleatorios-sin-repeticion>, a cada uno de los resultados se le asignó un valor de 0 a 5 donde 0 es no cumple el requisito y 5 es lo cumple por completo, con estas calificaciones se realizó un análisis de medias para la selección de la velocidad óptima. Cada una de las velocidades fue probada 3 veces es decir existieron tres repeticiones de cada una de las velocidades, la tabla 14 muestra los resultados obtenidos.

TABLA 14. RESULTADO DE LOS EXPERIMENTOS DE LA VELOCIDAD DE TRABAJO

Rep eti ción	Volts								
	6	12	18	24	30	36	42	48	
1	0	2	3	4	5	3	4	5	
2	3	3	3	2	2	3	5	4	
3	1	4	3	1	3	4	4	5	

Posterior a los resultados se utilizó un análisis de varianza de medias (ANOVA) para determinar la mejor velocidad, primero contrastando las medias con la hipótesis “todas las medias son iguales o al menos una es diferente”, se utilizó un análisis de Tukey para encontrar la mejor velocidad de trabajo. La tabla 15 muestra en análisis de ANOVA.

TABLA 15. TABLA DE ANOVA

Tabla ANOVA					
	SC	GL	CM	F	F tablas
Tratamientos	23.33	7	3.33	2.96	2.66
Error	18	16	1.12		
Total	41.33				

Los resultados del análisis de la tabla de ANOVA enmarcan una diferencia entre medias, por lo que se realizó un análisis por medio de la prueba de Tukey para la determinación de la velocidad óptima de trabajo. La tabla 16 muestra las medias a comparar.

TABLA 16. COMPARACIONES PARA TUKEY

	Valor	Media
A	6	1.333333333
B	12	3
C	18	3
D	24	2.333333333
E	30	3.333333333
F	36	3.333333333
G	42	4.333333333
H	48	4.666666667

La tabla de valores de Tukey con una significancia de 95% dictamina que el valor de la estadística para este problema es de: 4.70 la tabla 17 enlista las medias a comparar.

TABLA 17. COMPARACIONES DE TUKEY

Comparaciones	Diferencia	Error estándar	Comparador	Conclusión
A VS B	4.333333333	0.75	3.525	N
A VS C	4.333333333	0.75	3.525	N
A VS D	3.666666667	0.75	3.525	N
A VS E	4.666666667	0.75	3.525	N
A VS F	4.666666667	0.75	3.525	N
A VS G	5.666666667	0.75	3.525	N
A VS H	6	0.75	3.525	N
B VS C	0	0.75	3.525	S
B VS D	0.666666667	0.75	3.525	S
B VS E	6.333333333	0.75	3.525	N
B VS F	6.333333333	0.75	3.525	N
B VS G	7.333333333	0.75	3.525	N
B VS H	7.666666667	0.75	3.525	N
C VS D	0.666666667	0.75	3.525	S
C VS E	6.333333333	0.75	3.525	N
C VS F	6.333333333	0.75	3.525	N
C VS G	7.333333333	0.75	3.525	N
C VS H	7.666666667	0.75	3.525	N
D VS E	5.666666667	0.75	3.525	N
D VS F	5.666666667	0.75	3.525	N
D VS G	6.666666667	0.75	3.525	N
D VS H	7	0.75	3.525	N
E VS F	0	0.75	3.525	S
E VS G	7.666666667	0.75	3.525	N
E VS H	8	0.75	3.525	N
F VS G	7.666666667	0.75	3.525	N

F VS H	8	0.75	3.525	N
G VS H	9	0.75	3.525	N

Reorganizando las medias en el formato de Tukey se presenta la tabla 18 que indica la media que cumple de mejor manera el requerimiento.

TABLA 18. RESULTADO DE TUKEY

1.33	A						
3		B	C				
3		B	C				
2.33	A						
3.33			C	D			
3.33			C	D	E	F	
4.33					E	F	G
4.66							H

La media H equivalente a 1800 rpm es la velocidad seleccionada por la prueba de Tukey como la mejor velocidad para remover el recubrimiento del cable metálico. La velocidad fue utilizada para el cálculo de las fuerzas a la que está sometido el dispositivo. El valor final de esta fuerza permite la selección de piezas comerciales, así como del material de fabricación.

6.4 Experimento con molino comercial

Los resultados arrojados por el prototipo funcional de la primera parte del experimento comprueban que el principio de martillado cumple con los requerimientos del subsistema. Por consiguiente, se realizó la prueba en un molino comercial de martillos con lo que se diseñó la configuración final. Para el experimento se utilizó un molino de 28 martillos con un tamizado de 8 mm.

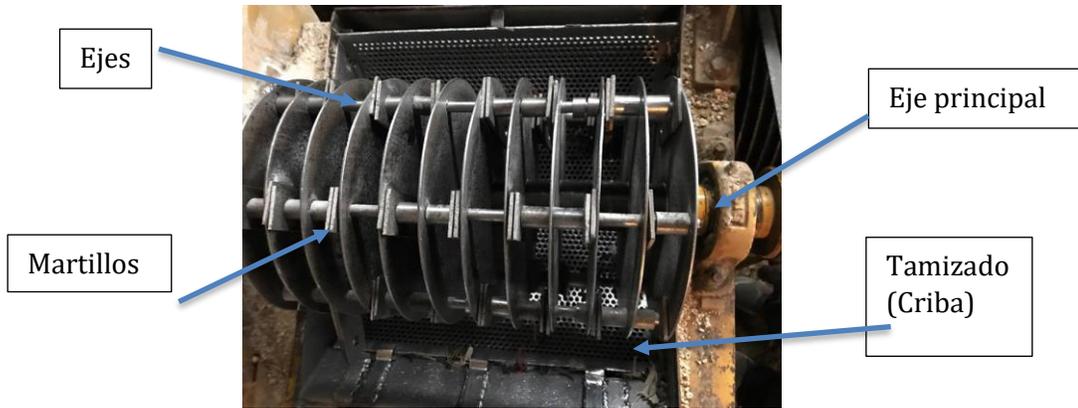


FIGURA 20. MOLINO DE MARTILLOS COMERCIAL



FIGURA 21. TAMIZ DE 8MM DEL MOLINO DE MARTILLOS

Se realizó el experimento con cables de diferentes espesores, así como diferente composición, es decir cable que dentro del aislante tenía núcleo de metal y cables que dentro del aislante contaban con una segunda capa de aislante y después el núcleo metal, del mismo modo los espesores del metal y del cable fueron de diferentes calibres. Otro factor importante que se observó fue que el cable enmarañado tenía un comportamiento diferente al que no lo estaba, por lo que se introdujeron cables desenrollados y cables enmarañados. El último punto que se verificó fue la velocidad, partiendo de una velocidad menor a la obtenida en el rango de trabajo con la finalidad de ver si existía alguna variación a los resultados previos, subiendo a la velocidad indicada por el experimento y

finalmente una velocidad por arriba de la indicada. Las figuras 22, 23, 24, 25 y 26 muestran las condiciones con las que fueron introducidos los cables en el molino. En las figuras 27 y 28 se observan los resultados obtenidos en este experimento.



FIGURA 22. CABLES PARA INTRODUCIR AL MOLINO



FIGURA 23. CABLES PARA MOLINO



FIGURA 24. CABLE ENMARAÑADO PARA MOLINO

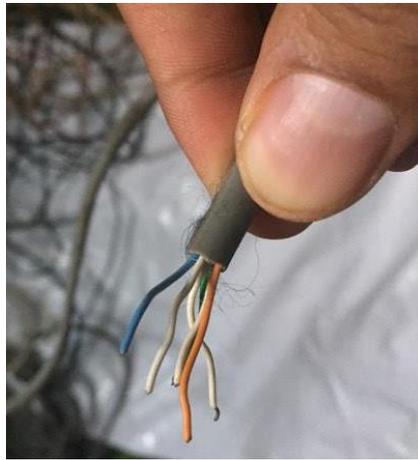


FIGURA 25. COMPOSICIÓN DE CABLES CON DOS CAPAS DE AISLANTE Y NÚCLEO METÁLICO



FIGURA 26. COMPOSICIÓN DE CABLE CON UN SOLO AISLANTE Y NÚCLEO METÁLICO



FIGURA 27. CABLES MOLIDOS



FIGURA 28. CABLE MOLIDO

6.5 Experimento mesa densimétrica

Principio de funcionamiento de la mesa densimétrica.

Para la separación de la molienda del cable de metal con recubrimiento de polímero, se propuso realizar una separación por medio de la diferencia de densidades de los elementos, para ello se hizo uso de una mesa densimétrica utilizada convencionalmente para la separación de semillas en la industria agropecuaria, debido a que es altamente costosa para adquirir una, se realizó un mecanismo que permita probar el principio de funcionamiento. Las muestras

utilizadas para este proceso son las obtenidas de la trituración con el molino comercial.



FIGURA 29. MOLIDA DE CABLES PARA SEPARACIÓN

Para este proceso solo fue posible controlar la cantidad de veces que se introduzca la materia prima (cable molido) al proceso de separado por densidad, dado que no es posible controlar la velocidad de la vibración ni la inclinación. Por ser un prototipo del principio de funcionamiento, solo es posible corroborar si la vibración con una inclinación es capaz de separar los elementos que cuentan con diferentes densidades entre sí. Tras la primera iteración del mecanismo se encontró que se presentó una separación del polímero que en este caso es el material menos denso, pero aún se presentó una alta cantidad del mismo en la mezcla. (Fig. 30)



FIGURA 30. PRIMERA SEPARACIÓN

La segunda iteración del proceso enmarca una mayor separación del polímero de la mezcla, lo que indicó hacer más iteraciones del proceso



FIGURA 31. SEGUNDA SEPARACIÓN

La tercera iteración entregó un mejor resultado, la mezcla de materiales sigue presentado un gran contenido de polímero como se aprecia en la figura 32.



FIGURA 32. TERCERA SEPARACIÓN

La cuarta iteración entregó un mejor resultado en la separación de los materiales. Se decidió realizar una quinta repetición del experimento como confirmación de los resultados obtenidos en las iteraciones pasadas.



FIGURA 33. CUARTA SEPARACIÓN

La figura 34 muestra la última iteración del experimento donde de lado izquierdo se muestran los trozos de polímero separados de la mezcla, del lado derecho se presenta el metal separado de la mezcla, de mismo modo es posible observar que el metal aun presenta un % de polímero lo que indicó que es necesario hacer más iteraciones para una separación completa de los elementos.



FIGURA 34. QUINTA SEPARACIÓN

7. Geometría de piezas

7.1 Fuerza de impacto

Debido a que las paredes del molino (tolva) se encuentran sometidas a impactos constantes por los trozos de cable, se calculó la fuerza de los impactos, para con ella poder hacer la selección de material con el objetivo de seleccionar un material resistente, liviano, y económico.

Los datos son:

- Velocidad 1800 rpm
- Masa del objeto 20 gr
- 0.03333 factor de conversión de rpm a Km/h (60 km/h)

Partiendo de la ecuación 1 para el cálculo de la fuerza y haciendo usos de las ecuaciones 2 y 3 para el desplazamiento y la velocidad se presenta:

$$F = ma \quad [1]$$

Donde:

- F= fuerza
- m = masa
- a = aceleración

$$e = e_0 + V_0t + \frac{1}{2}at^2 \quad [2]$$

$$V_F = V_0 + at \quad [3]$$

Donde:

- e = desplazamiento

- e_0 = posición inicial
- t = tiempo que estamos considerando
- V_0 = velocidad inicial (al principio de nuestro intervalo de tiempo)
- V_f = velocidad final (al final de nuestro intervalo de tiempo)
- a = aceleración

En las ecuaciones 2 y 3 las incógnitas son el tiempo de desaceleración (tiempo de impacto o deformación) y la aceleración a . Se consideró un desplazamiento de 0,05 metros (distancia entre el punto final de la solera y la tolva) y la velocidad final del cuerpo al momento del impacto es 0 km/h. La velocidad inicial fue, 60 km/h x 1000m/1km x 1h/3600s = 16.66 m/s

Se presentan 2 ecuaciones con dos incógnitas despejando la aceleración de 3 y sustituyendo en 2 tenemos:

$$a = \frac{V_f - V_0}{t} \quad [4]$$

$$e = e_0 + V_0 t + \frac{1}{2} \left(\frac{V_f - V_0}{t} \right) t^2 \quad [5]$$

Resolviendo con los valores antes mencionados:

- $t=0.0016s$
- $a = -36000 \text{ m/s}^2$

sustituyendo en la ecuación 1 la fuerza es:

- Fuerza= 720 N

7.2 Rodamientos

Para la selección de los rodamientos que son el soportar del eje del molino, se utilizaron rodamientos de bolas, el cálculo para encontrar el adecuado esta dado por las ecuaciones 6,7 y 8

Capacidad de carga

$$C = F_0 \left[\frac{X_0}{0.02 + 4.434 \left(\left(\ln \frac{1}{R} \right)^{1.483} \right)} \right]^{\frac{1}{a}} \quad [6]$$

Donde

- C= Capacidad de carga
- F_0 = Fuerza sometida
- R= confiabilidad
- a = Factor del rodamiento (para rodamientos de bolas $a = 3$)

$$F_0 = Af * Rc \quad [7]$$

Donde

- Af = Factor de seguridad
- Rc = Reacción gobernante

$$X_0 = \frac{n_0 L_d^{60}}{1 * 10^6} \quad [8]$$

Donde

- n_0 = Revoluciones por minuto
- L_d = tiempo de vida de diseño

Para este cálculo se estipularon los siguientes valores

- Confiabilidad = 95% = 0.974
- Factor de seguridad = 1.2
- Rpm = 1800
- Tiempo de vida de diseño 50kh

Para el cálculo de la reacción gobernante los valores son:

- Peso del molino = 6.7 kg = 65.72 N
- Largo del molino = 60 cm = 0.6 m

Sustituyendo los valores en las ecuaciones 6,7 y 8 tenemos:

- R_c de 19.716 N
- $F_0 = 23.6592$ N
- $X_0 = 5400$
- $C = 562.502$ N = 0.562 KN

El valor de C en tablas arroja las siguientes medidas para el rodamiento:

- Diámetro Menor = 4 mm
- Diámetro Mayor = 11 mm
- Espesor = 5 mm

Se puede incrementar la seguridad del mecanismo escogiendo valores por arriba de los obtenidos en los cálculos, estos valores indican el mínimo a seleccionar, pero también se considera que seleccionar elementos mucho mayores a los calculados genera un sobredimensionamiento y con ello se elevan los costos de los dispositivos.

8. Materiales

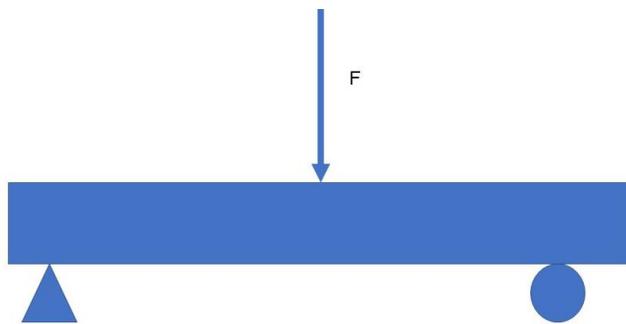
La selección del material para la fabricación de la tolva del molino de martillos, el cual ha sido reconfigurado para la aplicación de remover recubrimientos de polímeros en cables con núcleo de cobre o aluminio, fue realizada por medio del cálculo de los índices de desempeño de la aplicación y del software CES EDUPACK en la versión estudiantil.

Consideraciones importantes

- Fuerza a la que está sometida la cámara de molienda
- Números de ciclos
- Espesor de pared

En la reconfiguración del molino, se adaptó la tolva a una forma cilíndrica acortando las distancias de las paredes para el impacto, por lo consiguiente se tomó la geometría de un cilindro para el análisis. Del mismo modo para la fuerza a la que se encuentra sometido el cuerpo se estableció una carga puntual que a su vez es multiplicada por el número de martillos para el cálculo un ciclo durante 1 segundo. Así mismo el periodo de trabajo de la maquina por día se estipuló de 8 horas y 20 días al mes.

8.1 Índices de desempeño



El modelo de carga puntual se describe en el diagrama de la derecha

DIAGRAMA 6. ANÁLISIS DE CARGAS.

Del tipo de carga y tomando una sección cuadrada solida se realizó un corte infinitesimal del cuerpo presentado anteriormente, la fuerza está dada por la ecuación 9

$$F_t = CI \frac{\sigma}{L} \quad [9]$$

Donde:

- F_t = fuerza aplicada
- C = constante para este caso es 4
- I = segundo momento de área
- L = longitud
- σ = esfuerzo a la cedencia

De igual manera el caso en estudio presenta desgaste por lo que se considera la ecuación del cálculo de ciclos con base en el esfuerzo dada por la ecuación 10

$$N_{cr} = N_f \left(\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_f} \right)^{\frac{1}{b}} \quad [10]$$

Donde:

- N_{cr} = ciclos deseados
- N_f = ciclos para fractura establecido en 10^3
- σ_{cr} = esfuerzo que satisface los ciclos de N_{cr}
- σ_f = esfuerzo de fractura establecido como 0.9 el esfuerzo último
- b = constante dada por la ecuación 11

$$b = \frac{\ln\left(\frac{\sigma_f}{\sigma_e}\right)}{\ln\left(\frac{N_f}{N_e}\right)} \quad [11]$$

Donde:

- σ_e = esfuerzo de perpetuidad establecido como un medio por 0.3 el esfuerzo último
- N_e = ciclos de perpetuidad establecido en 10^8

Las restricciones del problema estipulan disminuir el peso. Se realizó un análisis para encontrar la relación que satisface dichos requerimientos

La ecuación 12 entrega el valor de la masa con relación a la densidad, espesor de pared y longitud del cuerpo en estudio.

$$m = pLw^2 \quad [12]$$

Donde:

- M = masa
- p = densidad
- L = longitud
- w = espesor de pared

Despejando de la ecuación 10 los ciclos, sustituyendo en la ecuación 9 y despejando para el espesor de pared tenemos la ecuación 13

$$w = \left(3F_t \frac{L}{\frac{b\sqrt{N_{cr}\sigma_f}}{N_f}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad [13]$$

Sustituyendo 13 en 12:

$$m = \rho l \left(3F_t \frac{L}{\frac{b\sqrt{N_{cr}\sigma_f}}{N_f}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad [14]$$

Se realiza el acomodo de las variables y se linealiza para el índice de desempeño donde se observa la relación entre el esfuerzo y la densidad. El índice de desempeño está dado por la ecuación 15.

$$\frac{\sigma_f^{1/2}}{\rho} \quad [15]$$

El cálculo del segundo índice de desempeño relaciona el costo del material con el esfuerzo y la densidad de este.

$$\$ = \rho W^2 LC_m \quad [16]$$

Donde:

- \$ = costo
- p = densidad
- w = espesor de pared
- L = longitud
- C_m = costo del material

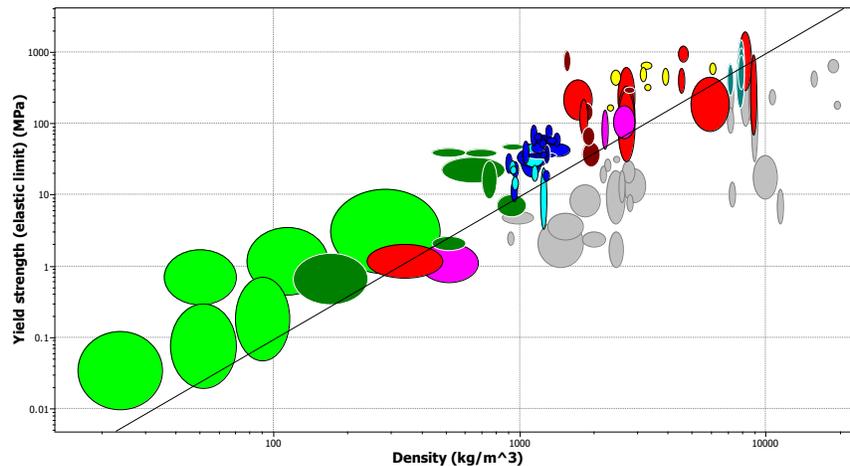
Siguiendo los mismos pasos que para el primer índice de desempeño el segundo esta dado por la ecuación 17 y es la relación entre el esfuerzo la densidad y costo de material.

$$\frac{\sigma_f^{1/2}}{\rho C_m}$$

[17]

