

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

" REDISEÑO DE DISCOS REFINADORES DE PULPA DE PAPEL
Y ANÁLISIS DE COSTO DE FABRICACIÓN A PARTIR DE MATERIA
PRIMA RECICLADA "

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

David Gabriel Rehpani Rodríguez

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2016

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios por darme la capacidad de poder culminar mi carrera, a mis padres y hermanos que estuvieron siempre apoyándome de una u otra manera. A todas las personas que han contribuido a la realización de este trabajo en especial al Ing. Ignacio Wiesner Falconí por su invaluable ayuda y tutoría.

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

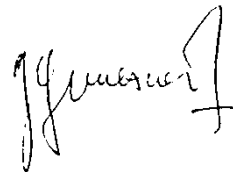
David Gabriel Rehpani Rodríguez

Ing. Ignacio Wiesner Falconí

y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.



DAVID GABRIEL REHPANI
RODRÍGUEZ



ING. IGNACIO WIESNER
FALCONÍ

RESUMEN

La actual situación de la industria papelera ecuatoriana está siendo afectada por la escasez en la importación de papel o materia prima para la elaboración del mismo, esta situación obliga a este sector industrial a aumentar la fabricación de papel Kraft a base del reciclaje lo cual requiere un sistema de molienda muy avanzado. Para este proceso de refinación se usan discos de acero resistentes al desgaste que normalmente son importadas a un alto costo, además se necesita tener una provisión mínima local en bodega debido a demoras en los despachos.

Las actuales empresas papeleras están buscando reducir costos de molienda alargando la vida útil de estos discos y a su vez reduciendo los tiempos de parada por cambios o mantenimientos, es posible lograr esto encontrando el material indicado que tenga mayor resistencia al desgaste por abrasión que los importados y con un menor costo de fabricación.

En este caso se propuso fabricar los discos refinadores con el proceso de fundición en molde de arena, obteniendo el metal base del reciclado de las bolas de trituración de los molinos de las cementeras locales. Estos elementos son de fundición blanca aleadas al cromo, que forman carburos logrando alta resistencia a la abrasión, estas aleaciones están contempladas en la norma ASTM A 532.

Al conocer los costos de fabricar localmente los discos refinadores, se logró hacer la comparación con el precio de los discos importados que actualmente hay en el mercado, en base a estos resultados se demostró la factibilidad de fabricar localmente muchos elementos de desgaste a partir de reciclaje, con esto se apoyará al cambio de matriz productiva en el Ecuador, dejando de importar materia prima y componentes de maquinarias y así evitar la dependencia de proveedores del exterior, logrando así aumentar la productividad nacional.

ABSTRACT

The current situation of Ecuadorian paper industry is being affected by a shortage in the importation of paper or raw material for the preparation, this situation forces the industry to increase the production of kraft paper based recycling which requires a highly advanced milling. For this process of refining discs wear resistant steel which are normally imported at high cost are used, in addition you need to have a local minimum provision in storage due to delays in deliveries.

The current paper companies are looking to reduce milling costs extending the life of these discs and in turn reducing downtime for changes or maintenance, it is possible to achieve this by finding the material indicated that has greater resistance to abrasion than imported with a lower cost of manufacture in this case it was proposed to make the refining discs with the process of sand mold casting, obtaining the base of the recycling of grinding balls mills local cement metal. These elements are alloyed white iron chromium carbides forming achieving high abrasion resistance, these alloys are covered by the ASTM A 532 standard. By knowing the costs to manufacture locally refining discs, it was possible to make a comparison with the price of imported drives currently on the market, based on these results, the feasibility to produce locally many elements wear demonstrated from recycling with this change it will support the productive matrix in Ecuador, rather than import raw materials and machinery components and avoid dependence on foreign suppliers, thus achieving increasing national productivity.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	II
ABREVIATURAS.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE APÉNDICE.....	VIII
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Descripción del problema.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo General.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos.....	2
1.3 Marco teórico.....	2
1.3.1 Proceso para la obtención de papel Kraft.....	2
1.4 Proveedores internacionales de partes de desgaste.....	10
1.5 Análisis de calidad de partes resistentes a la abrasión.....	11
CAPÍTULO 2	13
2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO.....	13
2.1 Diseño de forma y especificaciones técnicas de los cuerpos de molienda.....	13
2.2 Proceso de fabricación de discos refinadores y análisis de su costo.....	16
2.2.1 Proceso de fundición y maquinado.....	16
2.2.2 Análisis de costo de fabricación de discos refinadores de materia prima reciclada.....	19
2.3 Control de calidad de forma, análisis de dureza y prueba de desgaste bajo la norma ASTM G65.....	21
2.3.1 Control de calidad de forma.....	21

2.3.2	Análisis de dureza.....	21
2.3.3	Prueba de desgaste.....	22
CAPÍTULO 3	.....	27
3. RESULTADOS	.....	27
3.1	Evaluación técnica y económica	27
3.2	Análisis Costo-Beneficio.....	27
CAPÍTULO 4	.....	29
4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	.....	29
4.1	Conclusiones.....	29
4.2	Recomendaciones.....	30
BIBLIOGRAFÍA	.....	31
APÉNDICE	.....	32

ABREVIATURAS

ASTM American Society for Testing and Materials.

HRC Dureza Rockwell en la escala C.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. 1 CARTÓN RECICLADO	3
FIGURA 1. 2 ENTRADA AL DISGREGADOR.....	3
FIGURA 1. 3 DISGREGADOR	4
FIGURA 1. 4 PROCESO DE DISGREGACIÓN	5
FIGURA 1. 5 SEPARADOR DE FIBRAS.....	6
FIGURA 1. 6 DISCOS REFINADORES.....	7
FIGURA 1. 7 MESA DE FORMACIÓN	8
FIGURA 1. 8 JUMBO DE PAPEL	9
FIGURA 2. 9 RESISTENCIA A LA ABRASIÓN SEGÚN DUREZA.....	15
FIGURA 2. 10 PROCESO DE FABRICACIÓN DEL MOLDE DE ARENA.....	16
FIGURA 2. 11 PROCESO DE FUNDICIÓN DE DISCOS REFINADORES	17
FIGURA 2. 12 EQUIPO DE PRUEBA DE DESGASTE ABRASIVO.....	23

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. 1: COMPRAS DE DISCOS EN 2015.....	10
TABLA 1. 2: MEDICIONES DE DUREZA EN DISCO.....	11
TABLA 2. 3: FUNDICIONES BLANCAS ALEADAS	14
TABLA 2. 4: COSTO DE MATERIALES.....	19
TABLA 2. 5: COSTO DE MANO DE OBRA.....	20
TABLA 2. 6: COSTO TOTAL DE FABRICACIÓN.....	21
TABLA 2. 7: PROCEDIMIENTOS PARA PRUEBA DE DESGASTE	22
TABLA 2. 8: PERDIDA DE VOLUMEN PROBETA DISCO IMPORTADO.....	24
TABLA 2. 9: PERDIDA DE VOLUMEN PROBETA FUNDICIÓN BLANCA	24
TABLA 2. 10: MATRIZ DE DECISIÓN.....	25

ÍNDICE DE APÉNDICE

APÉNDICE A: VISTA FRONTAL DISCO 1.....	33
APÉNDICE B: VISTA FRONTAL DISCO 2.....	34
APÉNDICE C: VISTA ISOMÉTRICA DISCO 1.....	35
APÉNDICE D: VISTA ISOMÉTRICA DISCO 2.....	35
APÉNDICE E: VISTA TRASERA DISCO 1	38
APÉNDICE F: VISTA TRASERA DISCO 2.....	38
APÉNDICE G: ENSAMBLE DE DISCOS 1	39
APÉNDICE H: ENSAMBLE DE DISCOS 2.....	41

CAPÍTULO 1

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

Hace varios años el Gobierno del Ecuador ha estado dando impulso a la producción nacional; siendo uno de sus ejes principales el cambio de matriz productiva (Senplades, 2012). Para lograr esto es necesario que se incremente la producción de cartón, puesto que este es usado para el empaque y distribución de casi la totalidad de la producción nacional.