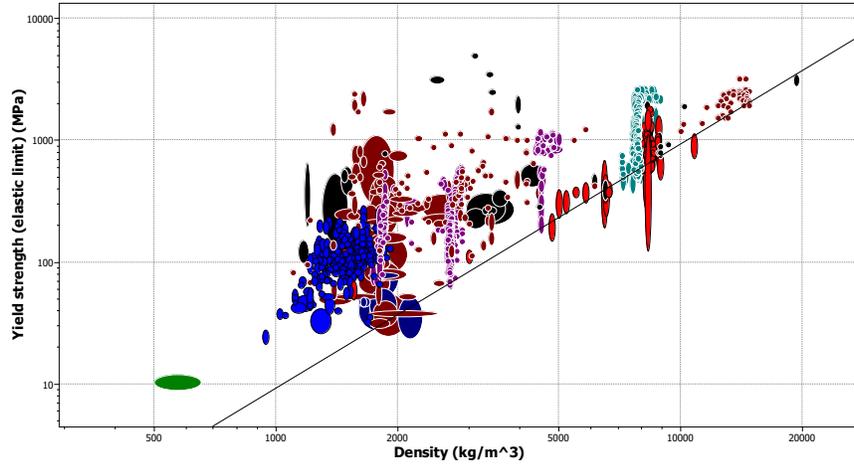
8.2 CES EDUPACK (versión estudiantil)

El software cuenta con diferentes niveles de profundización de materiales, el nivel dos es considerado el básico, por lo que es recomendable empezar a realizar la eliminación de materiales en este nivel, posterior al nivel dos está el nivel tres el cual cuenta con un gran número de materiales, ya eliminado cierto número de elementos y si es posible familias de materiales se avanza al nivel tres para continuar la selección. Se realizó la primera selección con el nivel dos del software y el primer índice de desempeño introduciendo la recta con pendiente 2, y para su posicionamiento se consideró la investigación previa de los materiales de construcción de estas aplicaciones donde sobre salen los aceros de alto contenido de carbón como se muestra en la gráfica 1



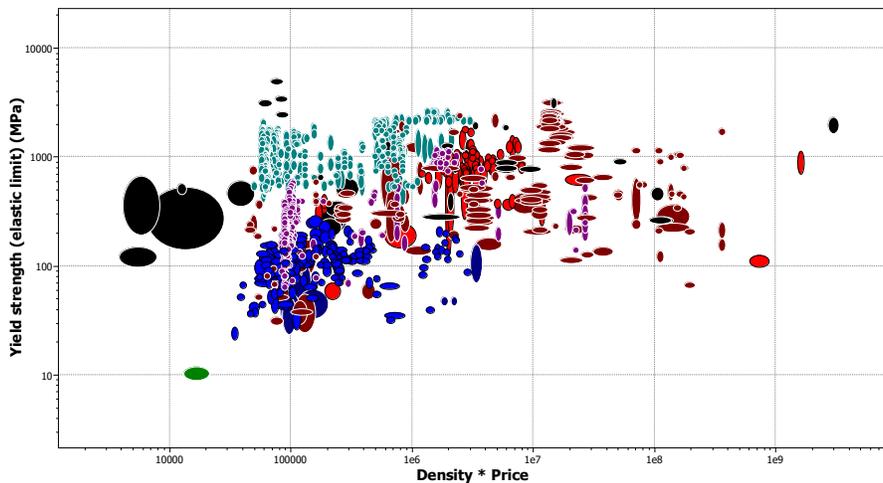
GRÁFICA 1. NIVEL 2 DEL CES EDUPAK ÍNDICE DE DESEMPEÑO

El nivel 3 del software presentan 2476 materiales como se muestra en la gráfica 2, después de descartar materiales posicionados por debajo de la recta del primer índice de desempeño con la finalidad de optimizar la función.



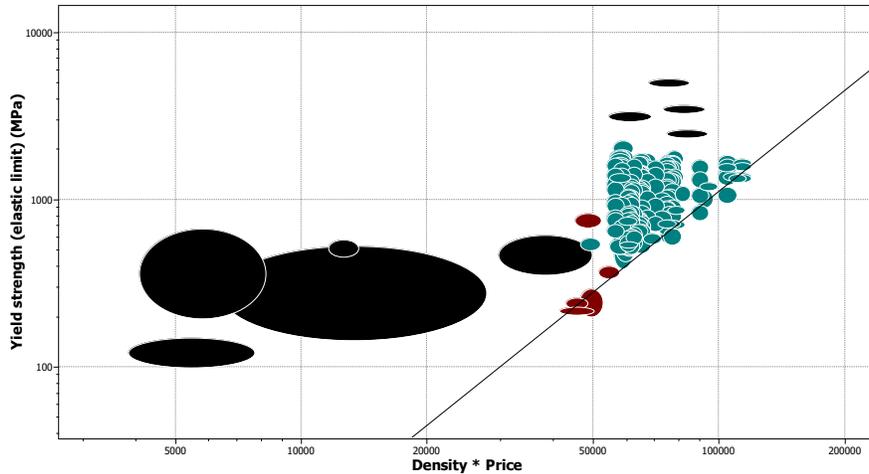
GRÁFICA 2. NIVEL 3 DEL CES EDUPAK PRIMER ÍNDICE DE DESEMPEÑO APLICADO

Los resultados de las dos primeras gráficas son con un solo índice, al incorporar el segundo índice de desempeño se presenta la gráfica 3.



GRÁFICA 3. NIVEL 3 DEL CES EDUPAK SEGUNDO ÍNDICE DE DESEMPEÑO

Para el posicionamiento del segundo índice de desempeño se realizó el cálculo del valor de la pendiente con un costo máximo de 400 pesos por kilogramos y tomando la densidad del acero al carbón, así como el cálculo del esfuerzo que satisface el número de ciclos establecido previamente. La gráfica 4 muestra 1301 materiales que cumplen con los requerimientos.



GRÁFICA 4. NIVEL 3 DEL CES EDUPAK SEGUNDO ÍNDICE DE DESEMPEÑO APLICADO

Con base en los estudios de los molinos de martillos y su funcionamiento se denota que la rugosidad y las tolerancias son factores con un bajo peso en el funcionamiento del elemento. Por lo que en el siguiente paso se consideró solo la forma cilíndrica del elemento para con ello empezar la selección del proceso de formado.

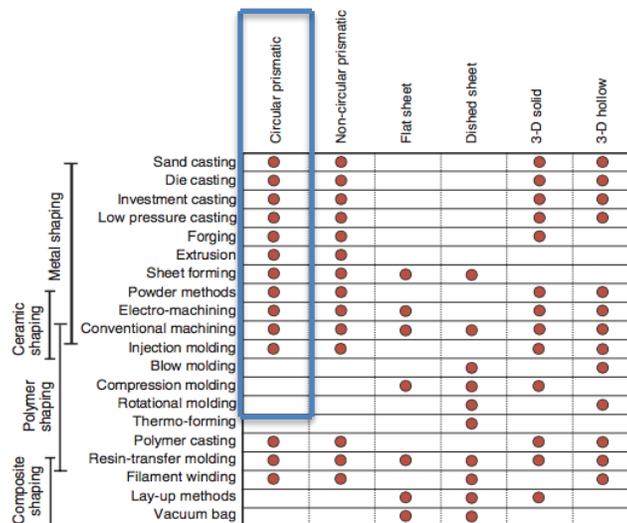


FIGURA 35. PROCESOS DE MANUFACTURA CONSIDERANDO FORMA DEL OBJETO

Se analizó los procesos que son capaces de dar la forma circular prismática, posteriormente la cantidad de masa para el molino el cual está establecida entre los 8 y 12 kg.

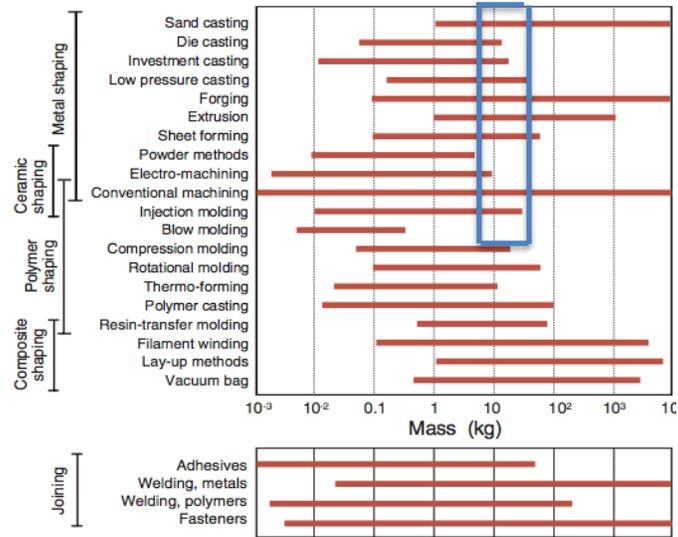


FIGURA 36. PROCESOS DE MANUFACTURA CONSIDERANDO LA MASA DEL OBJETO

El espesor es de 6 a los 12 mm. Con base en los molinos comerciales.

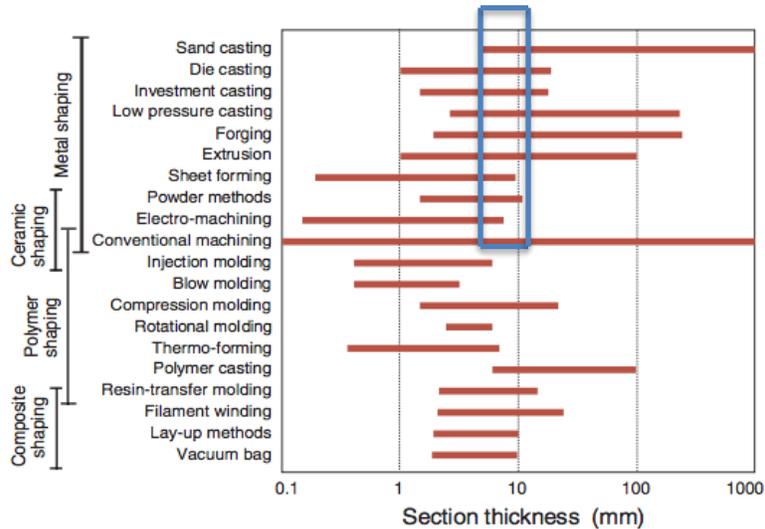


FIGURA 37. PROCESOS DE MANUFACTURA CONSIDERANDO ESPESOR DE PARED

El número de piezas en el lote es importante para la selección del proceso de formado del elemento, en el caso del rediseño se generará un elemento por lo que este

número es 1. Cabe resaltar que a medida que crece el número de piezas de un lote los procesos de formación cambian.

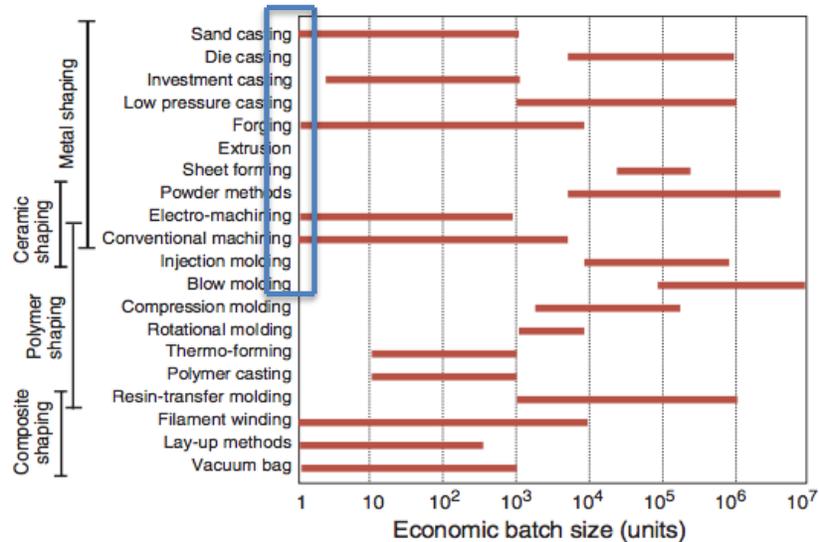


FIGURA 38. PROCESOS DE MANUFACTURA CONSIDERANDO NÚMERO DE LOTE DE PIEZAS

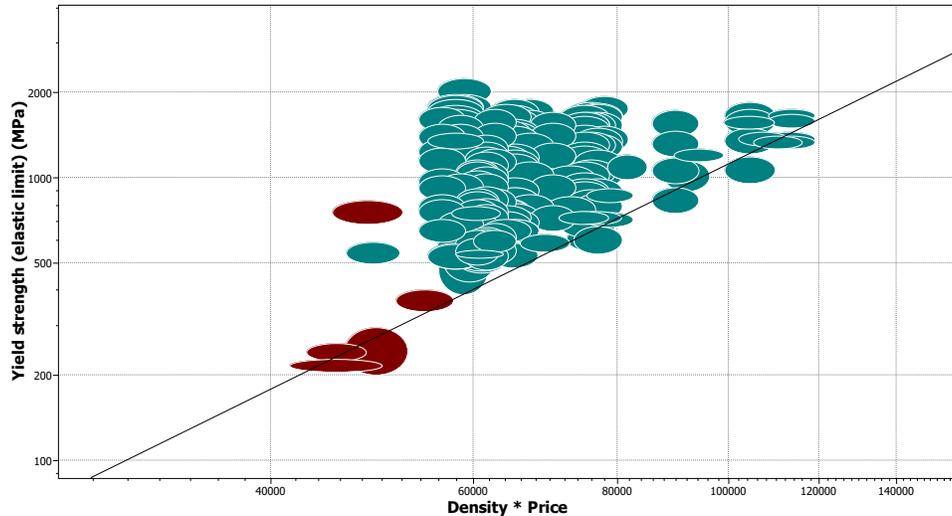
Las consideraciones pasadas entregaron los procesos recomendados para el formado del molino los cuales son:

- Conformado por arena.
- Forja.
- Maquinado convencional (arranque de viruta).

El tamaño de la pieza condiciona el proceso de formado por arranque de viruta por lo que se descarta con base en el tiempo de fabricación de la pieza. Los procesos de formado por arena y forja son más viables para este elemento. Dado que las propiedades que entrega el proceso de forjado ayudan a las especificaciones de la aplicación se decidió implementar este proceso.

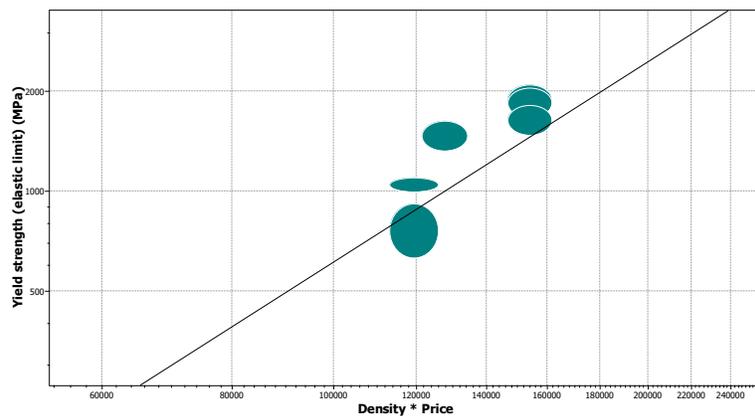
Del mismo modo otro rubro importante son las uniones de las piezas, dado que el cilindro es el receptor de los diferentes elementos para la conformación del molino finalizado. Se decidió que los elementos fueran soldados a este componente.

Se incorporó en el proceso de selección de materiales los puntos estudiados previamente que son el proceso de formado por lo que el software entregó 242 materiales como se muestra en la gráfica 5



GRÁFICA 5. NIVEL 3 DEL CES EDUPAK SEGUNDO ÍNDICE DE DESEMPEÑO Y PROCESO DE MANUFACTURA

Se incorporó en la selección la restricción de la unión de pizzas por medio de soldadura, con lo que el software entregó una lista de 6 posibles materiales para trabajar, todos son aceros inoxidables martensítico. Como se ve en la gráfica 6. La tabla 19 presenta los materiales para la fabricación de la tolva del molino de martillos.



GRÁFICA 6. NIVEL 3 CES EDUPAK SEGUNDO ÍNDICE DE DESEMPEÑO Y FACTIBILIDAD DE SOLDADURA DE MATERIAL

TABLA 19. MATERIALES POSIBLES PARA LA FABRICACIÓN

Nombre
Acero inoxidable martensítico, AISI 410, templado intermedio.
Acero inoxidable martensítico, AISI 410, templado a temperaturas altas.
Acero inoxidable martensítico, AISI 420, templado a 204°C.
Acero inoxidable martensítico, AISI 440B, Templado a 316°C.
Acero inoxidable martensítico, AISI 440C, templado a 316°C.
Acero inoxidable martensítico, AISI 440A, templado a 316°C.

9. Propuesta CAD

Tomando como base los resultados del experimento, se plantean las siguientes modificaciones en el dispositivo del molino.

- Se agrega un eje más de martillos – Esto es debido a que un mayor número de martillos ayuda al corte del material, la figura 39 muestra los 5 ejes.

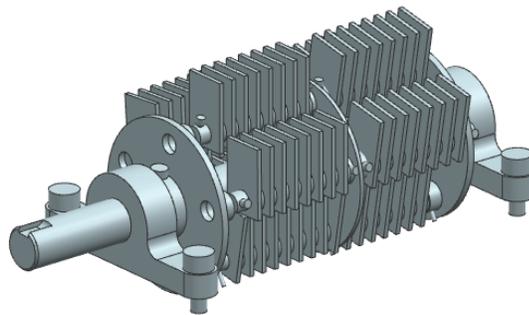


Figura 39. MODELADO DEL MOLINO CON 5 EJES. (MODELADO EN NX).

- La distancia entre martillo se disminuye – Los tamaños de cable cortados son proporcional a la distancia entre martillos, entre más pequeñas las

distancias los cortes son más pequeños lo que evita la generación de nudos en el material de salida. En la figura 40 se observa una vista lateral del conjunto de martillos.

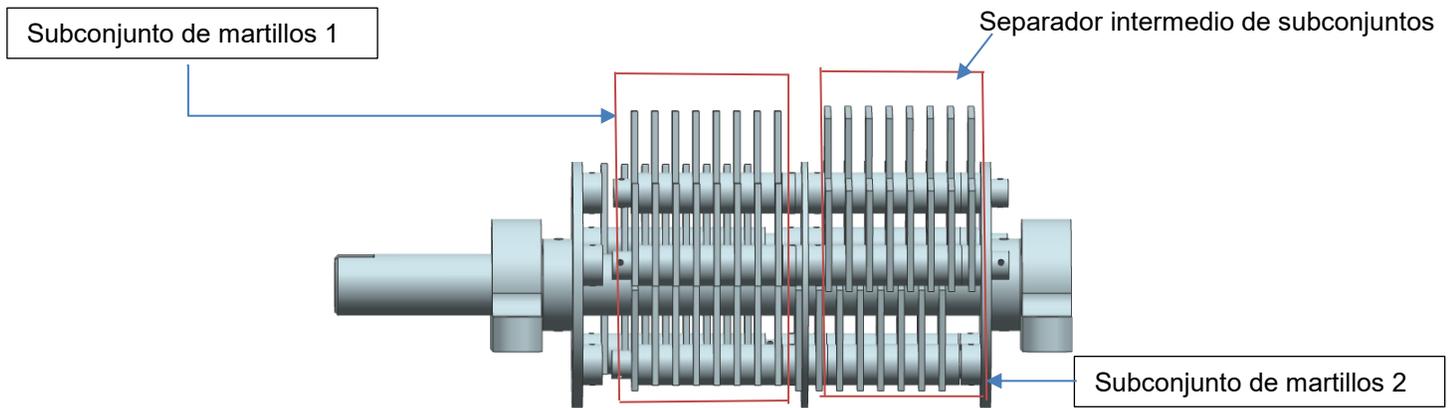


FIGURA 40. VISTA LATERAL DEL MOLINO DE MARTILLOS. (MODELADO EN NX)

- El tamizado (criba) se realizó de un menor diámetro - Con la finalidad de que el tamaño de los cuerpos cortados sean menores, la figura 41 muestra el tamizado del molino de martillos.