Dada la actual situación de medidas arancelarias (Aduana del Ecuador, 2015) y además teniendo como objetivo reducir costos en la refinación de la pulpa de papel, se ha decidido analizar la fabricación local de los platos refinadores que se usan en la industria papelera ecuatoriana.

El objetivo principal del presente trabajo profesional es demostrar la capacidad de producción local de estos implementos de desgaste, a un bajo costo y alta eficiencia.

Este estudio también tiene como finalidad disminuir los costos de mantenimiento programado del cambio de discos refinadores, esto se logrará mejorando la calidad de los mismos. A su vez, se podrá sustituir la importación y evitar la dependencia de los proveedores extranjeros.

Se analizará el costo de producción de los discos en base a materia prima reciclada, con el fin de optimizar costos de fabricación, de tal manera que los discos de fabricación nacional sean competitivos frente a los discos importados.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Rediseñar los discos refinadores de pulpa de papel en base a materia prima reciclada, logrando reducir su costo de fabricación local.

1.2.2 Objetivos Específicos

Rediseñar los discos a partir de los planos originales de la pieza, considerando mantener su diseño de forma.

Seleccionar un material reciclado que cumpla con las características de resistencia al desgaste por abrasión que se requiere para el correcto funcionamiento de los discos.

Analizar el proceso de fabricación de los discos mediante fundición en molde de arena y evaluar su costo.

Realizar comparativas de costos con proveedores internacionales.

1.3 Marco teórico

1.3.1 Proceso para la obtención de papel Kraft

1.3.1.1 Disgregación y depuración inicial.

La selección de la materia prima es clave en la obtención de las propiedades de la pulpa de papel, usualmente se trabaja con OCC (OLD CONTAINER CORRUGATED), que es el cartón importado. Este cartón tiene mayor resistencia que el nacional debido a la calidad de la fibra utilizada en su elaboración (Ver Figura 1.1).



Figura 1. 1 Cartón reciclado

Elaboración Propia

Se transporta la materia prima por un transportador de pacas para ser llevada al desintegrador donde se produce la disgregación del cartón reciclado para la elaboración de la pasta. (Ver figura 1.2)



Figura1. 2 Entrada al disgregador

Elaboración Propia

Mediante la desintegración se consigue poner en suspensión en agua la pasta que viene en forma de cartones prensados u hojas. Esta acción de deshacer las pacas para separar las fibras se realiza en el desintegrador.

El desintegrador es una máquina donde se realiza la operación de desmenuzando. El desintegrador está formado por un recipiente cilíndrico, en cuyo interior hay una hélice que se encarga de agitar las pacas recicladas que son introducidas en él. (Ver figura 1.3)



Figura1. 3 Disgregador

Elaboración propia.

Por medio del roce continuo de la pasta contra la hélice, se consigue separar las fibras quedando una suspensión en el agua con una consistencia promedio del 10% de materia seca.

El movimiento centrífugo dentro del desintegrador arrastra los residuos más pesados hacia la torre de desechos donde se almacenan y retiran en periodos de mantenimiento. (Ver figura1.4)



Figura 1. 4Proceso de disgregación

Elaboración propia.

Con la acción de un brazo hidráulico se retiran los desechos grandes y livianos que son depositados hacia un cajón de recolección.

Al final del proceso de disgregación se hace pasar la pasta por un tamiz que está situado en la parte inferior del *hidropulper*. Esta pasta es bombeada hacia el tanque de almacenamiento, el cual mediante un agitador se encarga de homogenizar la mezcla.

1.3.1.2 Separador de fibras

En este proceso la pasta ingresa al separador de fibras en el cual se la subdivide de acuerdo a la longitud que las conforman. Las fibras cortas se dirigen al tanque de reposo, para luego ser trasladadas al tanque en donde se mezclan con las otras fibras a las cuales se les dio un tratamiento especial. La fibra larga va a otro tanque de reposo sin embargo esta fibra debe cumplir otro proceso.

Con la finalidad de obtener una correcta formación del papel, todas las fibras deben de tener igual longitud, razón por la cual las traslada hacia el refinador (Ver figura 1.5).



Figura1. 5Separador de fibras

Elaboración propia

1.3.1.3 REFINACIÓN

Las fibras que se obtienen originalmente de la madera u otros vegetales, necesitan del refinado para que desarrollen o mejoren sus propiedades para la formación adecuada de la hoja y su posterior uso. Con esta operación la pasta adquiere aptitudes específicas para producir diversos tipos de papel: papel para impresión, embalaje, vegetal, etc.

El refinador está compuesto por un elemento fijo (estator) y otro de rotación (rotor), entre los cuales se hace pasar la pasta hasta obtener el tamaño de fibra deseado. (Ver figura 1.6)

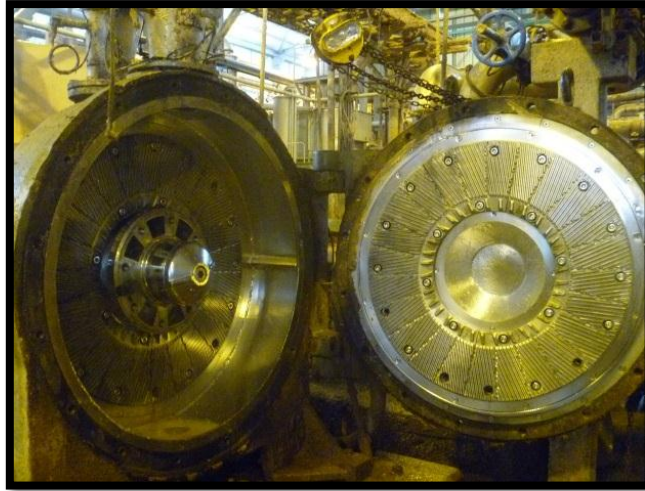


Figura 1. 6Discos refinadores

Elaboración propia

Durante el proceso de refinado se logran romper las paredes primarias y secundarias del exterior de la fibra, con esto se permite la hidratación del interior de la fibra, lo cual provoca su hinchamiento.

Con este proceso se logra que la fibra se vuelva más flexible y blanda aumentando su volumen específico; todos estos efectos se agrupan en tres:

Hidratación

Se produce cuando, debido al batido o agitación de las fibras en el refino, el agua penetra por entre las fibrillas produciendo un efecto de hidratado, esto es debido a que el agua y la celulosa se combinan mediante una reacción física.

Fibrilación

Es la liberación y separación de fibrillas producidas por la ruptura parcial de las paredes, durante el roce de las cuchillas del refino y las fibras entre sí.

Corte

El efecto ocasionado por la acción de las cuchillas sobre las fibras, sufriendo roturas (cortes) y por tanto, disminuyendo su longitud.

1.3.1.4 Proceso final de elaboración de papel.

Una vez lista la pulpa es pasada a la mesa de formación del papel, está compuesta de rodillos que permiten el paso de la lámina de papel para su elaboración. (Ver figura 1.7)



Figura1. 7Mesa de formación

Elaboración propia

Para fijar el grado final de humedad del papel se elimina más cantidad de agua por evaporación; la sección de secado consta de una serie de cilindros calentados mediante vapor sobre los que pasa la hoja de papel. Los cilindros se disponen de modo que contactan primero con un lado del papel y luego con el otro para garantizar su homogénea deshidratación. La hoja de papel puede apoyarse durante esta fase o bien soportarse por sí misma, en función del diseño del equipamiento.