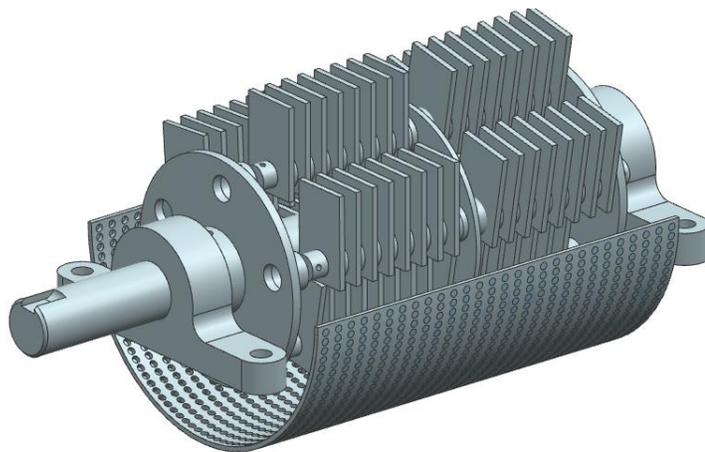


FIGURA 41. MOLINO DE MARTILLOS CON CRIBA. (MODELADO CON NX)

- La recuperación del material molido es inmediata a la salida del tamizado – los molinos actuales después del tamizado mandan el material por un tubo el cual genera nudos en el material, en la figura 42 se observa la vista superior de la cámara de molienda.

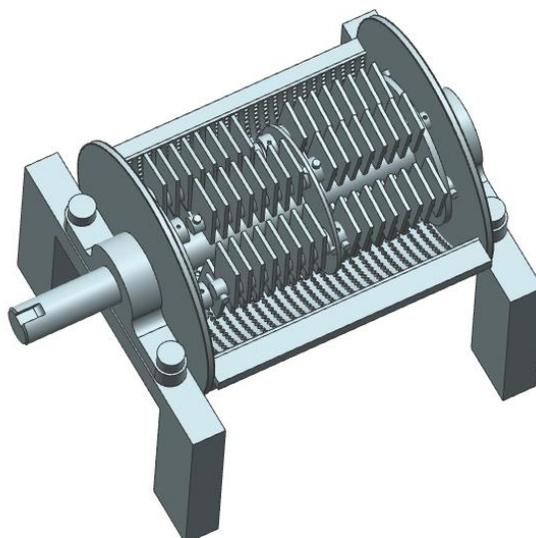


FIGURA 42. VISTA SUPERIOR DE LA CÁMARA DE MOLIENDA. (MODELADO EN NX)

El rediseño consideró el ensamble del molino, debido a que en los molinos comerciales si una pieza (solera) se daña por los impactos se requiere hacer un desarme del molino completo para la reparación, el diseño propuesto cuenta con dos subconjuntos de ejes y soleras, de tal forma que si se daña alguna no sea necesario el retirar todas las partes. En la figura 40 se puede observar el separador intermedio de estos subconjuntos. Y en los anexos se pueden ver los planos de fabricación de las piezas de todo el conjunto del molino.

Se realizó el ensamble del rediseño del molino de martillos tomando las consideraciones de separación de soleras, adaptación de subconjuntos y materiales seleccionados. Las figuras 43, 44 y 45 muestran la configuración final.

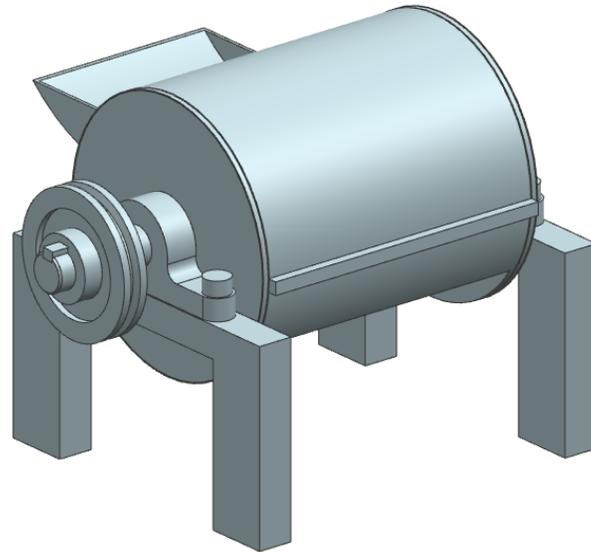


FIGURA 43. ENSAMBLE MOLINO DE MARTILLOS. (MODELADO EN NX)

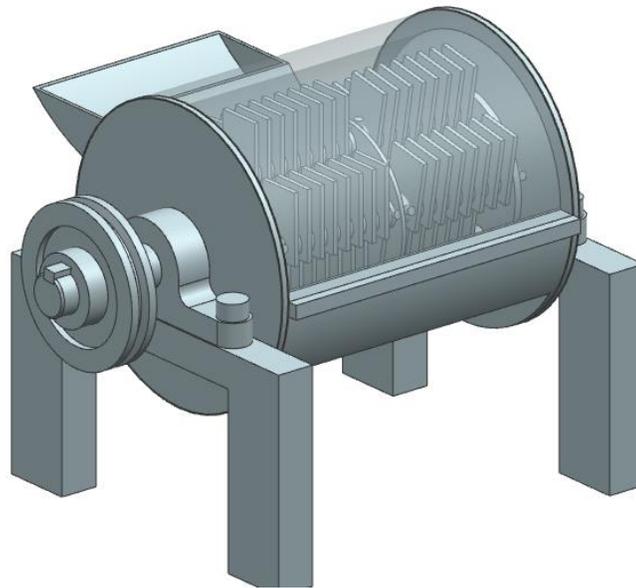


FIGURA 44. MOLINO DE MARTILLOS CON TOLVA TRANSLUCIDA. (MODELADO EN NX)

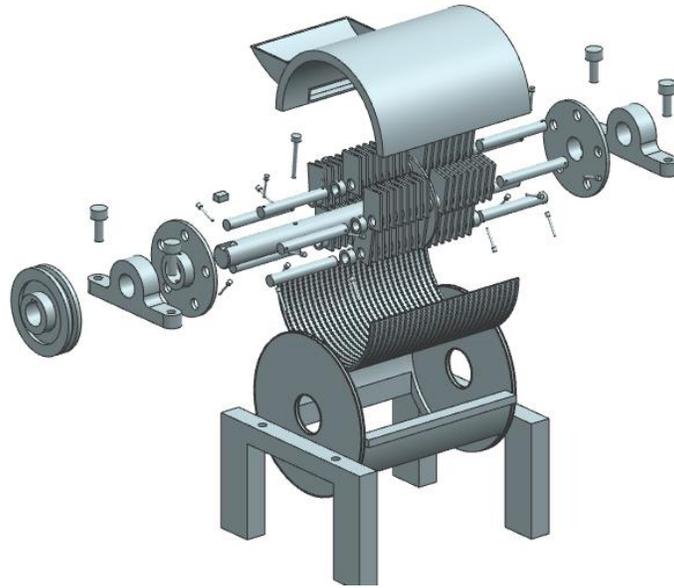


FIGURA 45. EXPLOSIÓN DEL ENSAMBLE DEL MOLINO DE MARTILLOS. (MODELADO EN NX)

10. Propuesta de valor

Eldan Recycling es la mejor empresa de reciclado de cables, con más de 830 plantas de reciclado en 65 países, Fundada en 1956, su base se encuentra en la isla de Fyn, Faaborg Dinamarca, teniendo presencia comercial en Alemania (Neu Lankau), Francia (París), Holanda (Harlem), Reino Unido (Pulborough), EEUU (Sanborn, NY), Australia (Gordon) y Brasil (São Paulo).

10.1 ¿Cómo es su proceso?

El proceso de esta empresa está dividido en 3 subprocesos los cuales son:

1. Molino

- a. Molino Rasper MPR - Este molino desgarrador es realmente eficaz, con velocidad media de rotación, con dos motores, diseñado para el reciclaje de cables. El tamaño típico de salida tras el MPR es de aproximadamente 15-25 mm.

2. Granulador

- a. Granulador Fg - Un granulador de afinado con un rotor de alta velocidad para las etapas de finales de granulación y para la apertura de los cables. Produce gránulos de tamaño entre 4 y 7 mm.

3. Separación

- a. Mesa separadora - Esta máquina separa el metal del resto de materiales, garantizando un producto final puro casi al 100%.

Previo a iniciar este proceso es necesario realizar una separación de los cables de cobre de los de aluminio, así como un corte en los cables para que sean de menor tamaño. Los cuales también forman parte del proceso completo del sistema.

También tenemos plantas para procesar cables subterráneos con grasa y cables rellenos de gelatina.

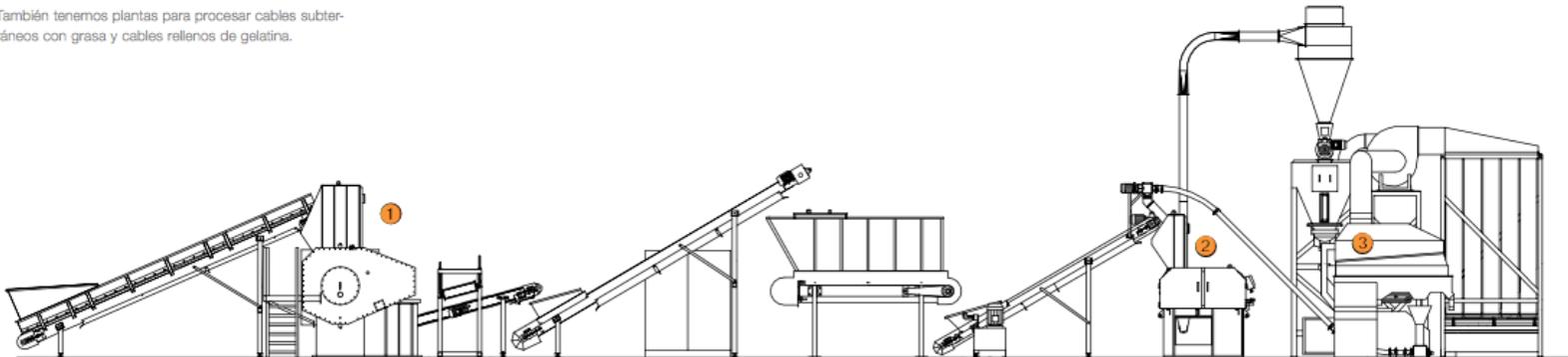


FIGURA 46. PROCESO DE LA EMPRESA ELDAN RECYCLING

10.2 ¿Cuál es la diferencia con la propuesta?

La principal diferencia se encuentra en el paso uno del proceso, debido a que se requiere una previa separación de los cables de cobre de los de aluminio. La propuesta permite la entrada de ambos tipos de cables sin una previa separación manual, del mismo modo al finalizar el proceso este es capaz de

entregar los tres elementos que conforman los diferentes cables por separado. Logrando una reducción en el número de pasos del proceso comercial y con un final satisfactorio.

10.3 Trabajos Futuros

En el 2008 el cobre y sus diferentes aleaciones fueron calificados como uno de los mejores materiales antimicrobianos, lo que llevo a diferentes organismos enfocados en la salud a nuevas consideraciones y nuevos reglamentos laborales, principalmente en hospitales y material quirúrgico. (Asociación Internacional del Cobre, 2015). Se estableció como norma que los instrumentos que son ocupados para realizar algún tipo de cirugía, así como las paredes de los interiores de los hospitales presenten un recubrimiento de cobre, dado que este material evita la proliferación de las bacterias. Para realizar dichos recubrimientos se trabaja con nanopartículas de cobre las cuales son agregadas en la pintura de las paredes o para un baño a las herramientas de cirugía con estas partículas.

Del mismo modo este tipo de recubrimientos no solo es utilizado en este campo. La industria alimenticia está utilizando este tipo de partículas en las granjas de pescados, haciendo un recubrimiento en las sogas o metales que utilizan para los corrales de los diferentes tipos de peces, con ello generan una disminución en la cantidad de bacterias de dichos corrales, así como un decremento en las enfermedades que se presentan en las granjas de peces.

El precio de un kilogramo de cobre tiene un valor promedio de 3.141 dólares con un mínimo de 2.974 y un máximo de 3.249 dólares en lo que va del 2018, información que puede ser corroborada en la página sgm.gob.mx en el apartado de metales no ferroso, mientras que un kilogramo de nanopartículas de cobre oscila entre los 1000 y 1500 dólares valores que diferentes portales y empresas manejan.

Por lo que es más rentable trabajar con nanopartículas de cobre que con el material puro como es obtenido del proceso de reciclaje. Lo que genera un campo

de oportunidad para el desarrollo de nuevas tecnologías que sean capaces de realizar las nanopartículas, así como un campo laboral o económico para la conformación de una empresa encargada de la comercialización del producto.

11. Conclusiones

México presenta una gran generación de residuos sólidos urbanos los cuales no son aprovechados, del mismo modo los productos involucrados en este trabajo, cobre, aluminio y diferentes polímeros, son materiales que tienen un alto porcentaje de reciclado, en otras palabras, los elementos como el cobre y el aluminio de su producción total solo el 20% es extraído de los recursos naturales, siendo el 80% de los mismo obtenidos por medio de reciclaje. Esto debido a que estos materiales presentan bajas pérdidas en sus propiedades durante los procesos de reciclaje, dichas pérdidas pueden ser restituidas por medio de procesos de manufactura conocidos como tratamientos térmicos que le permiten a los materiales regresar a sus condiciones óptimas de trabajo. A pesar de que en el país se cuenta con plantas encargadas de la recuperación de estos metales, no se cuenta con un proceso mecánico que no genere contaminantes al medio ambiente.

Potencias europeas como Francia, Holanda, Suiza, Alemania entre otras, cuentan con procesos mecánicos para la recuperación de metales en residuos sólidos. El estudio y comprensión de los procesos que estos países implementan permitieron el planteamiento de una solución conceptual contenida en este trabajo.

Los experimentos realizados tuvieron como finalidad el mejoramiento y optimización de los procesos realizados en otros países con el objetivo de implementar una solución basado en la tecnología ya existente.

Se planteó reducir el número de pasos que las empresas usan actualmente en este proceso, objetivo logrado conceptualmente, se considera que la implementación de estas propuestas generaría resultados satisfactorios.

La fabricación de un prototipo funcional permitió la abstracción del conocimiento del proceso de martilleo sobre el elemento en cuestión. Dicho proceso fue fundamental para la eliminación del recubrimiento de polímero que presentan los cables de cobre y aluminio, del mismo modo la fabricación del prototipo permitió el cálculo de los parámetros fundamentales como es el caso de la fuerza de impacto a la que estuvo sometida la tolva del elemento, así como el rango de trabajo del mecanismo al encontrar la velocidad óptima de operación, De la cual se partió para el experimento con el molino comercial.

El entendimiento de la mecánica de sólidos fue indispensable para realizar el análisis de las fuerzas que se presentan en los ejes, o en el impacto de los cuerpos contra las tolvas, para con ello buscar los materiales adecuados, del mismo modo la selección del material es una parte crítica en todo proyecto, dado que, aunque se tenga la mejor aplicación desarrollada si el material no es el óptimo puede llegar a fallar. No solo el material es importante, también los procesos de fabricación dado que podemos incrementar los costos de los productos en el momento de elegir un proceso erróneo de fabricación para un material, incrementando las horas de trabajo sobre la pieza final.

Del mismo modo se ha visto una oportunidad de mercado, no solo al denotar los principales estados de la República Mexicana que pueden llegar a ser los principales centros para el emprendimiento de este trabajo, si no también buscando la oportunidad de trabajar más cerca del usuario final. Las nanopartículas de cobre como se hizo mención en la propuesta de valor y trabajos futuros cuentan con la propiedad de evitar el crecimiento de bacterias cuando entran en contacto con él, por lo que es indispensable realizar recubrimientos de cobre en lugares como hospitales. Este elemento no es producido en el país, por lo que es importado principalmente de Estados Unidos de América, sin embargo, al contar con la materia prima es factible realizar un estudio y entendimiento del proceso de generación de nanopartículas para dejar de ser compradores de otros países y poder generar la tecnología en nuestro propio país. Este trabajo no solo

pretende centrarse en la recuperación primaria de los elementos si no en llegar un poco más profundo buscando como generar valor agregado a lo obtenido.

Trabajos futuros en el campo pueden partir de lo propuesto aquí para hacerse de la materia prima, del mismo modo es prioritario agregar valor a los demás elementos como es el caso del aluminio y los polímeros.

12. Bibliografía

Asociación Internacional del Cobre. (2015). *Cuidado de la salud*. Retrieved from International Copper Association Latin American : https://www.antimicrobialcopper.org/sites/default/files/upload/media-library/files/pdfs/es/instalaciones-cobre-antimicrobiano_2015.pdf

Geografía, I. N. (2014). *Cuentame* . Retrieved 2016, from Basura: <http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/ambiente/basura.aspx?tema=T>

Grupo lyrsa. (n.d.). *El proceso de reciclado de cables* . Retrieved 2016, from Grupo lyrsa: <http://www.lyrsa.es/blog/143-el-proceso-de-reciclado-de-cables>

Izeta, I. (2015, Enero 12). *Proyecto de reciclaje de materiales para impresión 3D*. Retrieved 2016, from Proyecto Recicla ·d: <https://recicla3dplabs.wordpress.com/2015/01/14/separacion-de-polimeros-por-diferencia-de-densidades/>

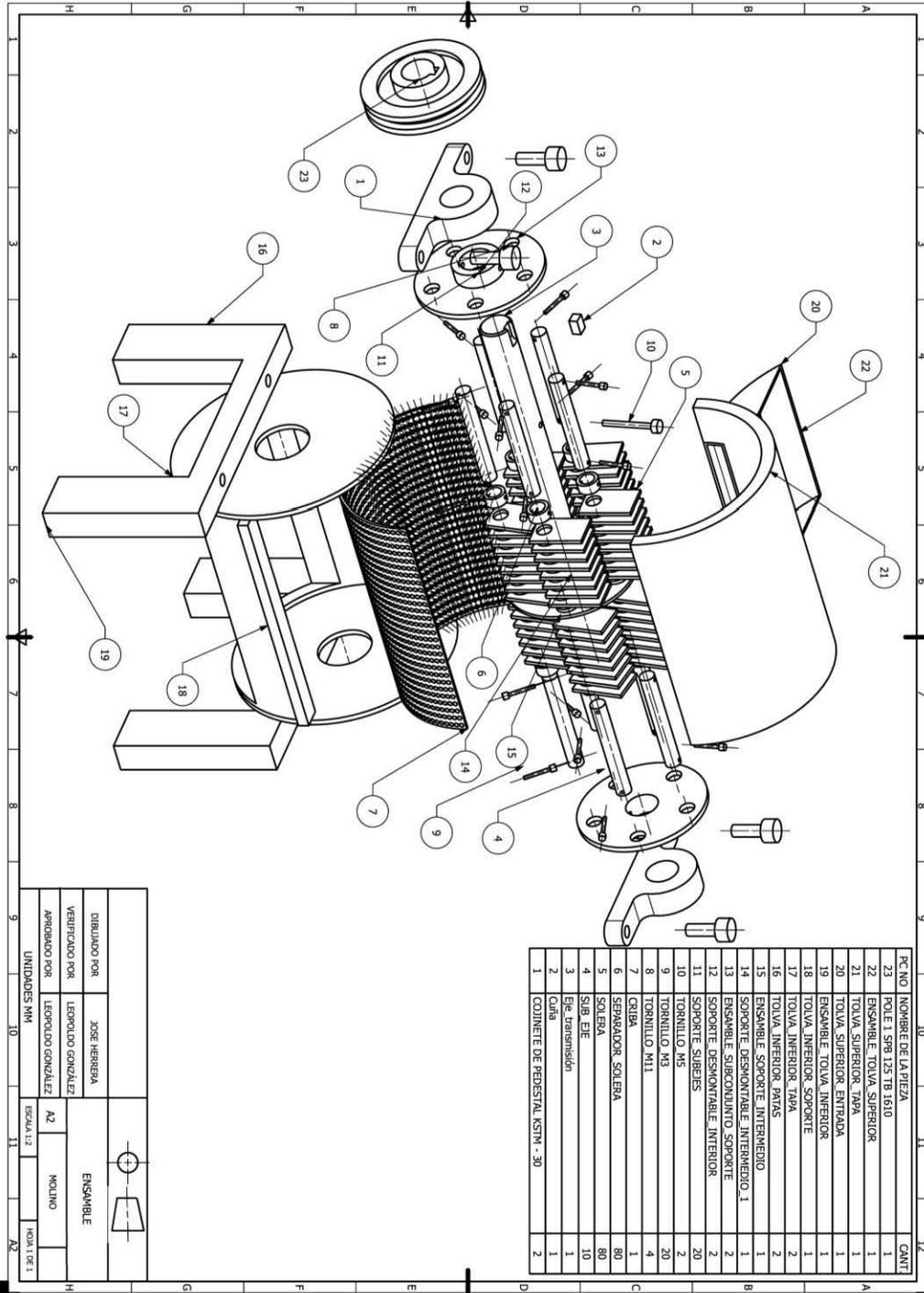
Methane to Markets. (2009). *Incendios en rellenos sanitarios* . Retrieved 2016, from https://www.globalmethane.org/documents/events_land_20090428_landfills-28apr09-incendios_seguridad_y_salud_ocupacional_marcos_elizondo.pdf