El apoyo mejora el contacto y la transferencia de calor, al tiempo que facilita una alta velocidad operacional.

El papel que va a someterse a un procesamiento adicional para la obtención de un producto final, se enrolla sobre un eje de acero y se forma un rollo gigante, también denominado Jumbo. (Ver figura 1.8)



Figura1. 8Jumbo de papel

Elaboración propia

1.4 Proveedores internacionales de partes de desgaste.

Actualmente la industria papelera local se provee de discos refinadores y otros elementos de desgaste directamente de empresas de Perú como TECH TRADE S.A.C. o de Estados Unidos como la compañía J&L Fiber Services. Al realizar este tipo de importaciones se debe cancelar por adelantado los discos con cada pedido, adicional se debe manejar un alto stock para evitar quedar desabastecido, todo esto genera altos costos de inventario que pueden ser mejorados cuando se logre la producción local.

A continuación se muestra los valores de las compras realizadas al exterior en discos refinadores en el año 2015. (Ver Tabla 1.1)

Tabla 1. 1: Compras de discos en 2015

PROVEEDOR	CANTIDAD (Juego de 32 sectores)	FECHA O/C	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
J&L FIBER SERVICES	4	01/09/15	5553	22212
TECH TRADE S.A.C	3	03/27/15	4914	14742
TECH TRADE S.A.C	4	06/16/15	4914	19656
TECH TRADE S.A.C	3	06/23/15	5187.6	15562.8
TECH TRADE S.A.C	3	07/20/15	5187.6	15562.8
TECH TRADE S.A.C	3	10/19/15	5187	15561
TECH TRADE S.A.C	4	11/24/15	5187	20748
TECH TRADE S.A.C	4	12/16/15	3685.5	14742
			TOTAL 2015	138786.6

Fuente: Surpapelcorp, 2015.

Tomando un valor promedio de cada juego de discos de \$ 4976.96 se puede determinar que el costo por kg que los proveedores internacionales venden a la industria papelera local es de \$ 12.44.

1.5 Análisis de calidad de partes resistentes a la abrasión.

Realizando una medición de dureza en el laboratorio y una inspección visual en los discos importados se determinó que tienen 42 HRC de dureza, en base a esto se pudo constatar que los discos importados que actualmente usa la industria papelera son comúnmente fabricados de acero al carbono con tratamiento térmico de temple (Ver tabla 1.2)

Tabla 1. 2: Mediciones de dureza en disco

	Dureza (HRC)
Medición 1	43
Medición 2	43
Medición 3	44
Promedio	43.33

El desgaste por abrasión de la pulpa de papel se ve incrementado debido a la presencia de arena en el cartón reciclado. El desgaste por fricción, (el contacto metal-metal) se da muchas veces por desbalance, rozas entre elementos del disco rotor y estator por holguras. Con un adecuado mantenimiento se logra disminuir considerablemente el desgaste por fricción. El desgaste por corrosión se da por las condiciones de trabajo de los discos refinadores; dependiendo de la calidad del agua que se use en el proceso se obtendrán distintos valores de corrosión en los discos.

CAPÍTULO 2

2 METODOLOGÍA DEL DISEÑO

2.1 Diseño de forma y especificaciones técnicas de los cuerpos demolienda

Existen varios criterios que se pueden aplicar en la selección de un material para aplicaciones de desgaste. El criterio principal es que el material permanezca químicamente, mecánicamente y térmicamente estable bajo las condiciones de operación.

Un criterio secundario es que las tensiones de contacto nominales estén dentro del límite elástico del material. Si cualquiera de estos criterios no se cumple, es probable que se tenga un comportamiento de desgaste severo.

El desgaste de material resistente no es una propiedad intrínseca, como módulo de elasticidad o densidad, tiende a variar con la situación de desgaste.

A menudo es necesario tener en cuenta otras propiedades del material porque la dureza no es la única propiedad que se asocia con comportamiento de desgaste.

Con el fin de buscar una opción más eficiente se propone una fundición blanca aleada al 12% de Cr. Es indispensable conocer las condiciones de trabajo del disco refinador ya que existen 3 tipos de desgaste: abrasión, fricción y corrosión.

En la tabla 2.3 se contemplan las aleaciones blancas especificadas en la norma ASTM A 532.

Tabla 2. 3: Fundiciones blancas aleadas

CLASE	TIPO	DESIGNACION	% C	% Mn	% Si	% Ni	% Cr	% Mo
I	A	Ni-Cr-HC	3.0-3.6	1.3 max	0.8 max	3.3-5.0	1.4-4.0	1.0 max
I	B	Ni-Cr-LC	2.5-3.0	1.3 max	0.8 max	3.3-5.0	1.4-4.0	1.0 max
I	C	Ni-Cr-GB	2.9-3.7	1.3 max	0.8 max	2.7-4.0	1.1-1.5	1.0 max
I	D	Ni-Hi Cr	2.5-3.6	1.3 max	1.0-2.2	5.0-7.0	7.0-11.0	1.0 max
II	A	12% Cr	2.4-2.8	0.5-1.5	1.0 max	0.5 max	11.0-14.0	0.5-1.0
II	B	15% Cr-Mo-LC	2.4-2.8	0.5-1.5	1.0 max	0.5 max	14.0-18.0	1.0-3.0
II	C	15% Cr-Mo-HC	2.8-3.6	0.5-1.5	1.0 max	0.5 max	14.0-18.0	2.3-3.5
II	D	20% Cr-Mo-LC	2.0-2.6	0.5-1.5	1.0 max	1.5 max	18.0-23.0	1.5 max
II	E	20% Cr-Mo-HC	2.6-3.2	0.5-1.5	1.0 max	1.5 max	18.0-23.0	1.0-2.0
III	A	25% Cr	2.3-3.0	0.5-1.5	1.0 max	1.5 max	23.0-28.0	1.5 max

Fuente: Norma ASTM A532, 1993.

Una de las características principales del hierro blanco aleado al 12% Cr es la distribución de los carburos y una estructura cristalina que nos permita tener una vida elevada de la pieza, eficiencia en producción y reducción de costos de mantenimiento. Por su excelente resistencia a la abrasión se destaca este hierro blanco aleado de entre otros hierros aleados, esta fundición blanca aleada posee una matriz austenítica con carburos de cromo.

En la Figura 2.9 se observa la superioridad de los carburos de cromo para trabajar en medios abrasivos.

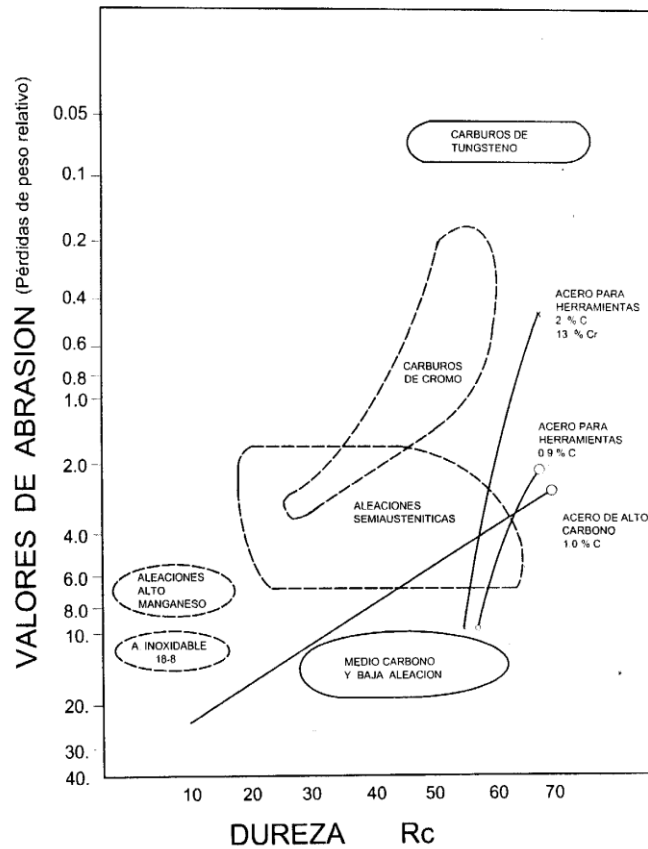


Figura2. 9 Resistencia a la abrasión según dureza

Fuente: Rohrig, 1996

En el caso de los aceros herramientas y los aceros de alto carbono presentan baja tenacidad para altos valores de dureza, por esta razón se lo recomienda usar hasta los 45 RC de dureza.