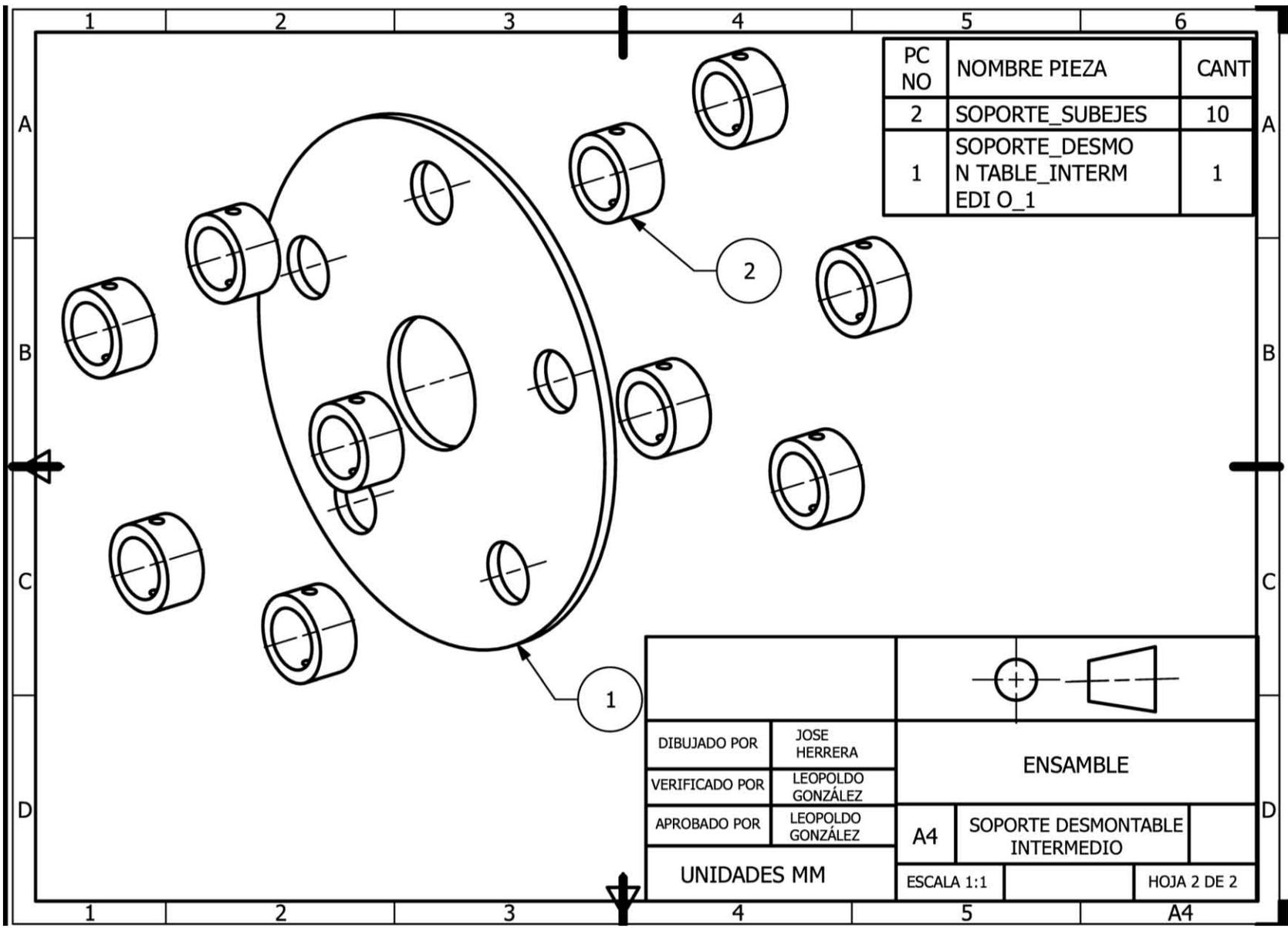
Mogense, A. (2016). *ALMO*. Retrieved 2016, from Separación por densidad : <http://www.almo.es/es/separacion-por-densidad>

- Oliver Manufacturing CO, Inc. (2014). *processinf for a more productive planet*. Retrieved 2016, from Oliver: <http://www.olivermanufacturing.com/esp/products/gravity-separators.php>
- Procesos de minerales. (2012). *Procesamiento de minerales* . Retrieved 2016, from Molienda etapas y tipo : <https://procesaminerales.blogspot.mx/2012/09/molienda-etapas-y-tipos.html>
- Secretaría del medio ambiente y recursos naturales . (2017, 01 10). *Residuos Solidos Urbanos (RSU)*. Retrieved 2018, from <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/residuos-solidos-urbanos-rsu>
- Servicio Geológico Mexicano . (2018). *Precio de metales no ferrosos*. Retrieved from http://www.sgm.gob.mx/SINEMGobMx/precio_hits_metal.jsp
- Terra Source global. (2014). *separadores por densidad del aire (ADS)*. Retrieved 2016, from Un dispositivo de protección versátil y muy eficiente para acondicionadoras de astillas, rebanadores y equipo de plantas de celulosa.
- Ulrich, K. T. (2013). *Diseño y desarrollo de productos* . Mexico city: Mc Graw Hill .

13. Anexos

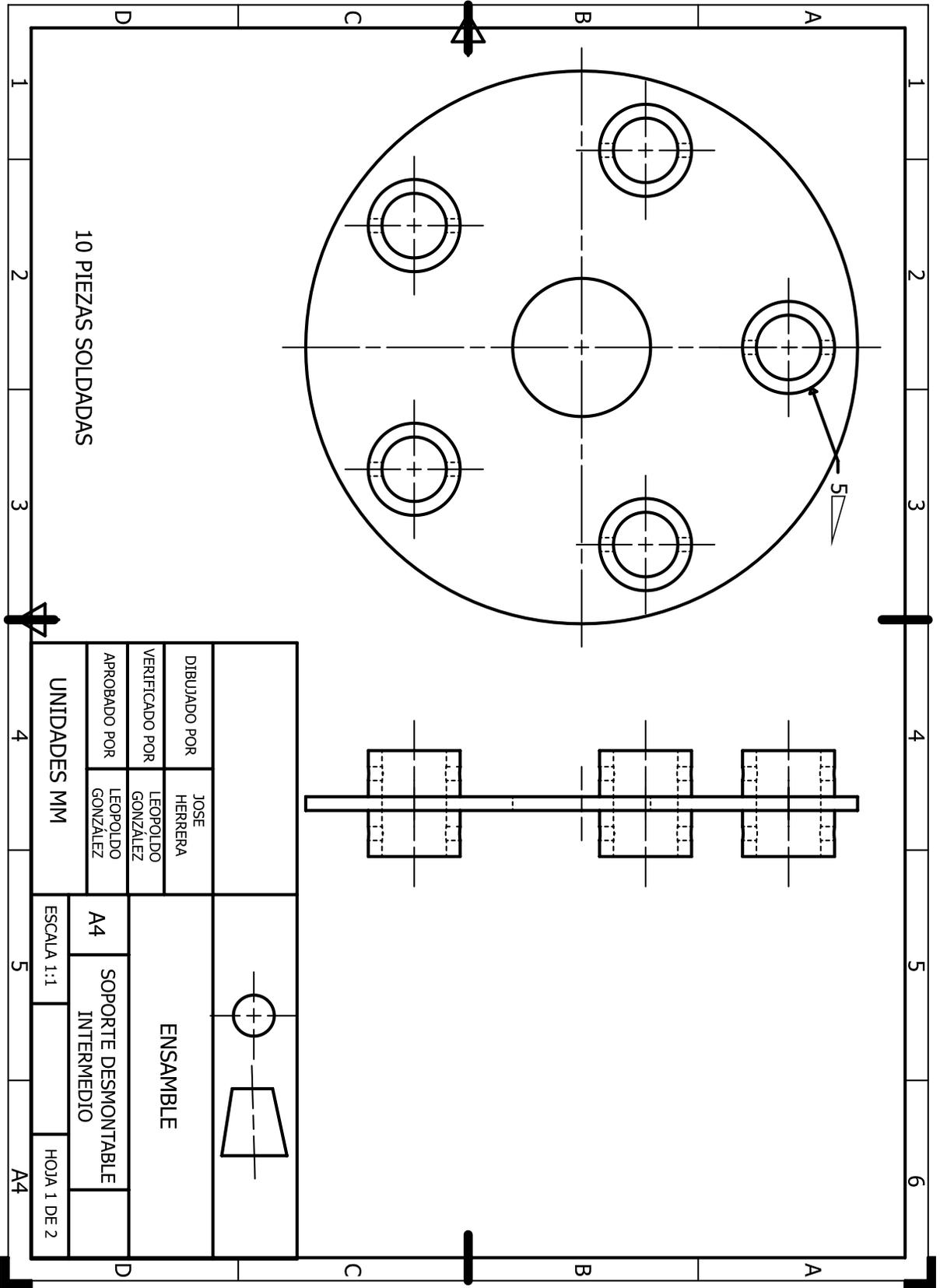
13.1 Planos de fabricación.

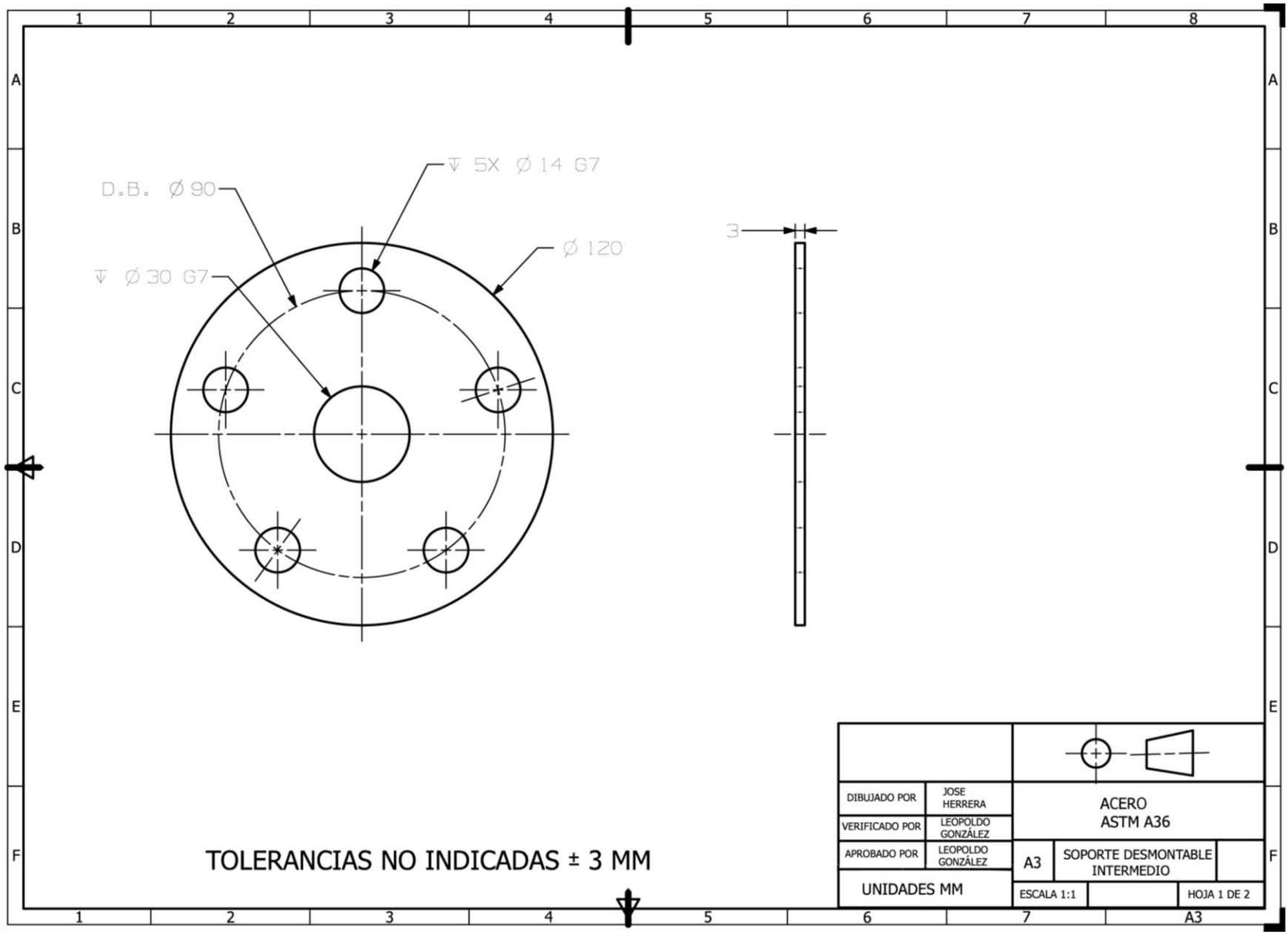




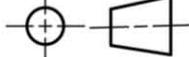
PC NO	NOMBRE PIEZA	CANT
2	SOPORTE_SUBEJES	10
1	SOPORTE_DESMONTABLE_INTERMEDIO_1	1

DIBUJADO POR	JOSE HERRERA	ENSAMBLE	
VERIFICADO POR	LEOPOLDO GONZÁLEZ		
APROBADO POR	LEOPOLDO GONZÁLEZ		
UNIDADES MM		A4	SOPORTE DESMONTABLE INTERMEDIO
		ESCALA 1:1	HOJA 2 DE 2

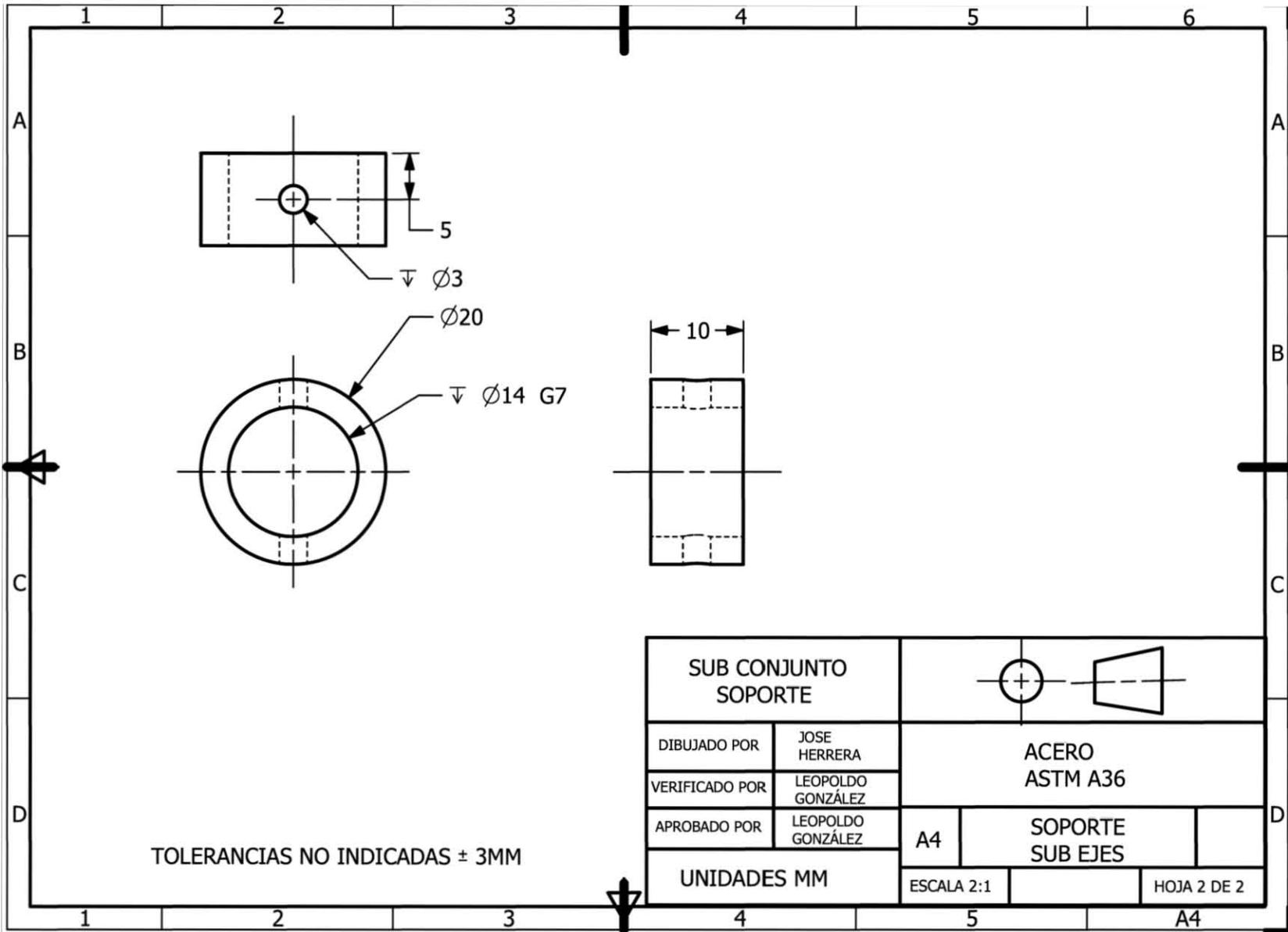


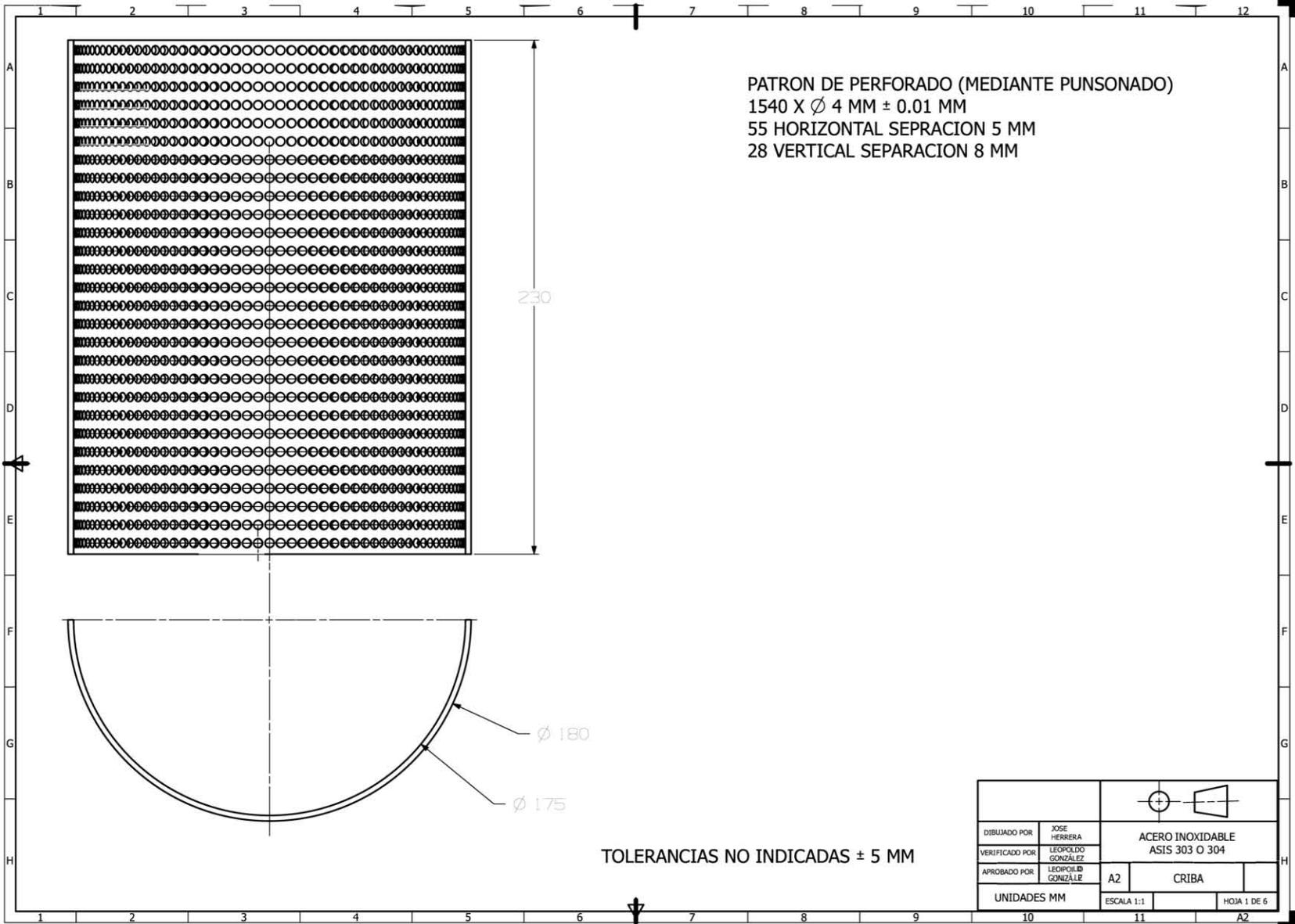


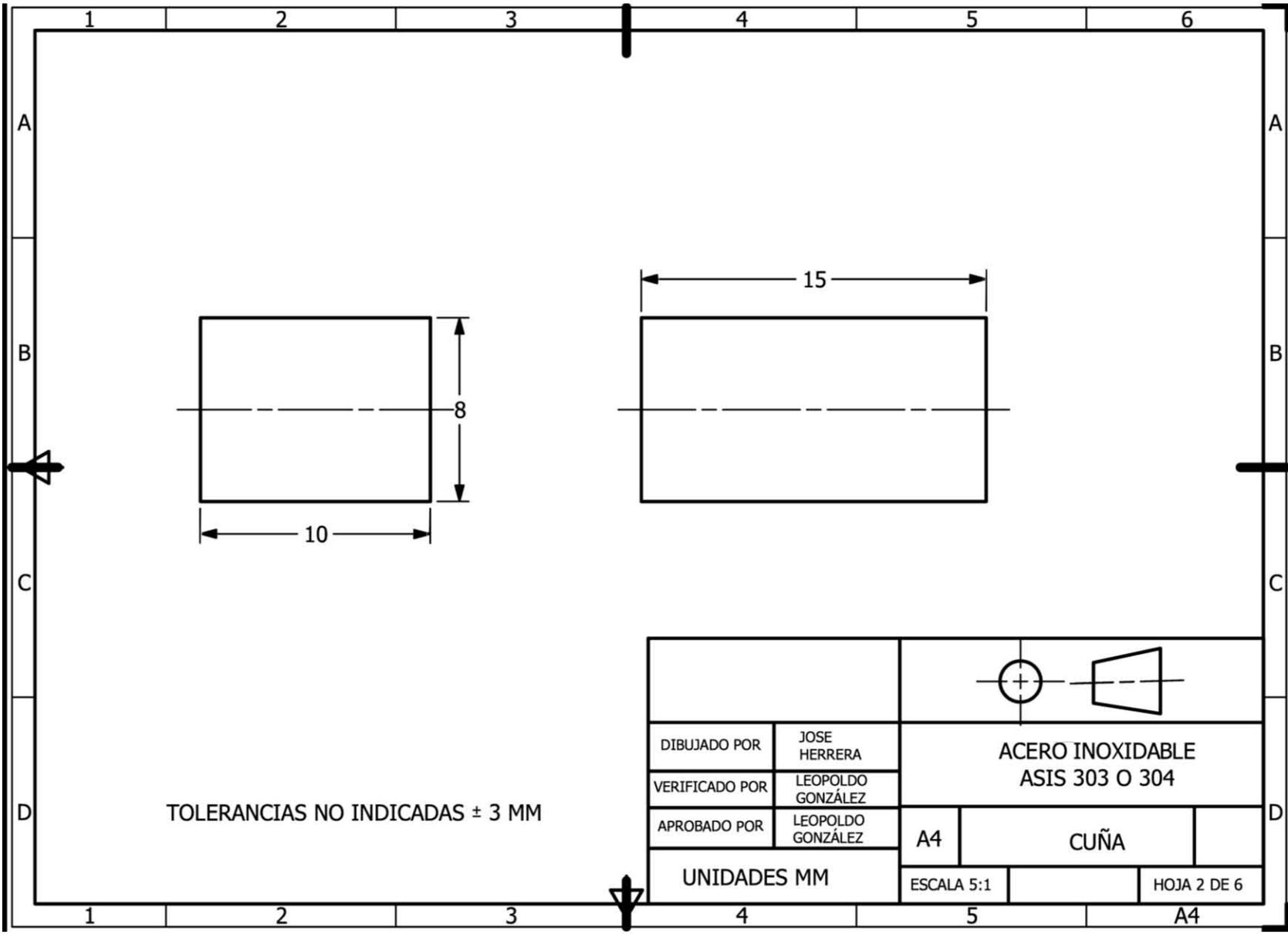
TOLERANCIAS NO INDICADAS $\pm 3 \text{ MM}$

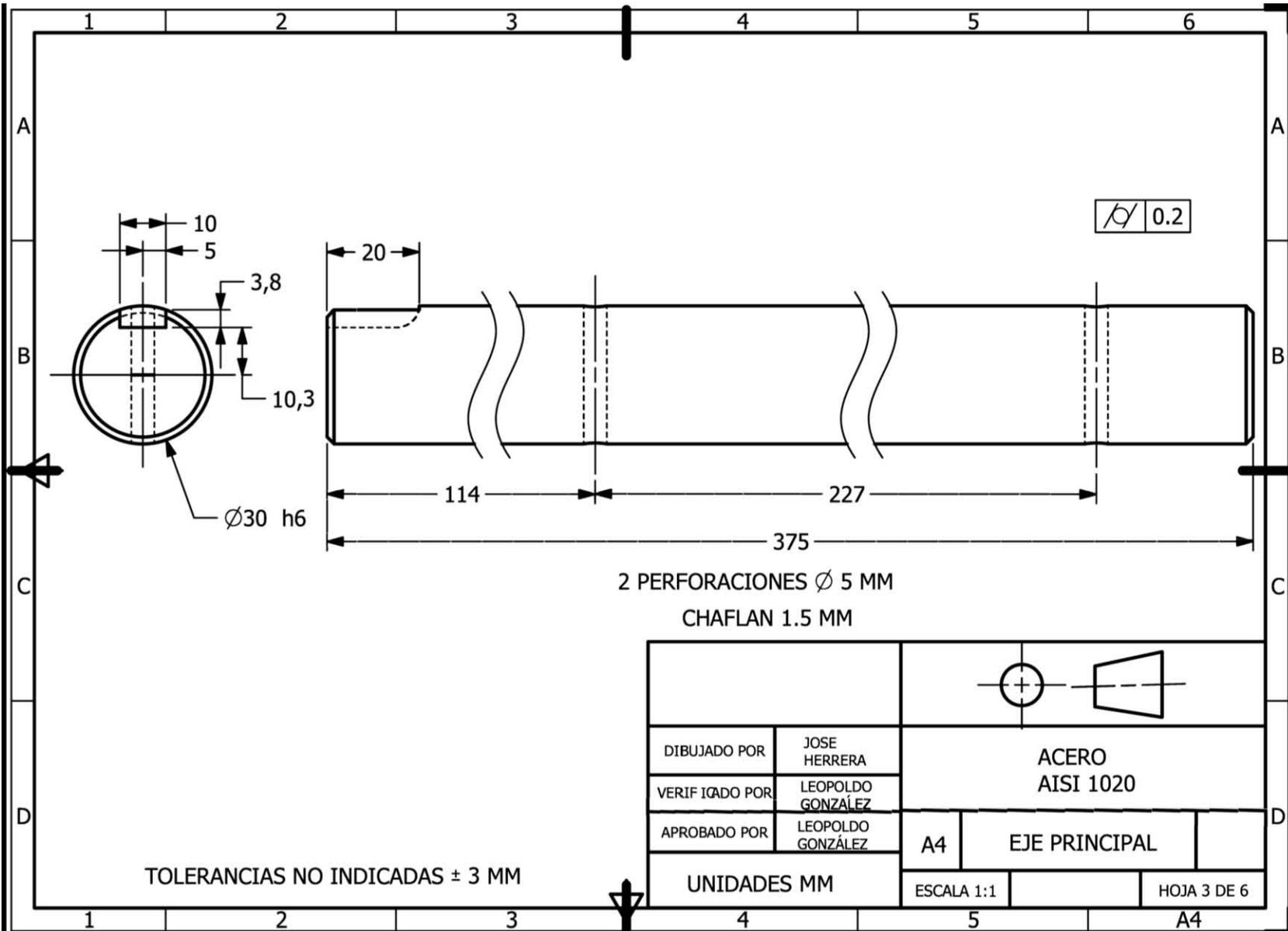
			
DIBUJADO POR	JOSE HERRERA	ACERO ASTM A36	
VERIFICADO POR	LEOPOLDO GONZÁLEZ		
APROBADO POR	LEOPOLDO GONZÁLEZ	A3	SOPORTE DESMONTABLE INTERMEDIO
UNIDADES MM		ESCALA 1:1	HOJA 1 DE 2

A3





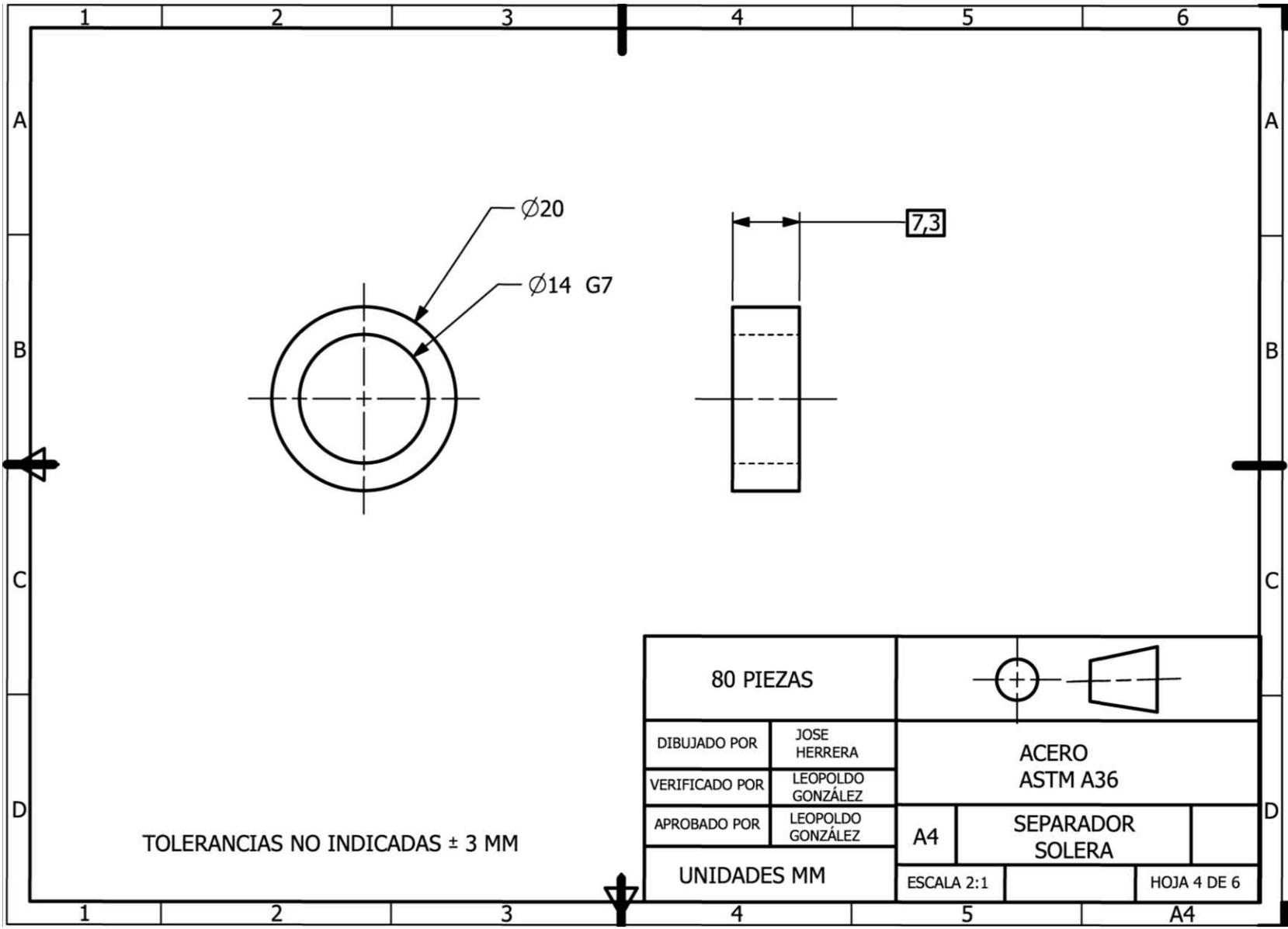




2 PERFORACIONES Ø 5 MM
CHAFLAN 1.5 MM

DIBUJADO POR	JOSE HERRERA	ACERO AISI 1020	
VERIFICADO POR	LEOPOLDO GONZÁLEZ		
APROBADO POR	LEOPOLDO GONZÁLEZ		
UNIDADES MM		A4	EJE PRINCIPAL
		ESCALA 1:1	HOJA 3 DE 6

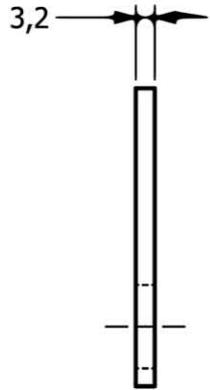
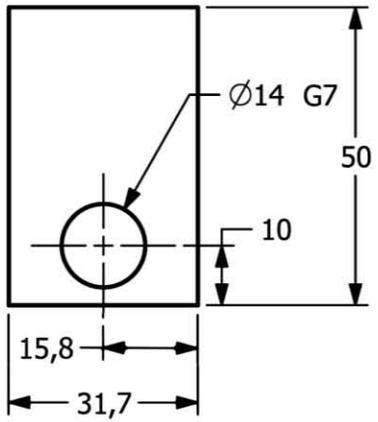
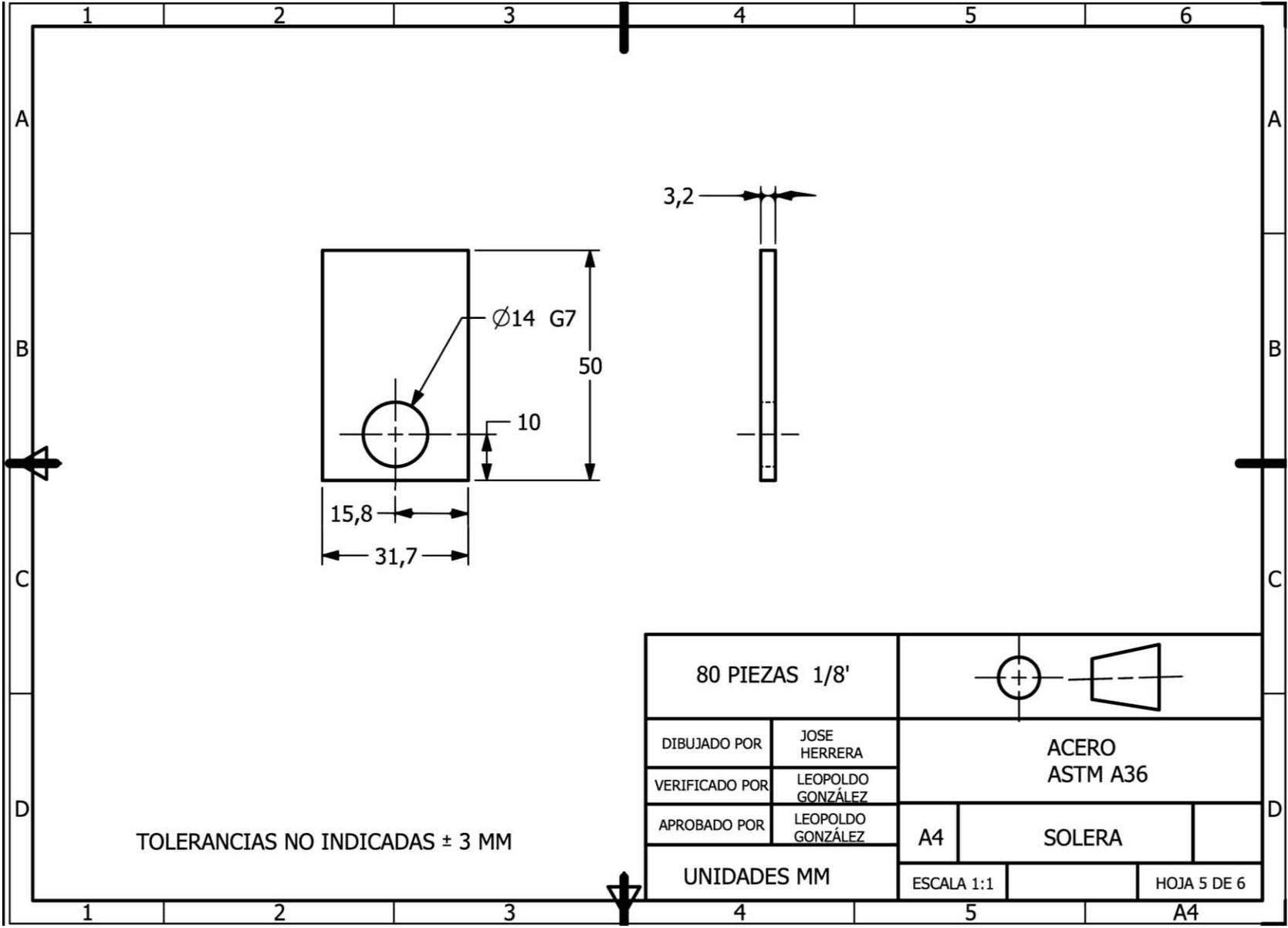
TOLERANCIAS NO INDICADAS ± 3 MM



TOLERANCIAS NO INDICADAS ± 3 MM

80 PIEZAS			
DIBUJADO POR	JOSE HERRERA	ACERO ASTM A36	
VERIFICADO POR	LEOPOLDO GONZÁLEZ	SEPARADOR SOLERA	
APROBADO POR	LEOPOLDO GONZÁLEZ	A4	
UNIDADES MM		ESCALA 2:1	HOJA 4 DE 6