Se puede observar un mayor porcentaje de carbono y cromo en las fundiciones blancas aleadas, esto es debido a que forman carburos de hierro

y carburos de cromo, como resultado se logra un incremento considerable en la resistencia al desgaste por abrasión.

2.2 Proceso de fabricación de discos refinadores y análisis de su costo

En esta sección se analizará el proceso de elaboración de los discos refinadores con el sistema de fundición en molde de arena. La fundición en arena es el método más adecuado para obtener formas complicadas; en algunos casos esta es la única manera de obtener piezas complejas.

2.2.1 Proceso de fundición y maquinado

En la figura 2.10 se detalla el proceso de elaboración del molde de arena.

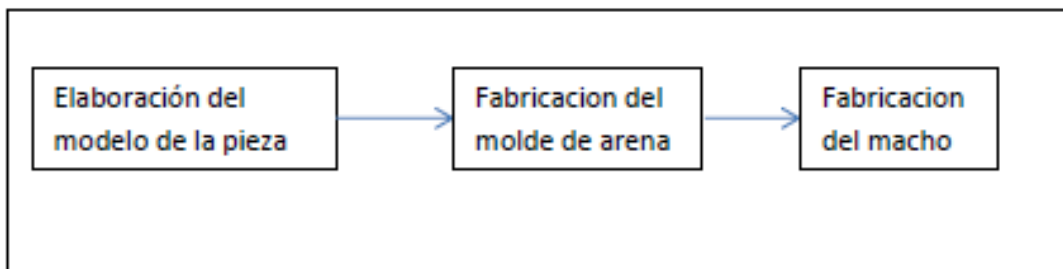


Figura 2.10 Proceso de fabricación del molde de arena

Elaboración propia

Para la fabricación de piezas de fundición se requiere un modelo de tamaño natural, en este caso se propone realizarlo en aluminio habiendo obtenido una pieza original de muestra y sus planos. Con todos los datos del disco refinador se procederá a realizar el maquinado del modelo.

El maquinado de la pieza se lo realizó con un aumento del 1.8% en todas sus medidas considerando la contracción del metal en la etapa de enfriamiento. Dependiendo del material usado para el modelo se define el porcentaje de reducción al enfriarse; a esta medida es necesario darle un aumento adicional

si se requiere de un maquinado posterior a la fundición que le otorgue las medidas finales.

Para la fabricación de esta pieza se usará el sistema de moldeo de arena fría, usando aglutinantes y aglomerantes para fortalecer el molde, se logra obtener mayor precisión dimensional en la pieza fundida.

En la Figura 2.11 se presenta un flujo grama del proceso de fundición de los discos.

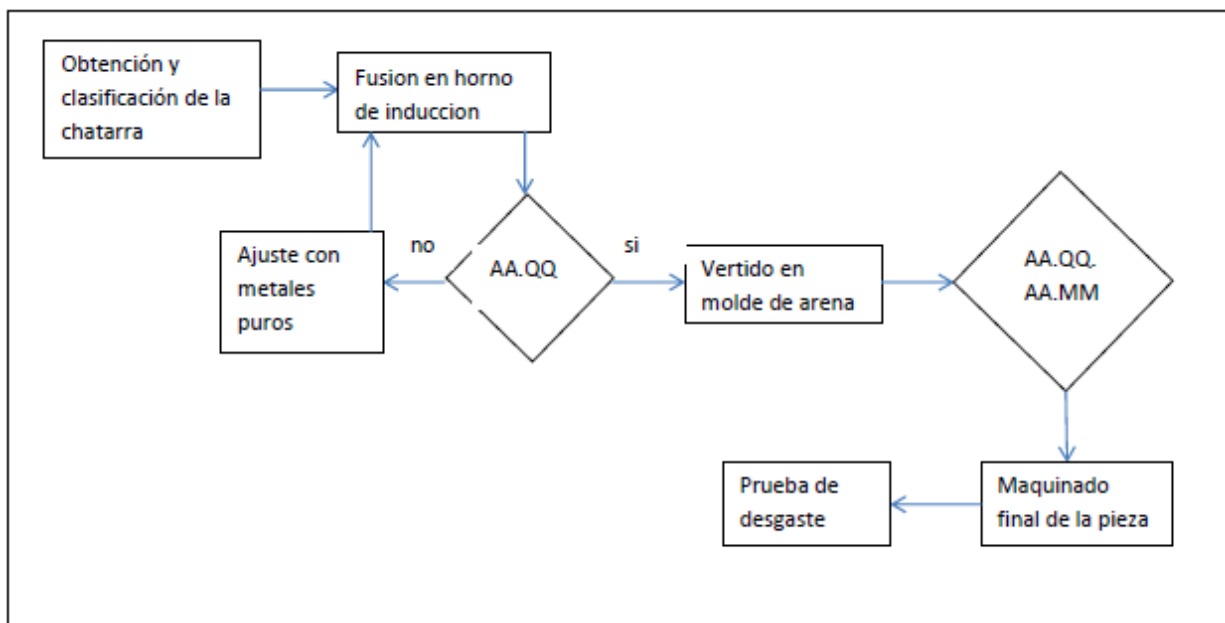


Figura2. 11Proceso de fundición de discos refinadores

Elaboración propia.

Inicialmente se obtiene la materia prima de la chatarra de las bolas de molinos de industrias cementeras locales, luego se las somete a un proceso de lavado mediante un chorro de arena para la eliminación de impurezas.

La obtención de la materia prima se realiza en forma paralela a la fabricación del molde, tal como se describió previamente. Una vez que se cuenta con el molde y la materia prima, se procede al encendido del horno de inducción hasta llegar a la temperatura de 1550°C.

Los hornos de inducción permiten obtener una fundición limpia y eficiente por la rapidez en la generación de calor que poseen. En la actualidad el horno de inducción está reemplazando cada vez más a los altos hornos; este horno permite fundir cobre, aluminio, hierro y aceros, en un amplio rango de capacidades de fundición.

Durante el proceso de fundición se debe tomar una muestra de la colada, para realizarle un análisis químico en el equipo de absorción atómica y verificar que la colada posea las aleaciones en los correctos porcentajes de acuerdo a la norma ASTM A532. En caso de no cumplir con los valores establecidos en la norma, se procede a introducir al horno directamente las aleaciones faltantes; ya sea cromo, carbono o molibdeno. Al verificar que la composición química es la deseada se procede a preparar el molde para el vertido de la colada.

Al momento de verter el metal fundido en el molde, el enfriamiento de la colada comienza en el exterior de la pieza debido a que el calor solo fluye hacia afuera del molde. La estructura cristalina del metal se ve afectada por la tasa de enfriamiento de las diferentes partes de la pieza; las superficies del exterior habitualmente poseen granos finos debido a su rápido enfriamiento, al interior de la pieza se logran obtener granos grandes debido al enfriamiento lento.