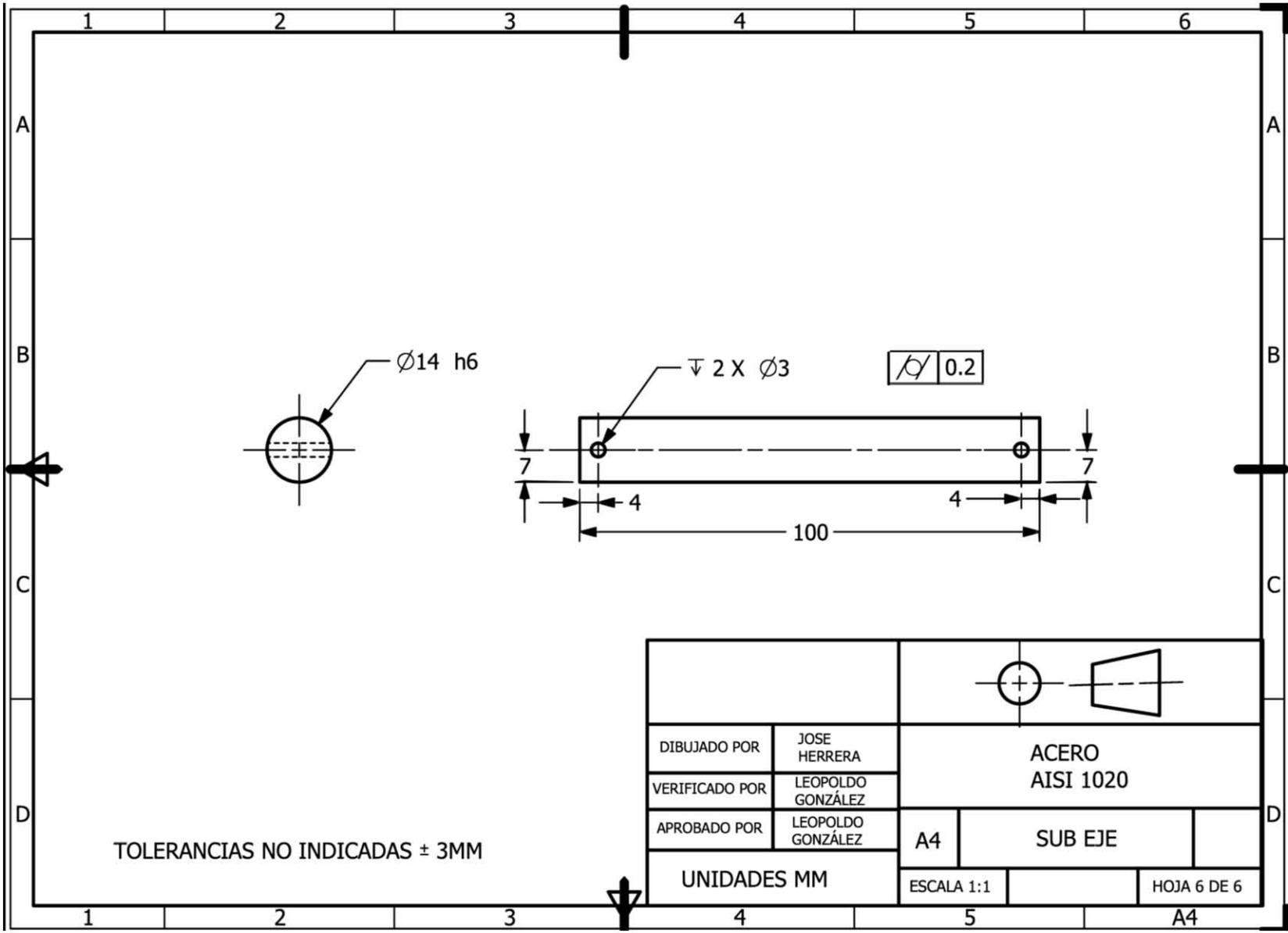
A4



TOLERANCIAS NO INDICADAS ± 3 MM

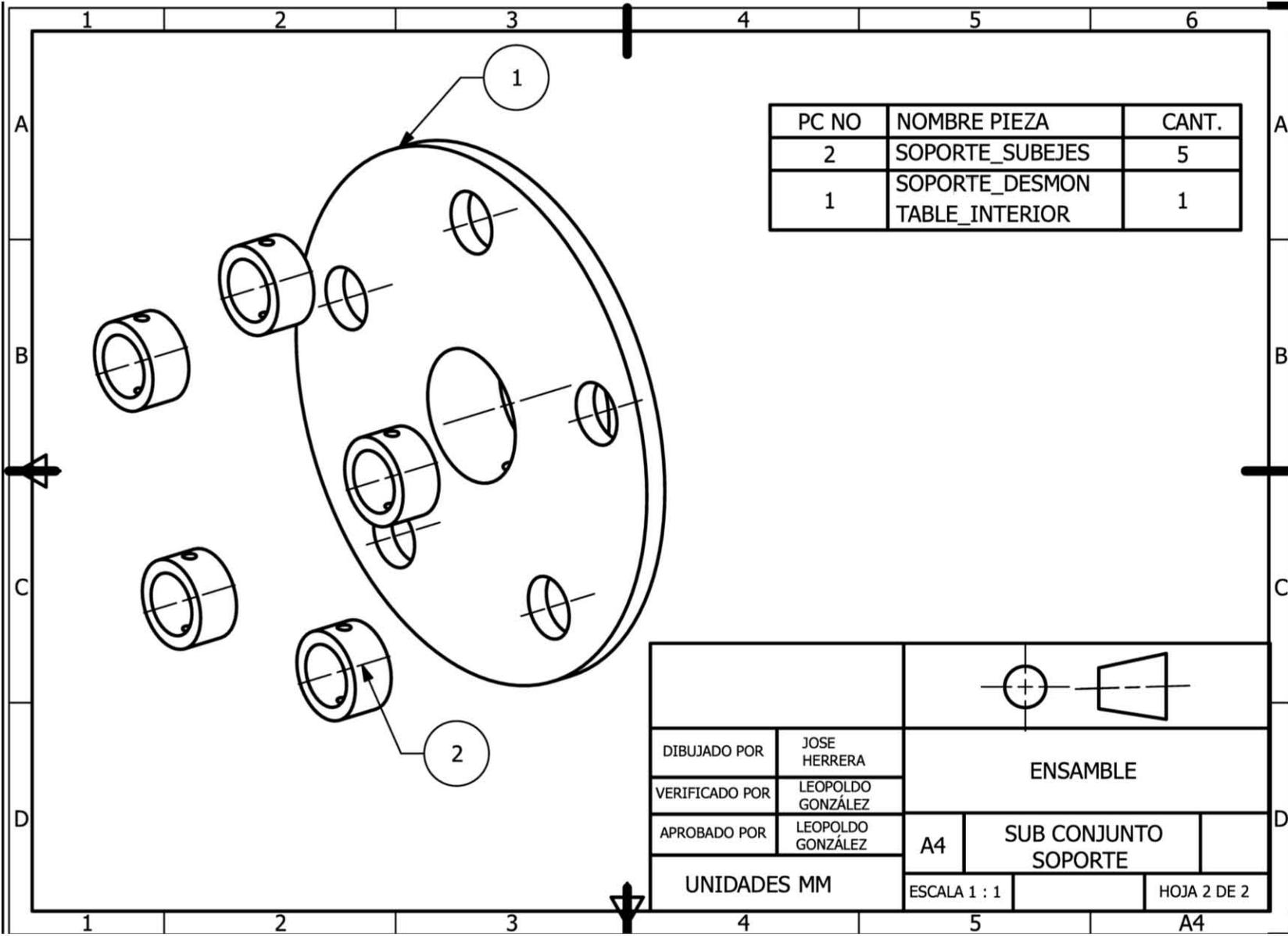
80 PIEZAS 1/8"			
DIBUJADO POR	JOSE HERRERA	ACERO ASTM A36	
VERIFICADO POR	LEOPOLDO GONZÁLEZ	ACERO ASTM A36	
APROBADO POR	LEOPOLDO GONZÁLEZ	A4	SOLERA
UNIDADES MM		ESCALA 1:1	HOJA 5 DE 6

A4



DIBUJADO POR	JOSE HERRERA	ACERO AISI 1020	
VERIFICADO POR	LEOPOLDO GONZÁLEZ		
APROBADO POR	LEOPOLDO GONZÁLEZ	A4	SUB EJE
UNIDADES MM		ESCALA 1:1	HOJA 6 DE 6

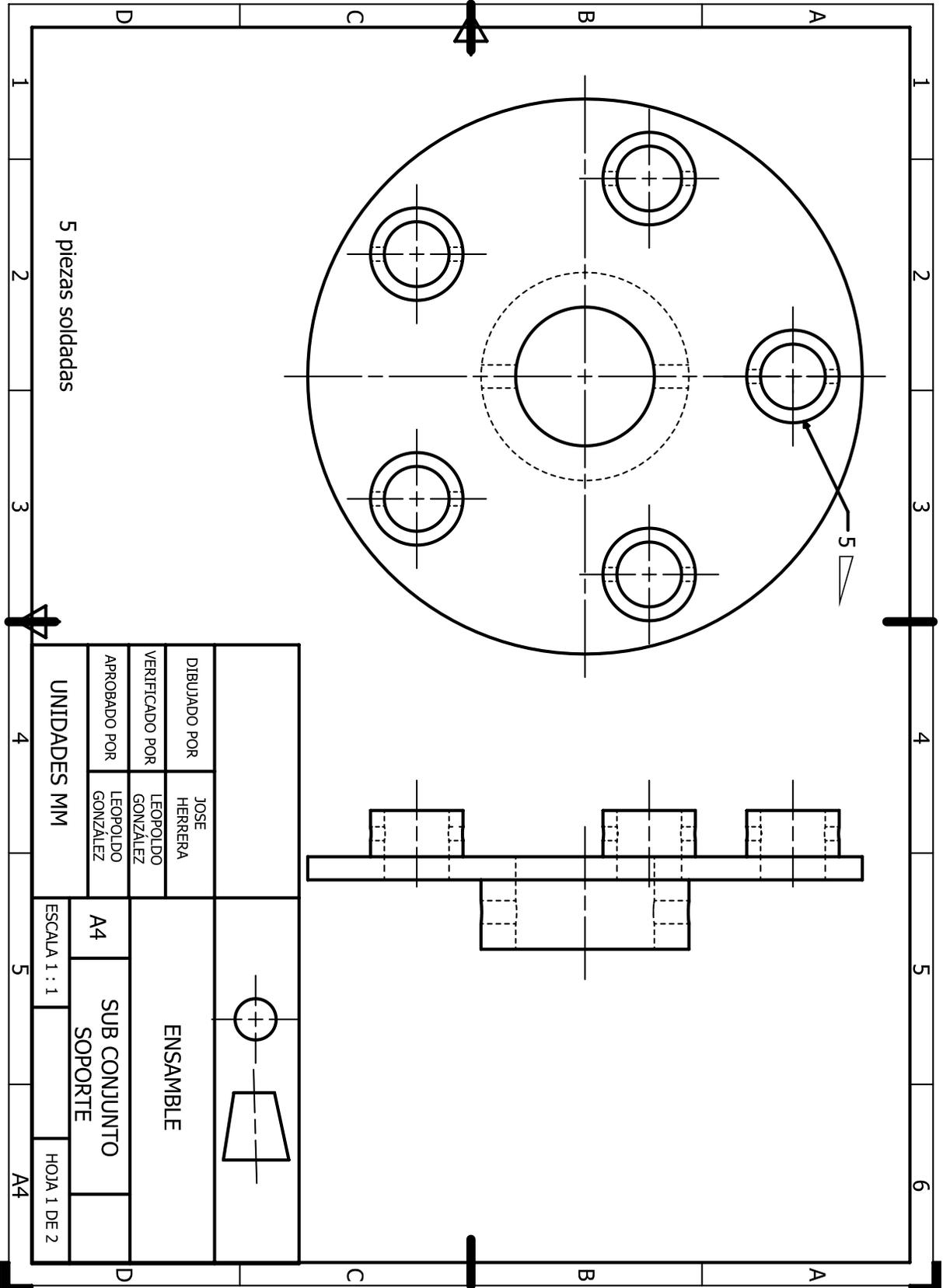
A4

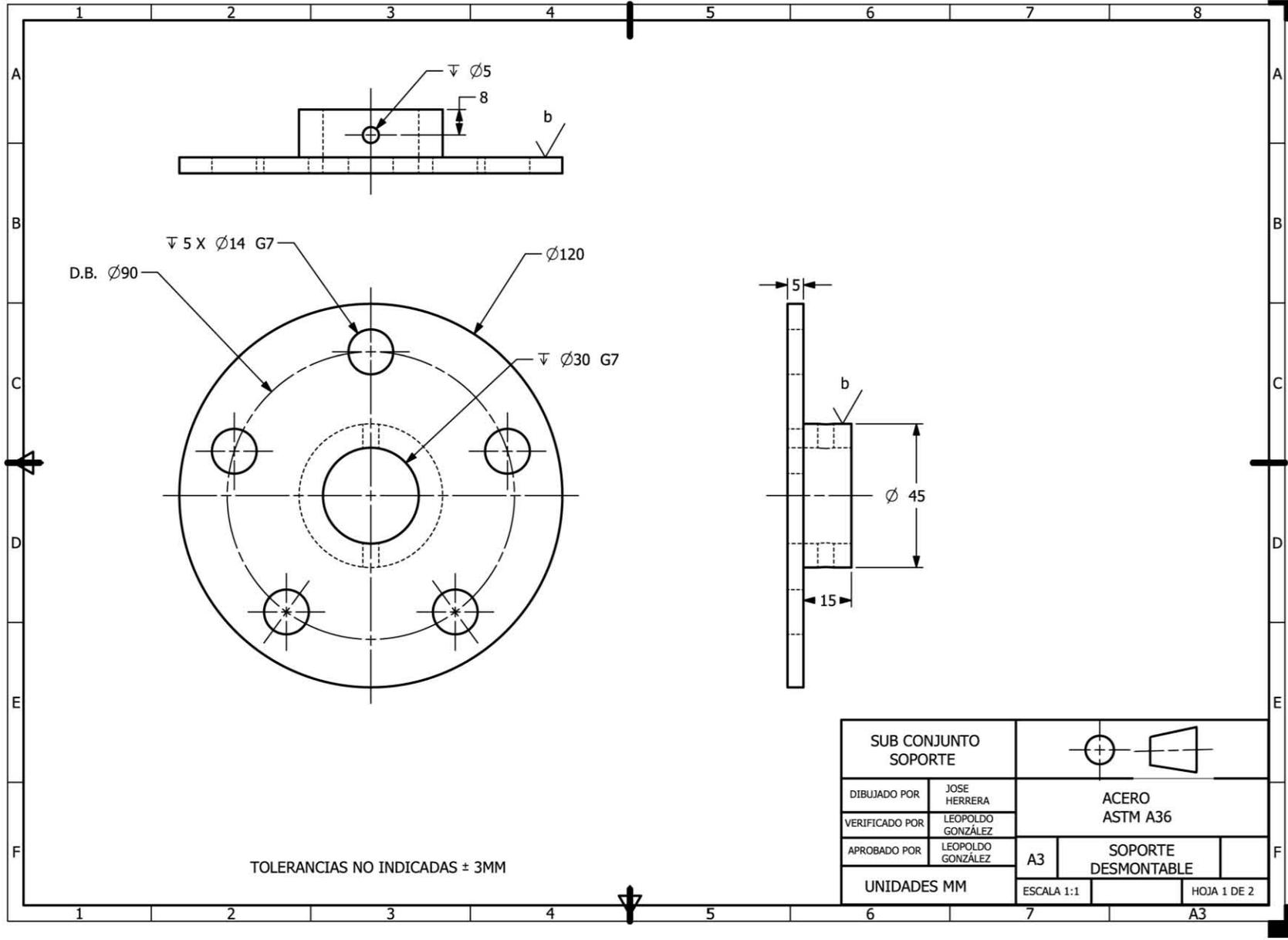


PC NO	NOMBRE PIEZA	CANT.
2	SOPORTE_SUBEJES	5
1	SOPORTE_DESMON TABLE_INTERIOR	1

DIBUJADO POR	JOSE HERRERA	ENSAMBLE	
VERIFICADO POR	LEOPOLDO GONZÁLEZ		
APROBADO POR	LEOPOLDO GONZÁLEZ	A4	SUB CONJUNTO SOPORTE
UNIDADES MM		ESCALA 1 : 1	HOJA 2 DE 2

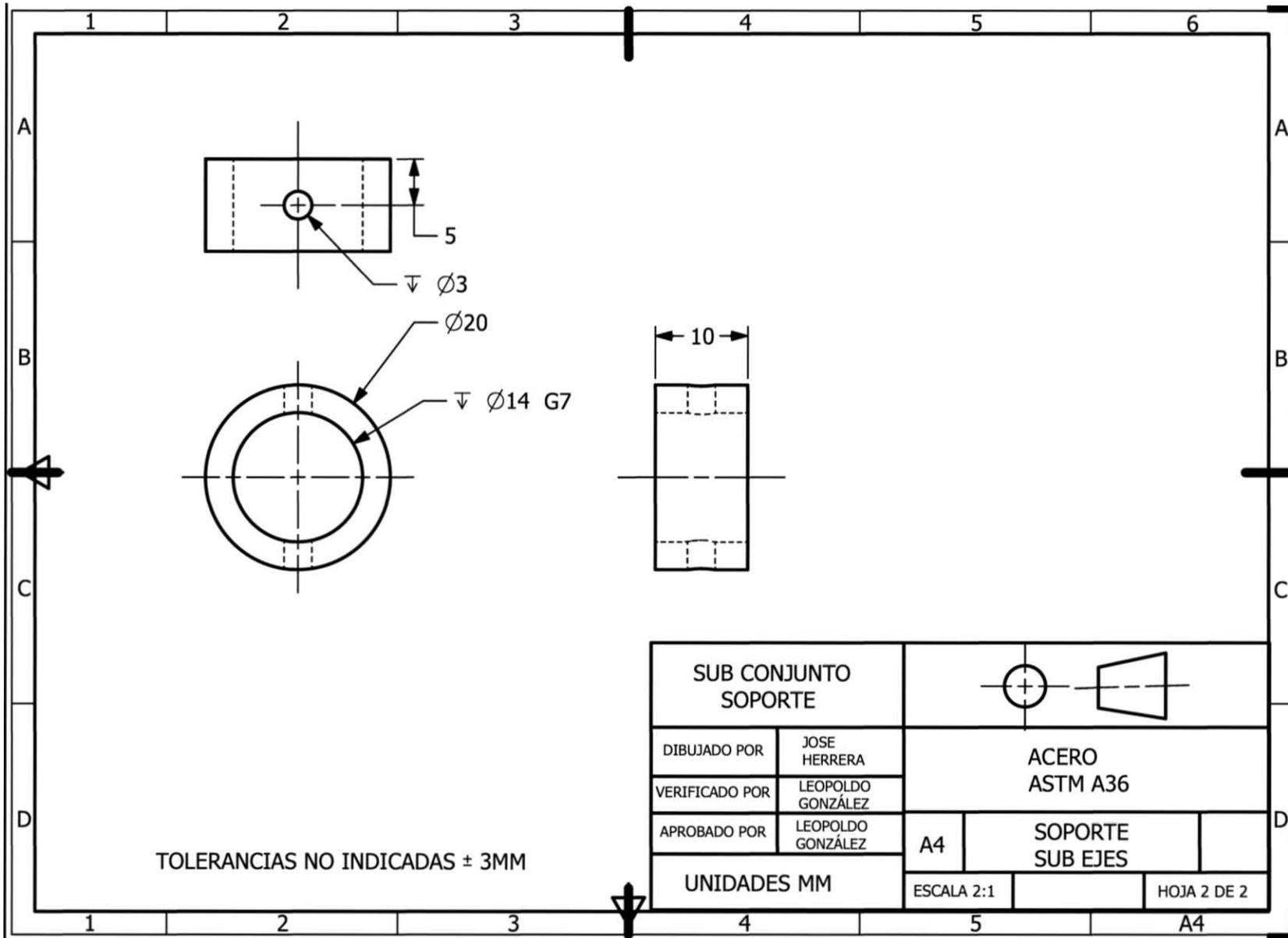
A4



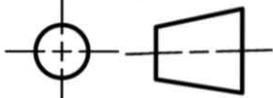


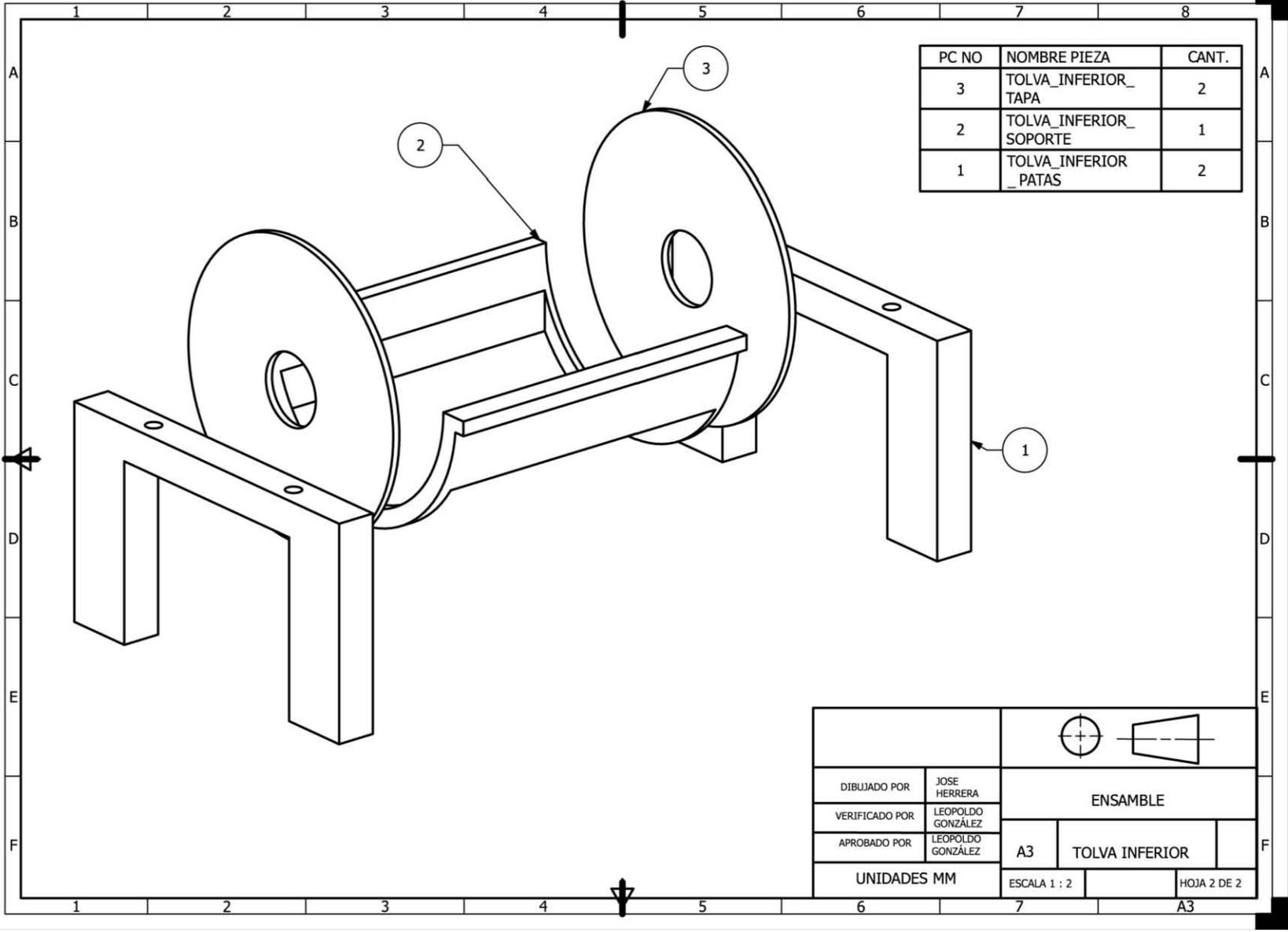
TOLERANCIAS NO INDICADAS ± 3MM

SUB CONJUNTO SOPORTE			
DIBUJADO POR	JOSE HERRERA	ACERO ASTM A36	
VERIFICADO POR	LEOPOLDO GONZÁLEZ	SOPORTE DESMONTABLE	
APROBADO POR	LEOPOLDO GONZÁLEZ	A3	HOJA 1 DE 2
UNIDADES MM		ESCALA 1:1	A3



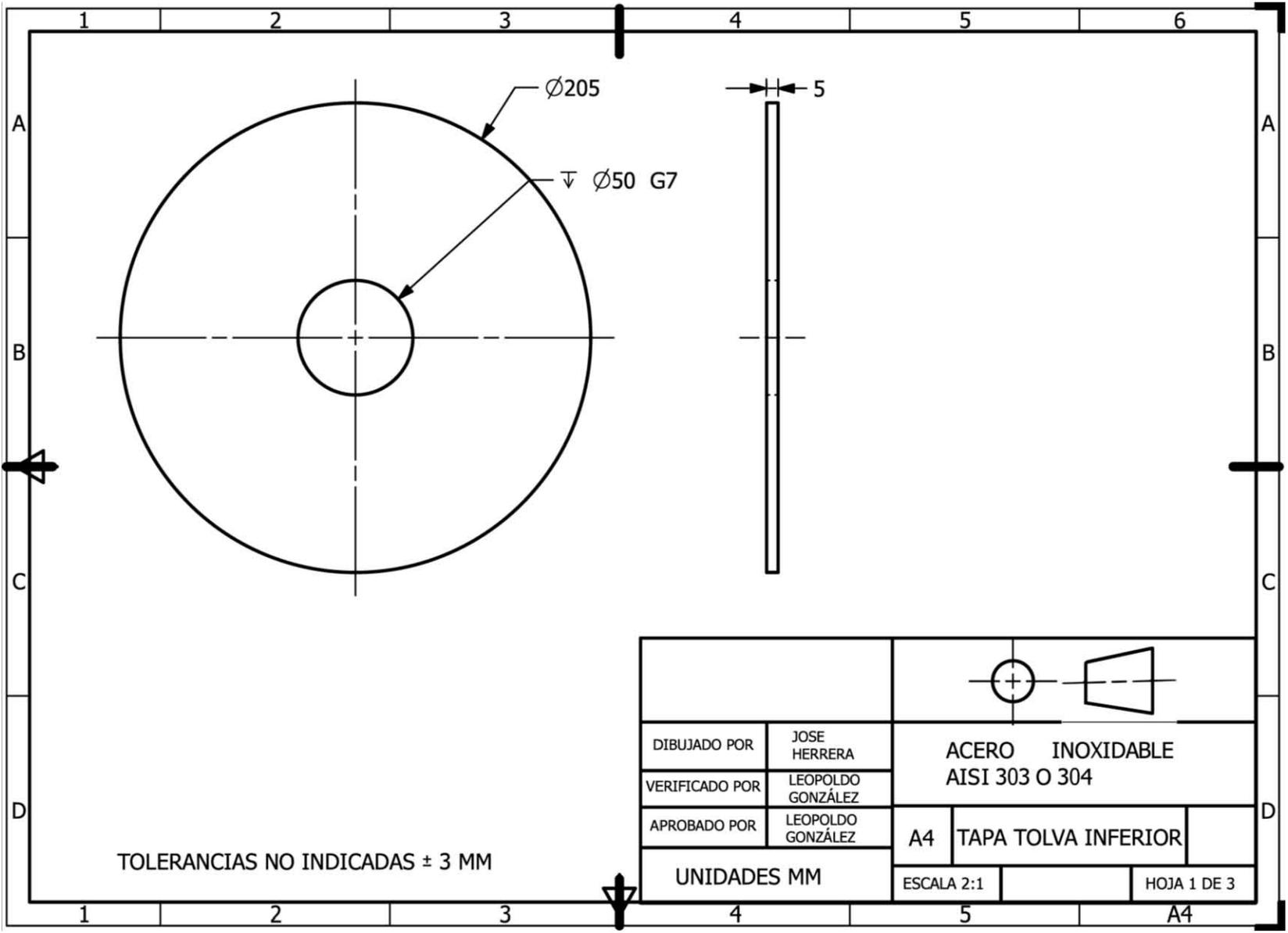
TOLERANCIAS NO INDICADAS ± 3MM

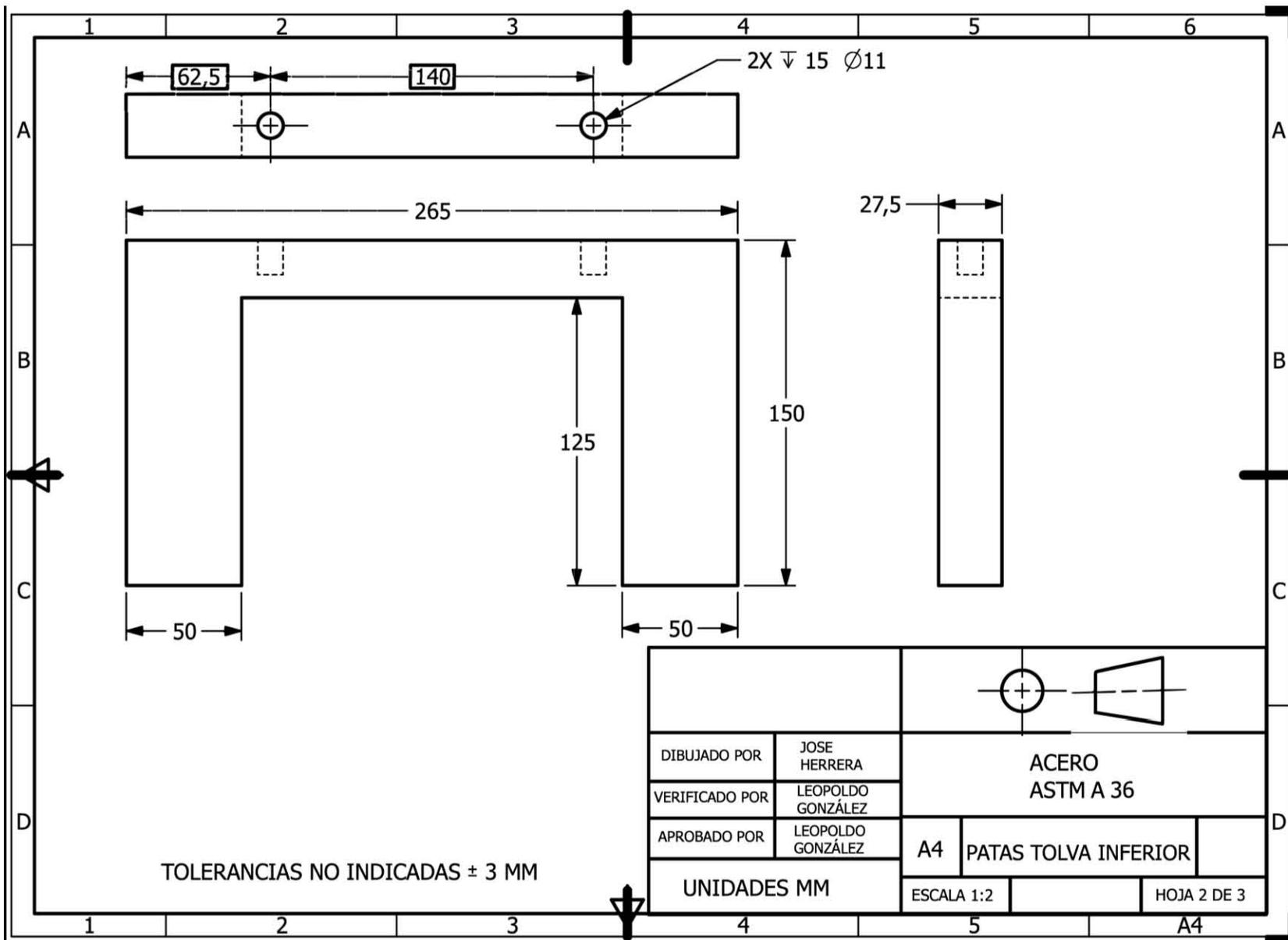
SUB CONJUNTO SOPORTE			
DIBUJADO POR	JOSE HERRERA	ACERO ASTM A36	
VERIFICADO POR	LEOPOLDO GONZÁLEZ		
APROBADO POR	LEOPOLDO GONZÁLEZ	A4	SOPORTE SUB EJES
UNIDADES MM		ESCALA 2:1	HOJA 2 DE 2

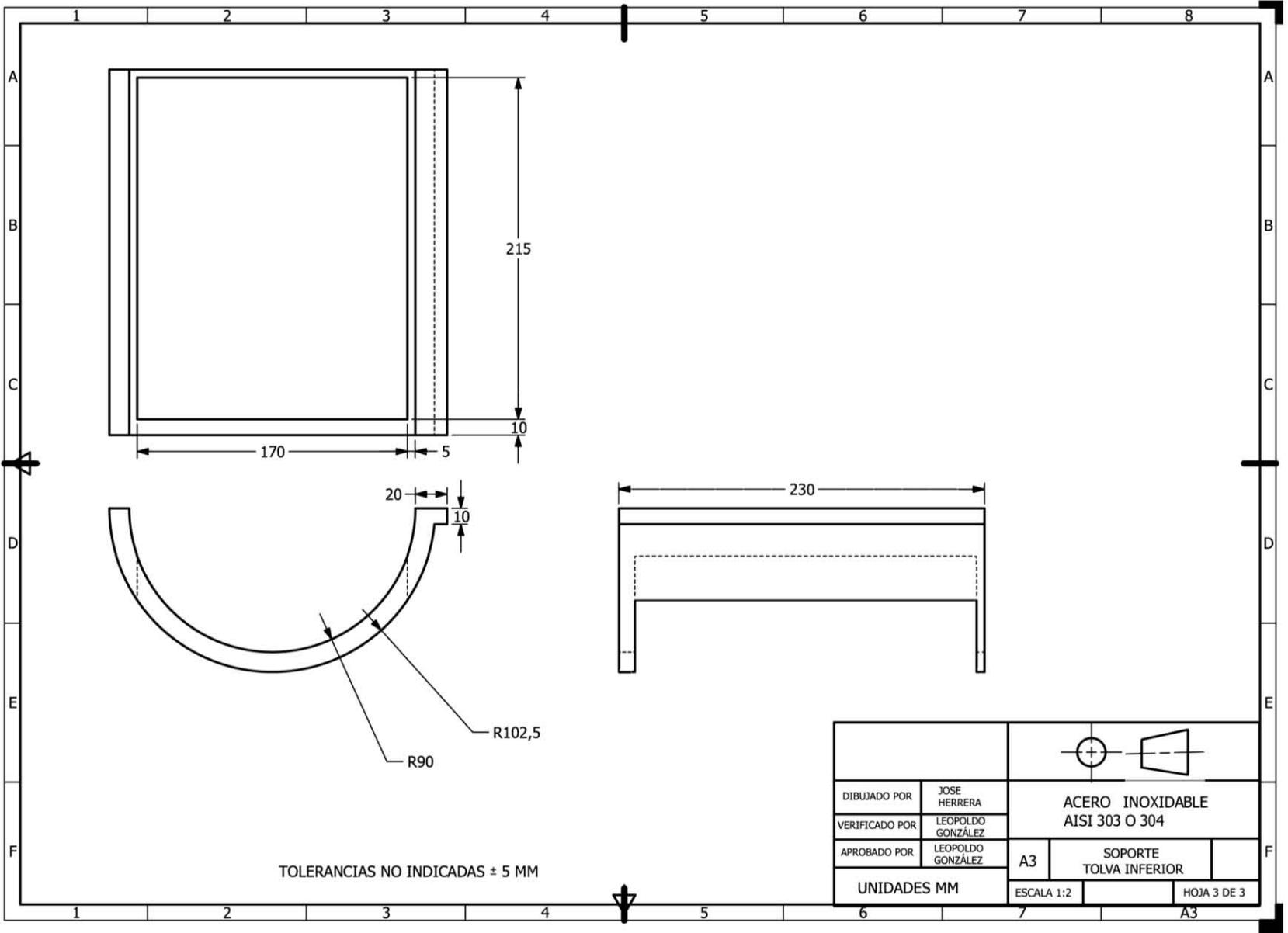


PC NO	NOMBRE PIEZA	CANT.
3	TOLVA_INFERIOR_TAPA	2
2	TOLVA_INFERIOR_SOPORTE	1
1	TOLVA_INFERIOR_PATAS	2

DIBUJADO POR	JOSE HERRERA	ENSAMBLE	
VERIFICADO POR	LEOPOLDO GONZÁLEZ		
APROBADO POR	LEOPOLDO GONZÁLEZ	A3	TOLVA INFERIOR
UNIDADES MM		ESCALA 1 : 2	HOJA 2 DE 2
		A3	