Una vez que la pieza se ha enfriado se realiza un análisis mecánico que se trata de medir la dureza de la pieza con el fin de verificar las características requeridas para que sean aprobadas y puedan ser enviadas a su maquinado final.

2.2.2 Análisis de costo de fabricación de discos refinadores de materia prima reciclada

Costo de materiales

Se inicia conociendo la capacidad del horno de inducción usado, que es de 500 kg aproximadamente. Para optimizar el proceso de fundición se realizará el análisis del costo de 32 sectores de discos.

Se determina mediante el uso de AUTOCAD que la masa final de cada sector es de 12.5 kg. Con este valor, se calcula la masa total que se necesita fundir para obtener los 32 sectores.

Se considera el 0.05% del peso de la colada para calcular la cantidad de resina que se debe usar para la fabricación del molde. Adicional se considera la necesidad de añadir ferro-cromo de alto carbono en cantidad al 1.5% del peso de la colada.

Considerando lo expuesto, se obtiene el costo de los materiales necesarios para la fundición (Ver tabla 2.4).

Tabla 2. 4: Costo de materiales

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario(\$)	Costo Total (\$)
Materia prima para fundicion (reciclada)	Kg	416	0.25	104.00
Arena para moldear	Kg	64	0.10	6.40
Resinas	Kg	0.32	6.00	1.92
Ferro-Cromo de alto carbono	Kg	6.24	4.50	28.08
Energia Electrica (Horno Induccion)	Kw/h	353.6	0.11	38.90
			TOTAL	179.30

Elaboración propia.

Costo de mano de obra

Para el siguiente análisis se tomó en consideración la mano de obra de un grupo de 4 personas y se incluyó por separado el rubro de maquinado final de la pieza.

Sueldo de moldeador, ayudante y machero: \$ 354 mensuales

$$\text{Costo de moldeador, ayudante y machero} = \frac{\$354}{20 \text{ días}} * \frac{1 \text{ día}}{8 \text{ horas}}$$

$$\text{Costo de moldeador, ayudante y machero} = \frac{\$ 2.21}{\text{hora}}$$

$$\text{Costo de supervisor y analista de calidad} = \frac{\$1200}{20 \text{ días}} * \frac{1 \text{ día}}{8 \text{ horas}}$$

$$\text{Costo de supervisor y analista de calidad} = \frac{\$ 7.50}{\text{hora}}$$

Se consideran sueldos acordes al mercado establecido en 20 días de trabajo mensuales con 8 horas diarias. (ver tabla 2.5)

Tabla 2. 5: Costo de mano de obra

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo Unitario(\$)	Costo Total (\$)
Supervisor de planta y control de calidad	horas	24	8.00	192.00
Moldeador	horas	24	2.21	53.04
Ayudante	horas	32	2.21	70.72
Machero	horas	24	2.21	53.04
Servicio de maquinado	Unidad	1	1000.00	1000.00
			TOTAL	1368.80

Elaboración propia.

Sumando los costos considerados en materiales y mano de obra, se obtiene el costo total de fabricar localmente con materia prima reciclada 32 sectores de discos refinadores (Ver tabla 2.6).

Tabla 2. 6: Costo total de fabricación

Rubro	Costo (\$)
Materiales	173.06
Mano de Obra	1368.8
<i>TOTAL</i>	1541.86

Elaboración propia.

2.3 Control de calidad de forma, análisis de dureza y prueba de desgaste bajo la norma ASTM G65

2.3.1 Control de calidad de forma

Una vez finalizado el proceso de maquinado y rectificado final, es necesario verificar las formas y medidas de la pieza, con el fin de no tener inconvenientes al momento del montaje en el refinador.

Se verifica la distancia entre centros de los agujeros ya que de esto depende la fijación de los discos al refinador. Así también se miden los espesores de los canales que estarán sometidos al desgaste con el fin de evitar que tengan problemas de rotura o rasgado al momento de trabajar.

2.3.2 Análisis de dureza

Se procede a realizar 3 tomas de dureza al disco en distintas partes para comprobar su homogeneidad y características resistentes a la abrasión.

2.3.3 Prueba de desgaste

Con el fin de demostrar la resistencia a la abrasión de esta fundición blanca, se realizó a las piezas una prueba de desgaste abrasivo basándonos en la norma ASTM G65. Se usaron los parámetros de la prueba en el procedimiento B que sirve para evaluar medianas y altas resistencias a la abrasión. (Ver tabla 2.7)

Tabla 2. 7: Procedimientos para prueba de desgaste

Specified Procedure	Force Against Specimen, ^a N (lb)	Wheel Revolutions	Lineal Abrasion ^a m	(ft)
A	130 (30)	6000	4309	(14 138)
B	130 (30)	2000	1436	(4 711)
C	130 (30)	100	71.8	(236)
D	45 (10.1)	6000	4309	(14 138)
E	130 (30)	1000	718	(2 360)

Fuente: Norma ASTM G65, 2000

El tipo de arena usada es la AFS 50/70 y el flujo debe estar entre 300 y 400g/min, el tiempo de la prueba será de aproximadamente 30 min para el procedimiento A y D, 10 min para el procedimiento B, 5 min para el procedimiento E, y 30 s para el procedimiento C.

Se procede a la elaboración de la probeta, la cual debe tener forma rectangular de 25 x 76 mm y entre 3.2 y 12.7 mm de grosor.

Procedimiento

Se limpia la probeta con disolvente para eliminar toda la suciedad o contaminante que pueda tener la muestra, las muestras de acero deben ser desmagnetizadas antes de realizar la prueba.

Se pesa la muestra a 0.01 g, se asienta la probeta en el soporte y se empieza a añadir los pesos adecuados al brazo de la palanca para obtener la fuerza necesaria de presión de la probeta contra la rueda.

Se realiza la prueba considerando los parámetros detallados en la Tabla 2.5

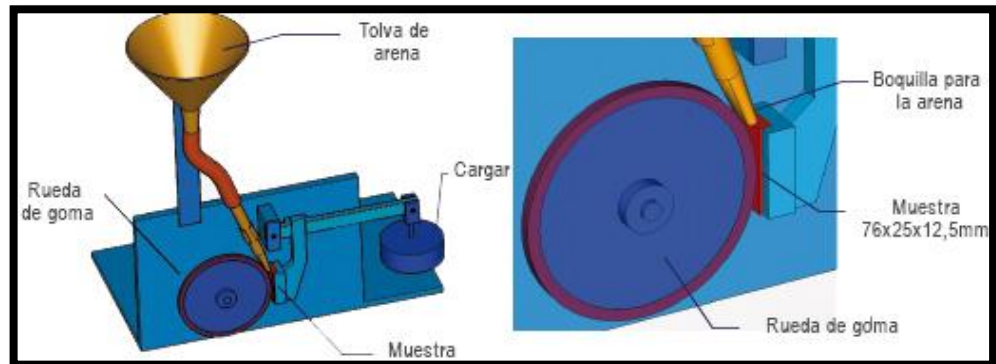


Figura2. 12Equipo de prueba de desgaste abrasivo

Fuente: Creusabro, 2015.

Luego de terminada la prueba se retira la muestra y volvemos a pesar con una precisión de 0,01g. Los resultados de las pruebas de abrasión deben ser reportados como la pérdida de volumen en milímetros cúbicos de acuerdo con el procedimiento utilizado en la prueba.

$$Volumen\ perdido\ (mm^3) = \frac{masa\ perdida\ (g)}{Densidad\ (\frac{g}{cm^3})} \times 1000$$

Luego de realizar pruebas con 5 probetas para cada tipo de material analizado se obtuvo los siguientes resultados (Ver Tabla 2.8y Tabla 2.9).