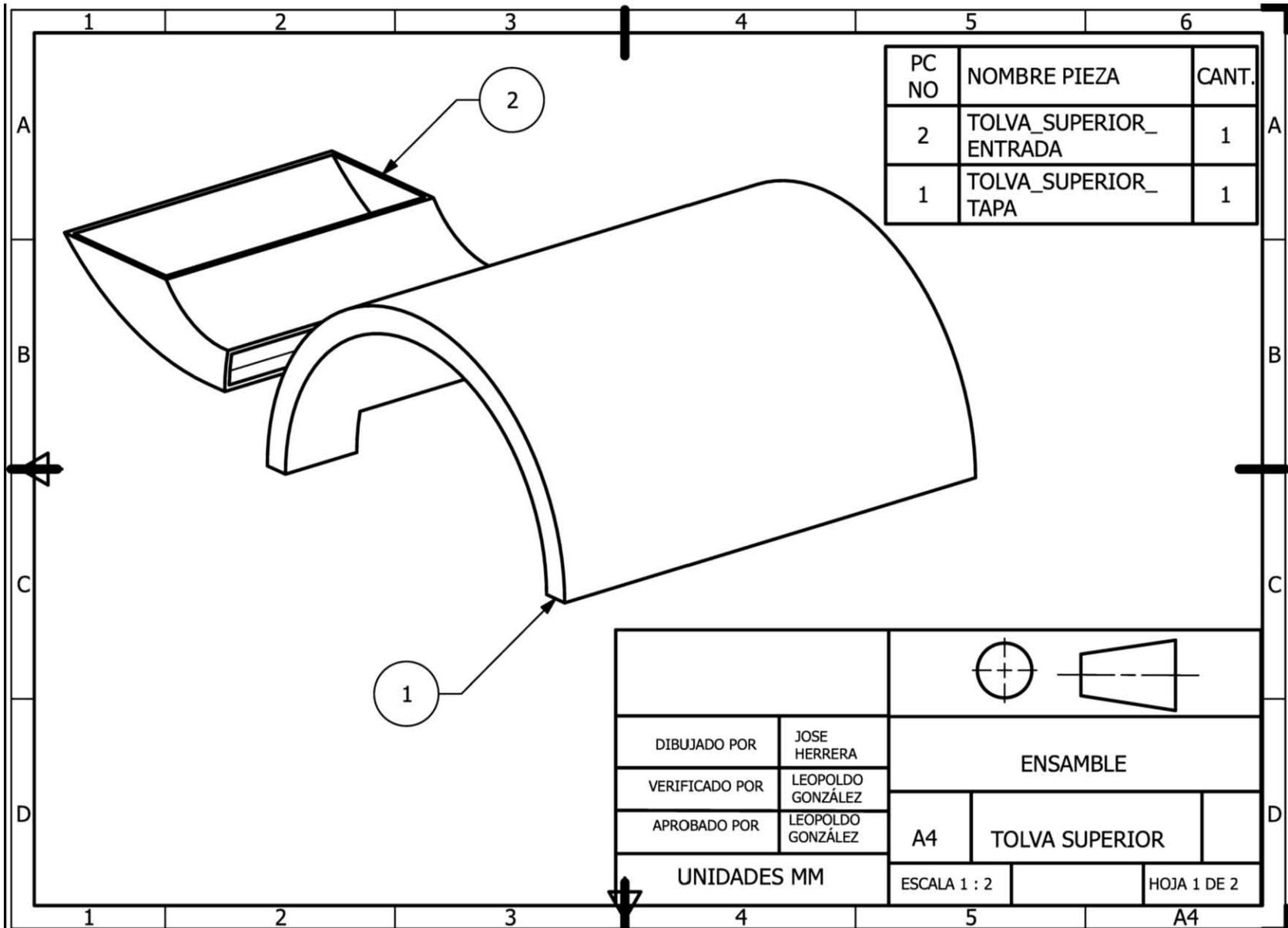


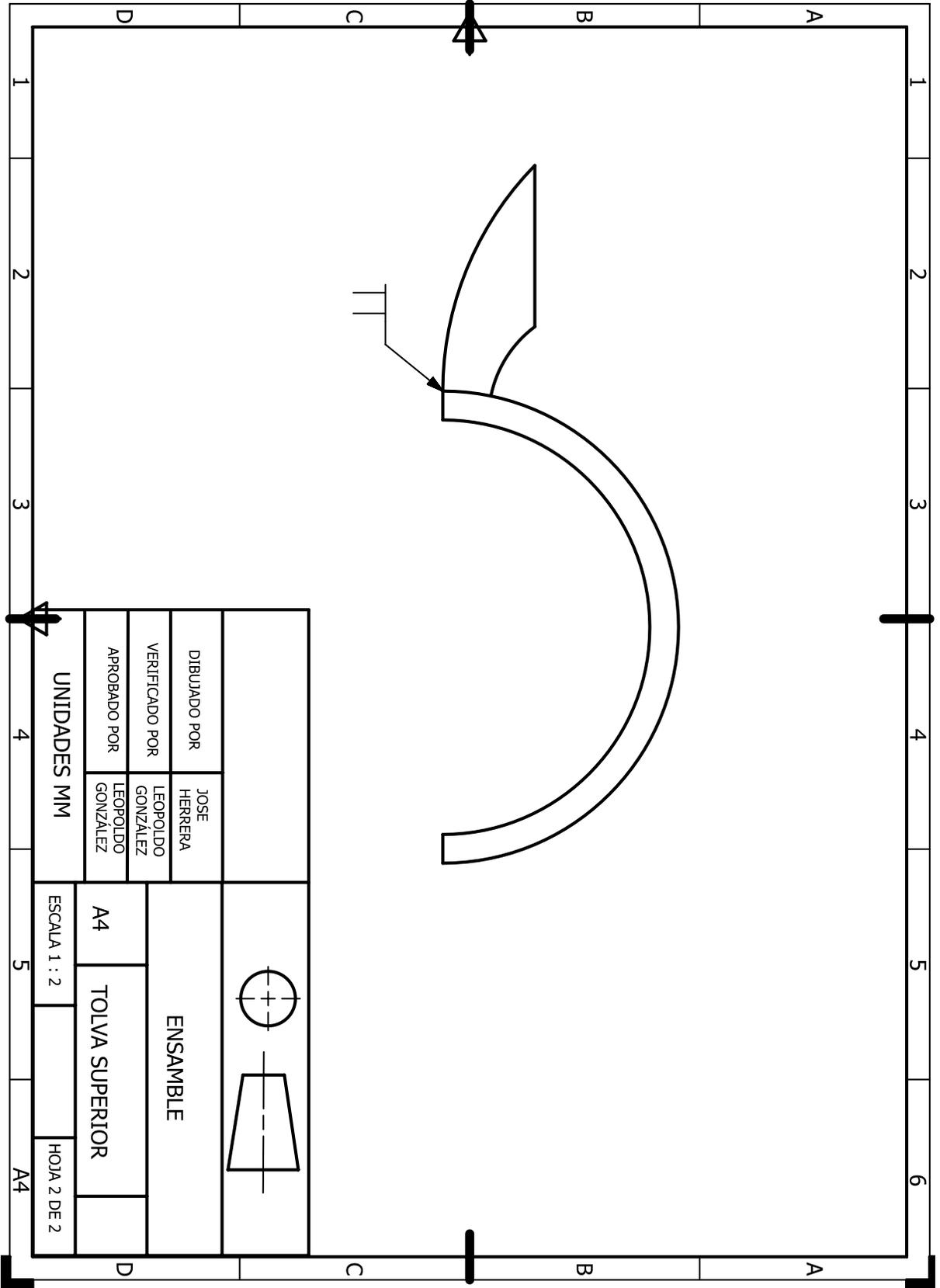


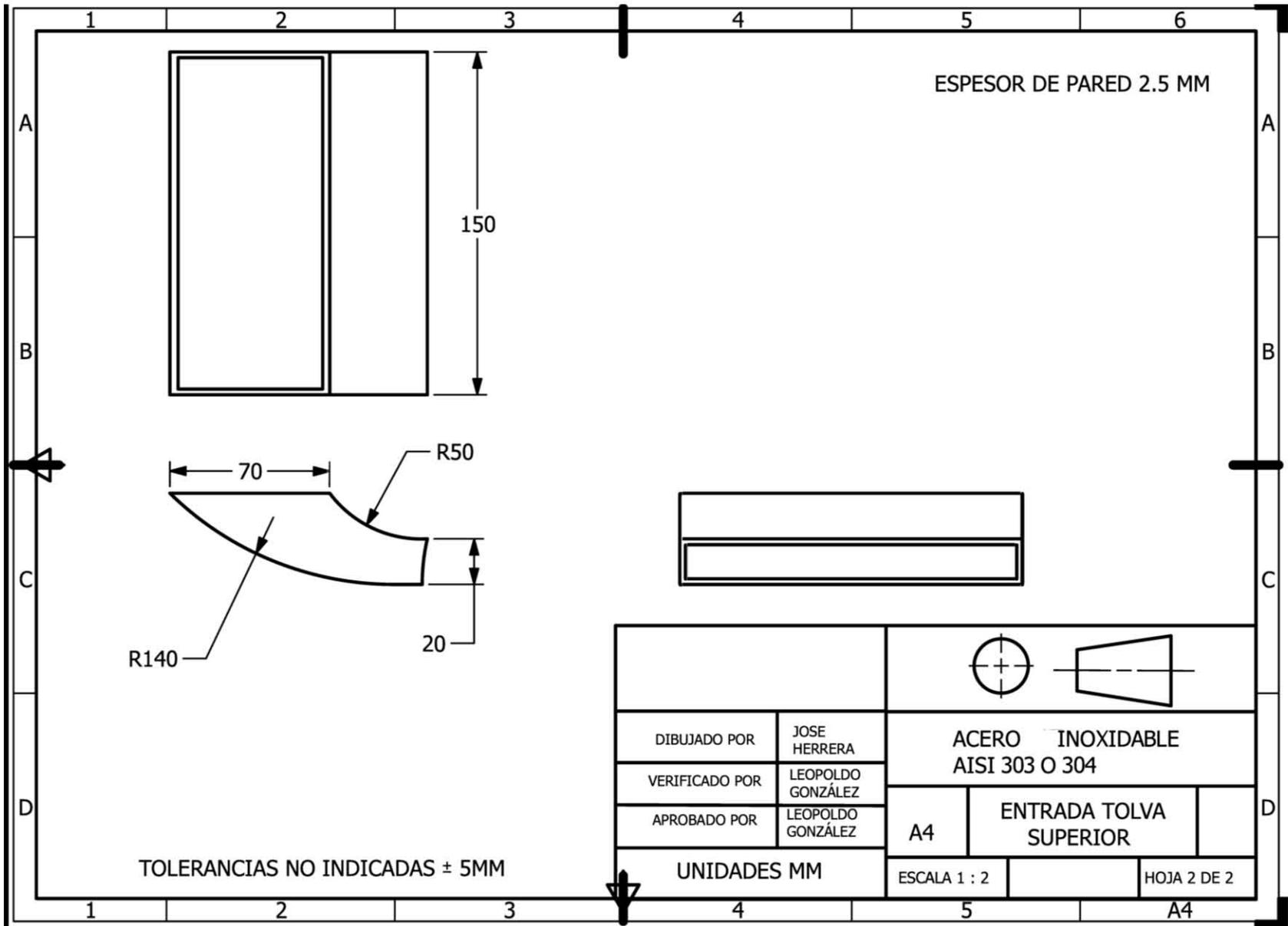
TOLERANCIAS NO INDICADAS ± 5 MM

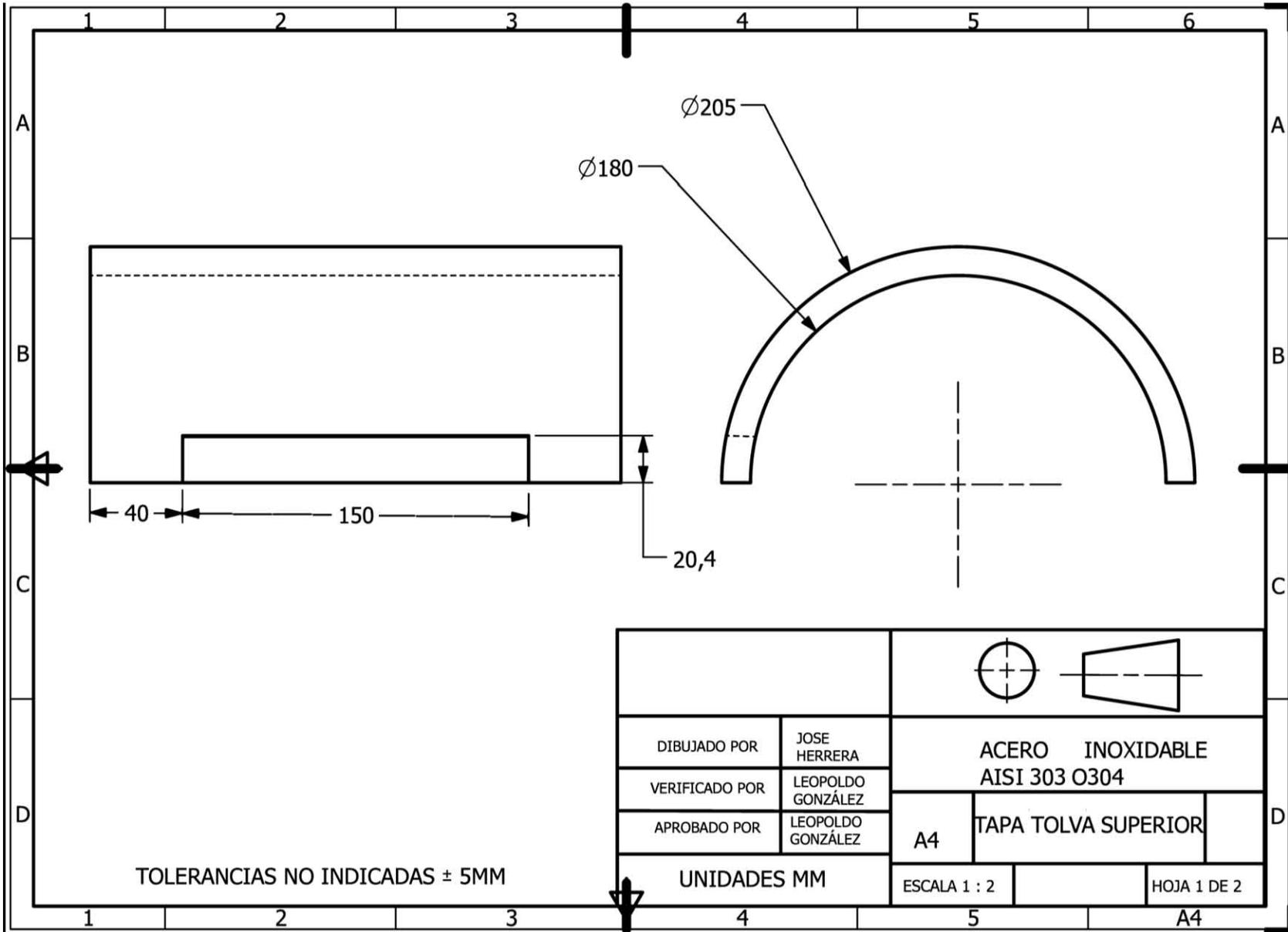
DIBUJADO POR	JOSE HERRERA	ACERO INOXIDABLE AISI 303 O 304	
VERIFICADO POR	LEOPOLDO GONZÁLEZ		
APROBADO POR	LEOPOLDO GONZÁLEZ	A3	SOPORTE TOLVA INFERIOR
UNIDADES MM		ESCALA 1:2	HOJA 3 DE 3

A3









TOLERANCIAS NO INDICADAS ± 5MM

DIBUJADO POR	JOSE HERRERA	ACERO INOXIDABLE AISI 303 0304	
VERIFICADO POR	LEOPOLDO GONZÁLEZ	A4	TAPA TOLVA SUPERIOR
APROBADO POR	LEOPOLDO GONZÁLEZ		
UNIDADES MM		ESCALA 1 : 2	HOJA 1 DE 2

A4

13.2 Revisión de patentes.

13.2.1 Patentes de mecanismos de separación:

Patente no.: ES201001038U

Estatus legal: Concedido

Inventor: Unsain Kalegain

Fecha de publicación: 2010-10-14

Título: Máquina plegable

Desarrollo/objetivo:

Máquina pelacables destinada a eliminar mediante un corte longitudinal la cobertura aislante de los conductores eléctricos o cables liberando el núcleo metálico del cable por lo general cobre sin que se deteriore permitiendo la recuperación o reciclado del núcleo metálico bien troceado o en bobinas de una forma semiautomática frente al sistema tradicional destacando el minimizar la presencia de operarios y obtener mejores resultados y calidad del cobre para aprovechamiento en otras utilidades e industrias.

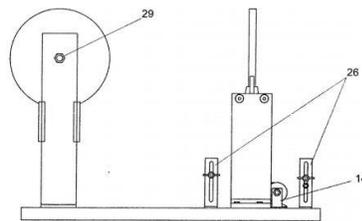


FIG. 6

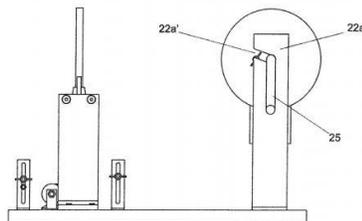


FIG. 7

Patente no.: US3309948A

Estatus legal: -

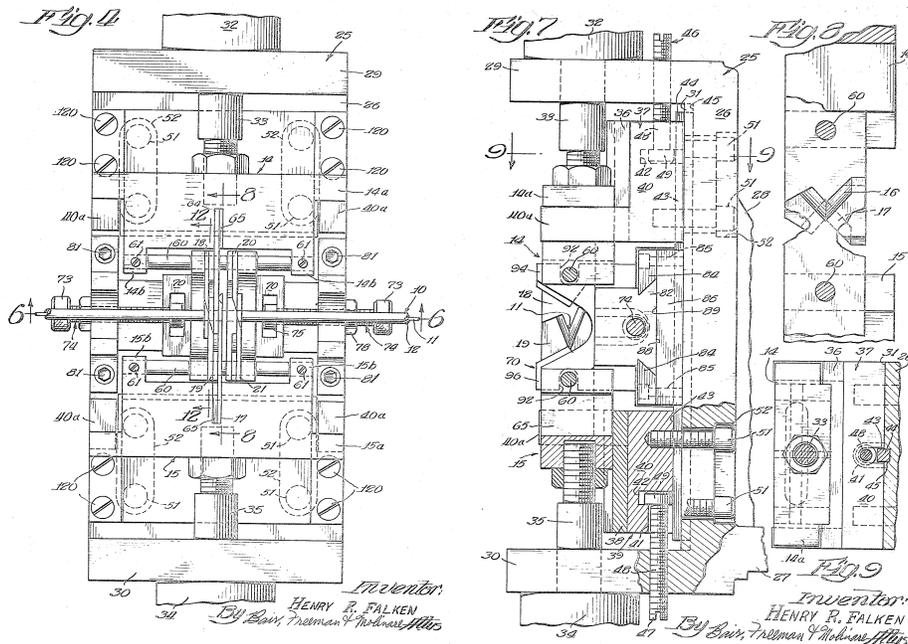
Inventor: Henry R Falken

Fecha de publicación: 1966-01-10

Título: Wire cutting and stripping apparatus adjustable for sizes and lengths of wire to be stripped

Desarrollo/objetivo:

Máquina que es alimentada por cable de cobre con recubrimiento para su corte y decapado de los extremos, en cada uno de los extremos se asegura una cuchilla de corte central o cuchilla de corte de alambre. Dichas cuchillas son puestas a una separación igual a la que será decapado el cable, el proceso se realiza en dos partes uno con unas cuchillas que cortan el largo deseado y otras que son las que cortan el aislante del cable. El cable es retirado en el sentido opuesto al que fue ingresado.



Patente no.: US5146673A

Estatus legal: Expirado

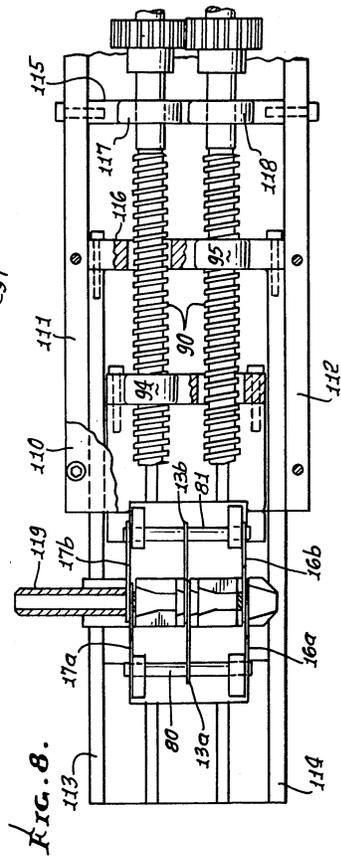
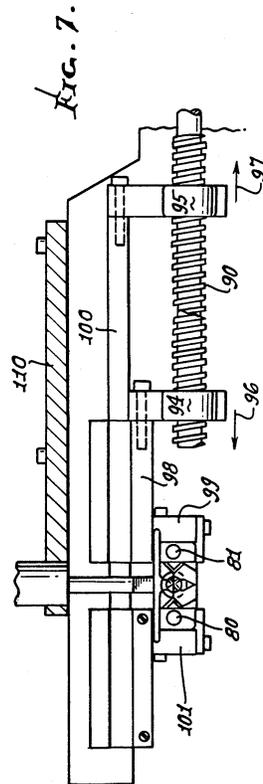
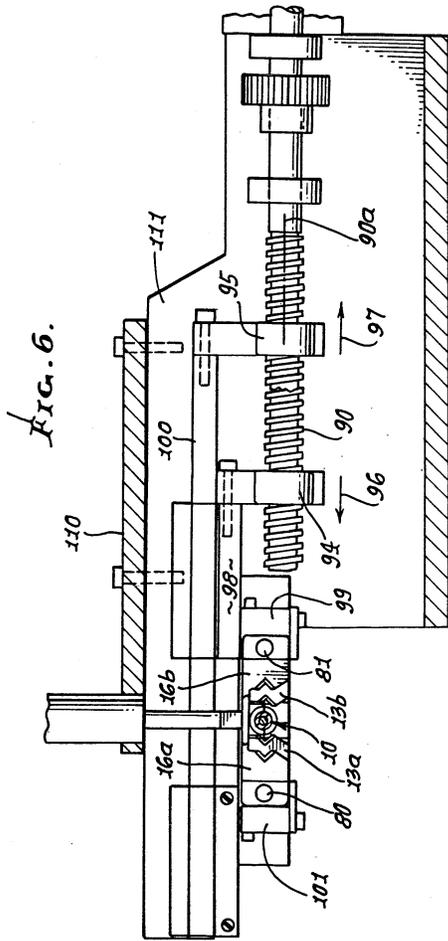
Inventor: Jack L. Hoffa

Fecha de publicación: 1990-11-09

Título: Multiple blade set strip process for cable and wire

Desarrollo/objetivo:

Sistema que es suministrado con alambre donde el mecanismo realizará la separación de ambos extremos del cable, retirando el aislante. Los procesos que incluye el sistema son corte del alambre (tamaño), pelar los revestimientos de ambos extremos, el cortador está compuesto por un conjunto de tres pares de cuchillas cada par incluye dos cuchillas situadas en los lados opuestos del eje.



Patente no.: ES2352146T3

Estatus legal: Activa

Inventor: Philip Andrew Byrne John Richard Gooding

Fecha de publicación: 2011-02-16

Título: Conjunto para eliminar impurezas en material reciclado triturado.

Desarrollo/objetivo:

Se busca el mejoramiento del proceso de eliminación de impurezas en el reciclado de triturados en la cual adjunta los procesos de las patentes US2.203.821, US3.909.873 y

US4.631.124 las cuales dan una parte de cómo se ha ido integrando dicho proceso y plantea mejoramiento en él mismo.

Patente no.: ES2431713B1

Estatus legal: Activa

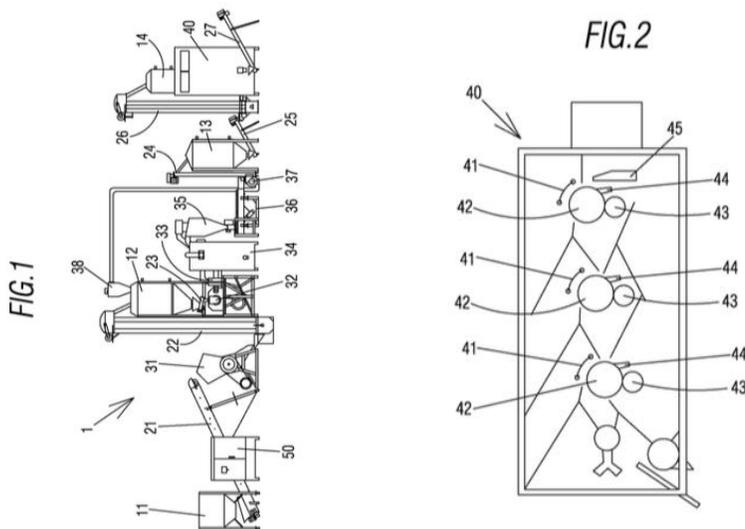
Inventor: Qizhen Cao Juan Manuel SANTANA ROMERO

Fecha de publicación: 2014-09-03

Título: Sistema y método de separación de material de aluminio y metales no ferrosos y producto obtenido

Desarrollo/objetivo:

Sistema y método de separación de aluminio y metales no ferrosos, particularmente respecto de materia plástica y dicha materia plástica entre sí, comprendiendo una primera trituradora destinada a recibir material para separar, asociada a su vez a una segunda trituradora por golpeo destinada a recibir material triturado por dicha primera trituradora y golpearlo, en el que dicha segunda trituradora está vinculada al menos a un dispositivo de separación densimétrica asociado a un dispositivo separador electrostático.



13.2.2 Patente de procedimiento de separación:

Patente no.: ES2254455T3

Estatus legal: Activa

Inventor: David R Baughman, Robert E. Brewer Wayne W. Hazen John O Mardsen
Joanna M. Robertson Roland Schmidt Philip Thompson

Fecha de publicación: 2006-06-16

Título: Procedimiento para la recuperación de cobre a partir de materias de mena sulfídica utilizando molido superfino y lixiviación por presión a temperatura media.

Desarrollo/objetivo:

procedimiento para la recuperación de cobre y otros metales valiosos a partir de materiales que contienen metal, y más particularmente a un procedimiento para la recuperación de cobre y otros metales valiosos a partir de materiales que contienen metal usando molido superfino controlado y lixiviación por presión a temperatura media.