Tabla 2. 8: Perdida de volumen probeta disco importado

Probeta	Volumen perdido (mm3)
1	73.54
2	69.31
3	68.48
4	74.09
5	76.29
Promedio	72.34

Elaboración propia.

Se determinó la desviación estándar

$$S = 2.97$$

Tabla 2. 9: Perdida de volumen probeta fundición blanca

Probeta	Volumen perdido (mm3)
1	62.35
2	64.58
3	60.21
4	57.46
5	61.4
Promedio	61.20

Elaboración propia.

Se determinó la desviación Estándar

$$S = 2.36$$

Luego de haber realizado el análisis de costo de fabricación y las pruebas de desgaste se procedió a evaluar varios criterios de selección considerando un puntaje máximo del 100% al que mayor ventaja tiene respecto a otro material. (Ver tabla 2.10)

Tabla 2. 10: Matriz de decisión

	Tiempo de fabricacion	Costo de fabricacion	Fabricacion ecologica	Eficiencia de refinio	TOTAL PONDERACION
TIPOS DE PROCESO DE FABRICACION Y MATERIAL	25%	35%	15%	25%	100%
Fundicion blanca 12% Cr (reciclado)	20%	35%	15%	25%	95%
Maquinado con T.T. - Acero herramienta	13%	18%	0%	20%	51%
Maquinado con T.T. - Acero al carbono	13%	18%	0%	20%	51%

Elaboración propia.

A continuación se detalla el análisis de los criterios de evaluación propuesto para la fabricación de los discos refinadores.

TIEMPO DE FABRICACIÓN

La fundición blanca aleada obtuvo el mayor puntaje debido a que su proceso de fabricación en molde de arena permite obtener geometrías complejas con dimensiones cercanas a las finales, lo cual nos ahorra tiempo de maquinado en comparación al acero herramienta o el acero al carbono, donde se tendría que maquinar los discos desde una pieza solida ya sea eje de sección circular o de una plancha.

COSTO DE FABRICACIÓN

Al reducir el tiempo de fabricación y a su vez teniendo muy poco desperdicio por el bajo maquinado de material en comparación al acero herramienta o acero al carbono podemos otorgar el mayor puntaje a la fundición blanca aleada.

FABRICACION ECOLÓGICA

El obtener la materia prima reciclada de las bolas de los molinos de las cementeras nos permite tener una ventaja con la fundición blanca desde el punto de vista ecológico y de medio ambiente.

EFICIENCIA DE REFINO

Según los datos obtenidos de la prueba de desgaste se determina que el fundición blanca posee un 15% mayor resistencia a la abrasión que el disco de acero al carbono importado, por este motivo obtuvo la mayor calificación en este criterio de evaluación.

Se recomienda la combinación de las fundiciones blancas con elementos aleantes como el cromo y molibdeno ya que se logra obtener características específicas que generan economía en los procesos donde hay desgaste por abrasión. (Rohrig, K., 1996).

Dependiendo del tipo de aleación y sus características, las fundiciones blancas aleadas son ampliamente utilizadas en procesos que presenten las siguientes tres características de servicio:

- Condiciones corrosivas.
- Servicio a elevadas temperaturas
- Condiciones de desgaste y resistencia a la abrasión.

En donde las características del proceso están dadas por condiciones de desgaste por abrasión se usan aleaciones como el Níquel-Cromo, altas concentraciones de Cromo y el Molibdeno-Cromo.

Se recomiendan estas aleaciones en discos refinadores de pulpa de papel, procesos de molienda y trituración, descomposición de materiales abrasivos en general.

Estas aleaciones presentan carburos en su microestructura, que proveen la dureza requerida para triturar y moler sin sufrir desgaste prematuro, conservando su tenacidad.

CAPÍTULO 3

3 RESULTADOS

En este capítulo se resumen los resultados obtenidos tanto en las pruebas que fueron sometidas las probetas como el análisis del costo de fabricación de los discos.

3.1. Evaluación técnica y económica

Luego de realizar las pruebas de desgaste por abrasión se determinó que la probeta obtenida del disco importado tuvo un desgaste promedio de 72.34 mm³. En comparación, la probeta de fundición blanca se obtuvo un desgaste promedio de 61.20 mm³.

El costo total de fabricar 32 sectores de discos refinadores de pulpa de papel es de \$1541.86, en este valor está considerado el material, consumibles y mano de obra.

Conociendo el dato que cada sector tiene un peso aproximado de 12.5 kg se determinó que el costo de fabricación de los discos por kg en base a materia prima reciclada es de \$ 3.85.

Relacionando los valores de desgaste de ambas probetas sometidas al mismo ensayo, se determinó que el actual material usado en los discos importados tuvo un 15% mayor desgaste que la fundición blanca que en este proyecto se propone para la fabricación local de los discos.

3.2. Análisis Costo-Beneficio

Considerando los costos de fabricación del disco local versus el importado, y que la fundición blanca posee un 15% mayor resistencia al desgaste abrasivo, este proyecto es económicamente viable. A continuación se analiza la rentabilidad en el negocio de fabricación de discos refinadores de pulpa de papel.

En comparación al precio de venta de los discos importados, se tiene que existe una diferencia de \$ 8.59 por cada kg; esto es, por cada juego de 32 sectores de discos se podría obtener una ganancia máxima de \$ 3436.

Asumiendo que se vende el disco fabricado localmente al mismo precio del importado, la industria papelera que ha servido de ejemplo para este proyecto podría tener un ahorro aproximado de \$ 20817.99, que estaría reflejado en número de discos que cambiarían cada año.

CAPÍTULO 4

4 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La importancia de este proyecto radica en la innovación, fundamentada en los conceptos básicos de ingeniería y materiales, con la finalidad de implementar nuevas tecnologías en el sector industrial, logrando crear una fuente de ingreso que nos permita fomentar el cambio de matriz productiva.

Existen muchas oportunidades de mejora en varios sectores industriales donde existen piezas o partes de máquinas que están sometidas a diferentes tipos de desgaste, es necesario explorar estas oportunidades realizando pruebas comparativas en laboratorios para definir las soluciones idóneas según las necesidades.

4.1 Conclusiones

- Se logró determinar que la aleación blanca al 12% Cr posee una mejor resistencia a la abrasión en comparación al material de los discos importados, esto es debido a la formación de sus carburos de cromo, manteniendo su tenacidad gracias a su matriz austenítica.
- Al tener un desgaste menor en estas piezas se podrá aumentar los intervalos de mantenimiento y cambio de las mismas, reduciendo las paradas del refinador y aumentando la producción de la industria papelera.
- Al conocer las propiedades de la colada de fundición blanca cuando se trabaja con molde de arena, es posible obtener piezas de geometría complicada con dimensiones muy cercanas a las finales, reduciendo el costo de maquinado final.
- El uso de bolas de molinos de cementeras recicladas como materia prima para la fabricación de los discos, ayuda a obtener bajos

- costos de producción, lo que permite ser competitivos en comparación a proveedores internacionales.

4.2 Recomendaciones

Analizar procesos productivos de diferentes sectores industriales para determinar oportunidades de implementación de este tipo de aleaciones.

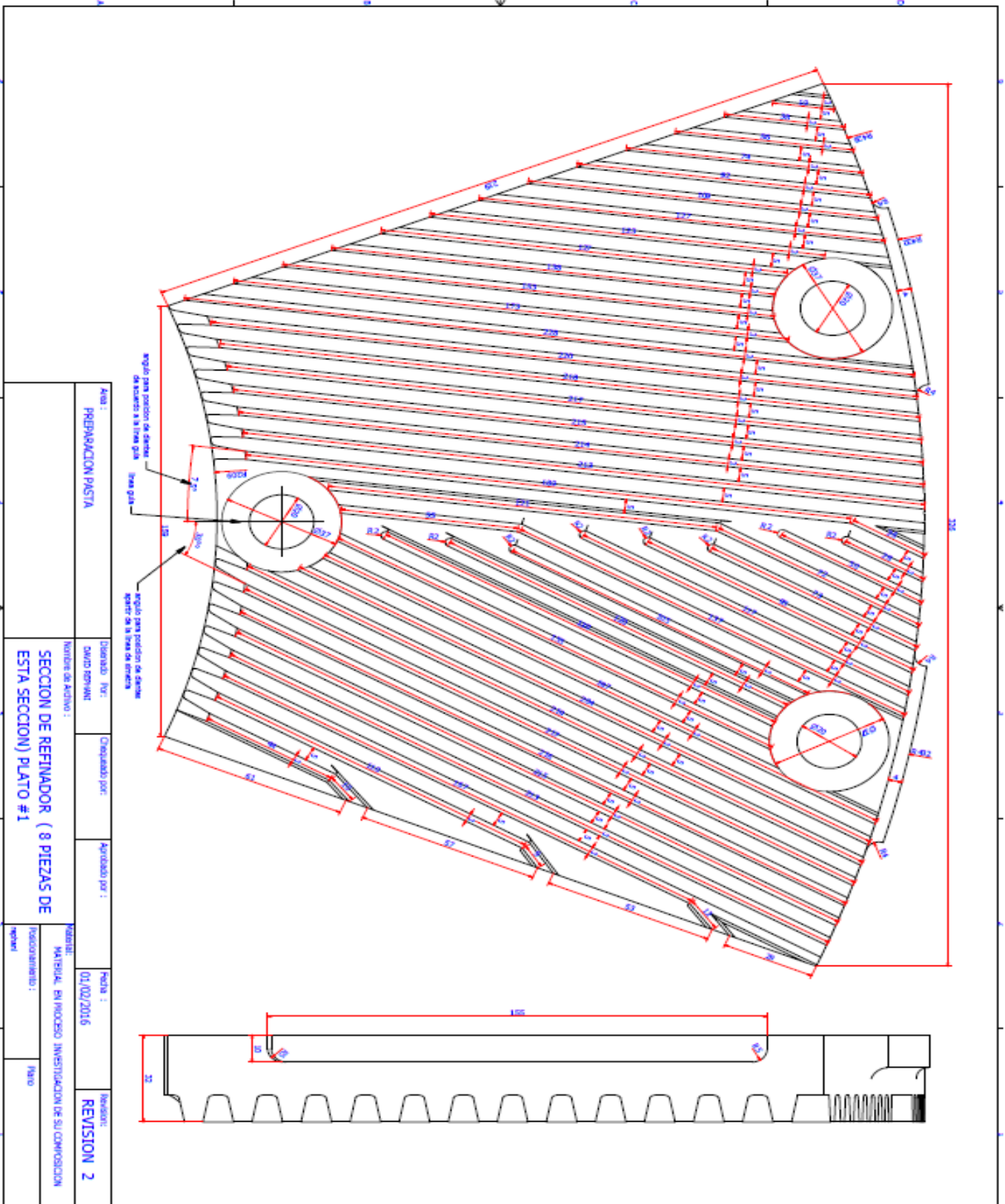
Validar en pruebas de campo las propiedades y características demostradas en el laboratorio.

BIBLIOGRAFÍA

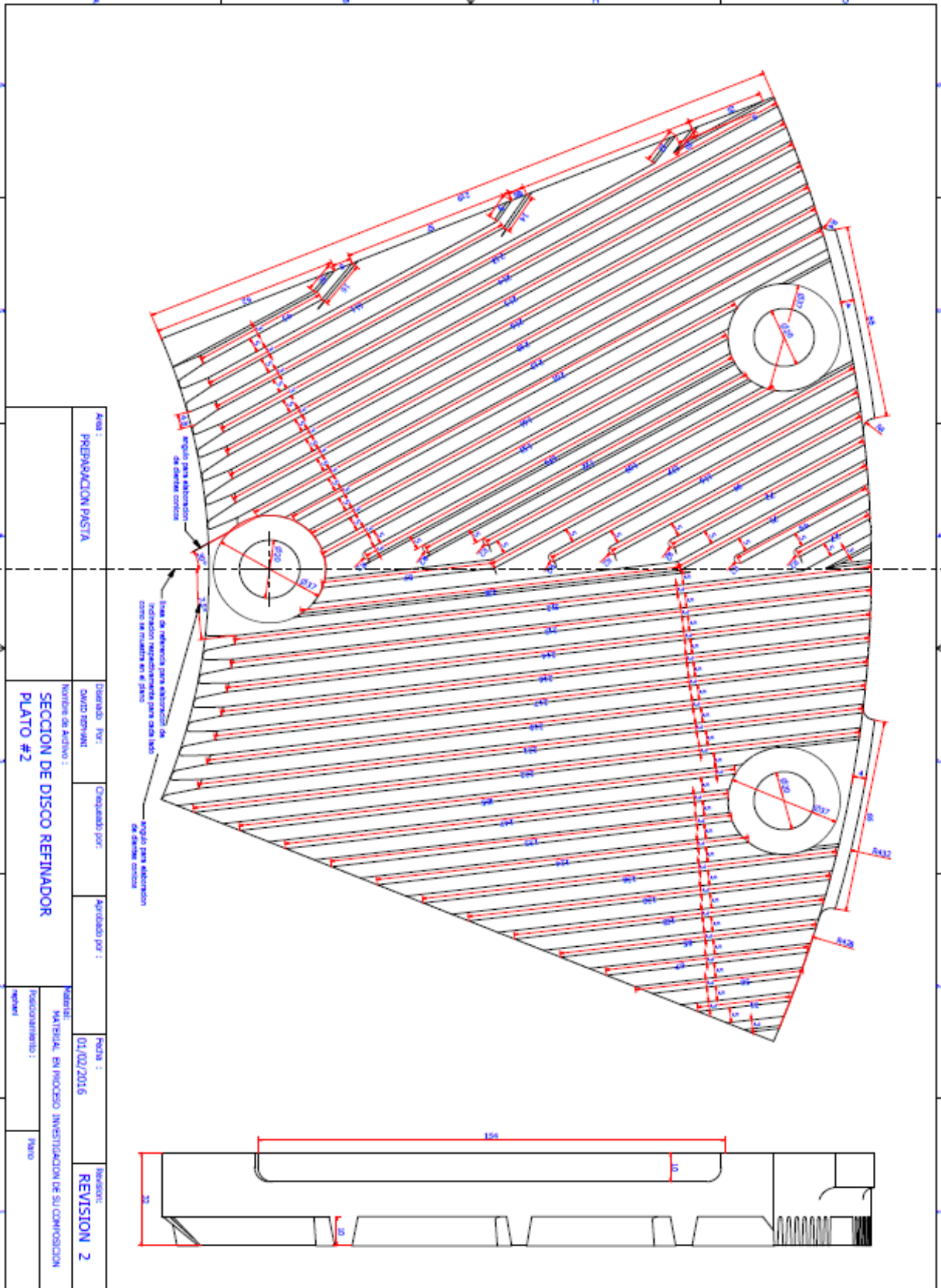
- Gil, J. R. (2010). *Introducción al conocimiento de los materiales y a sus aplicaciones*. España: UNED.
- Rohrig, K. (1996). *Ni-Hard Material Data and Applications*. Canada: Nickel Development Institute.
- Riba, C. (2010). *Selección de materiales en el diseño de máquinas*. España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- ASTM Standard A 532/A 532M. *Standard Specification for Abrasion-Resistant Cast Irons, Annual Book of Standards*, Vol. 3, ASTM International, West Conshohocken, PA, 1993.
- ASTM Standard G 65. *Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel, Annual Book of Standards*, Vol. 3, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2000.
- Dieter, G. (1997). *ASM Handbook: Materials selection and design, Volume 20*. USA: ASM International.
- Senplades (2012). *Transformación de la Matriz Productiva*, Quito: Ediecuatorial. Recuperado de http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/01/matriz_productiva_WEBtodo.pdf
- Aduana del Ecuador (2015). Resolución No. 011-2015. Recuperado de: <http://www.aduana.gob.ec/archivos/Boletines/2015/Anexo%20011-2015%20final.pdf>

APÉNDICE

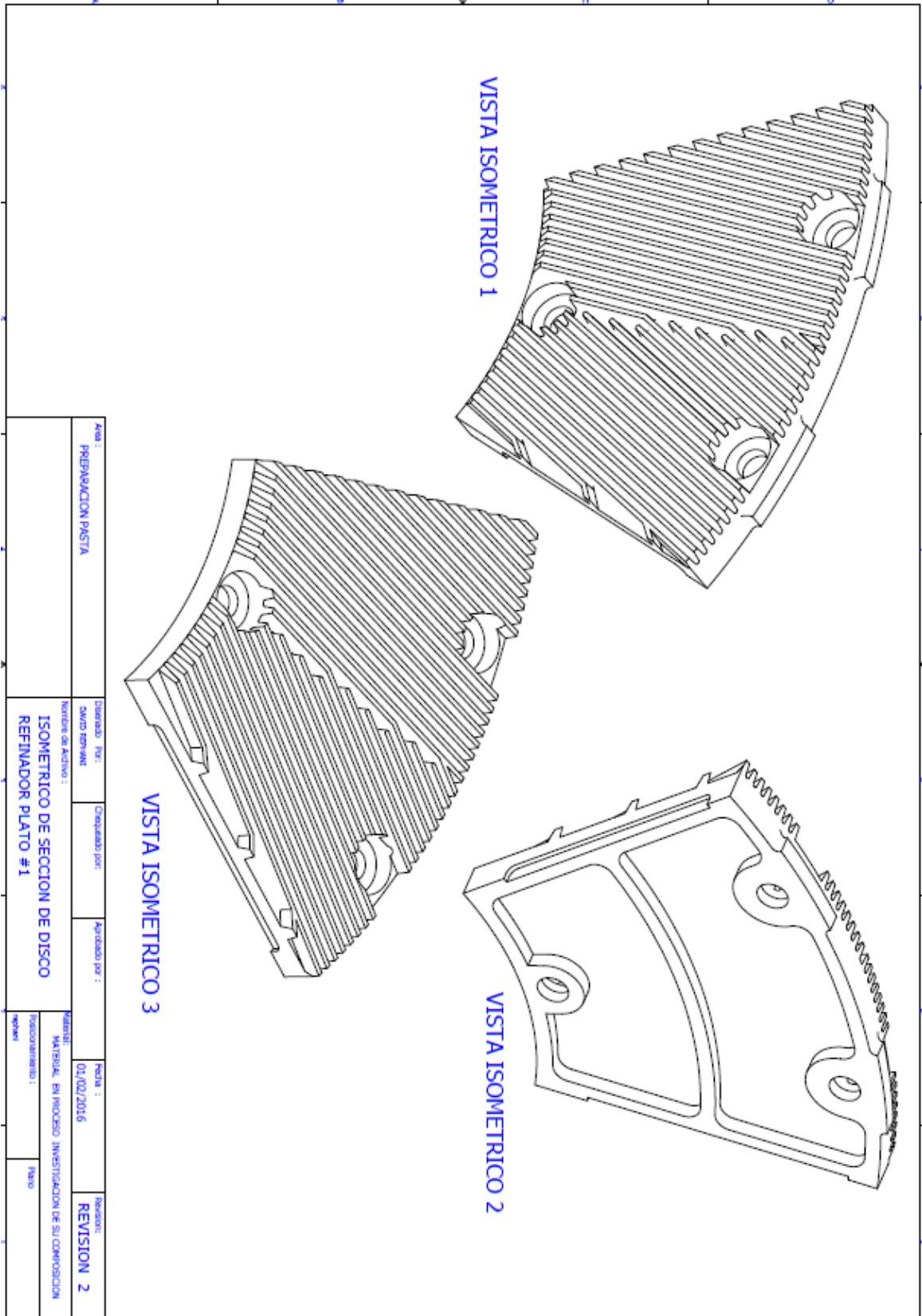
APÉNDICE A: Vista Frontal disco 1

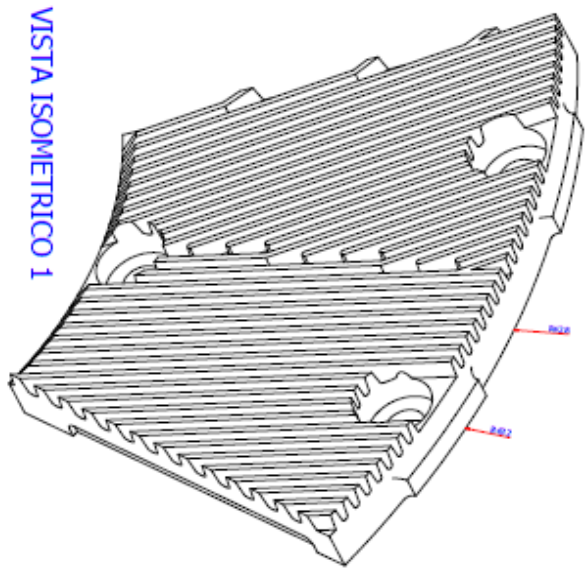


APÉNDICE B: Vista Frontal disco 2

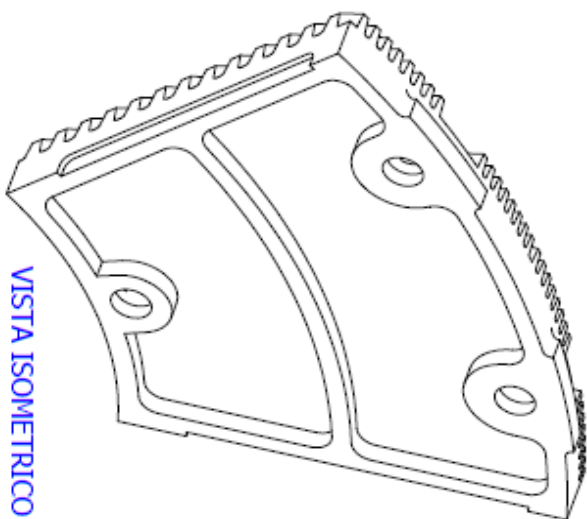


APÉNDICE C: Vista Isométrica disco 1

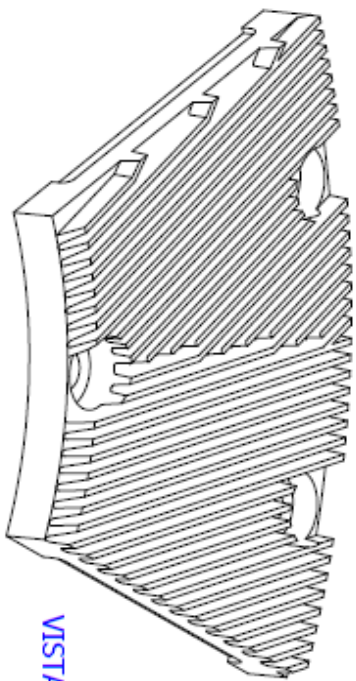




VISTA ISOMETRICO 1



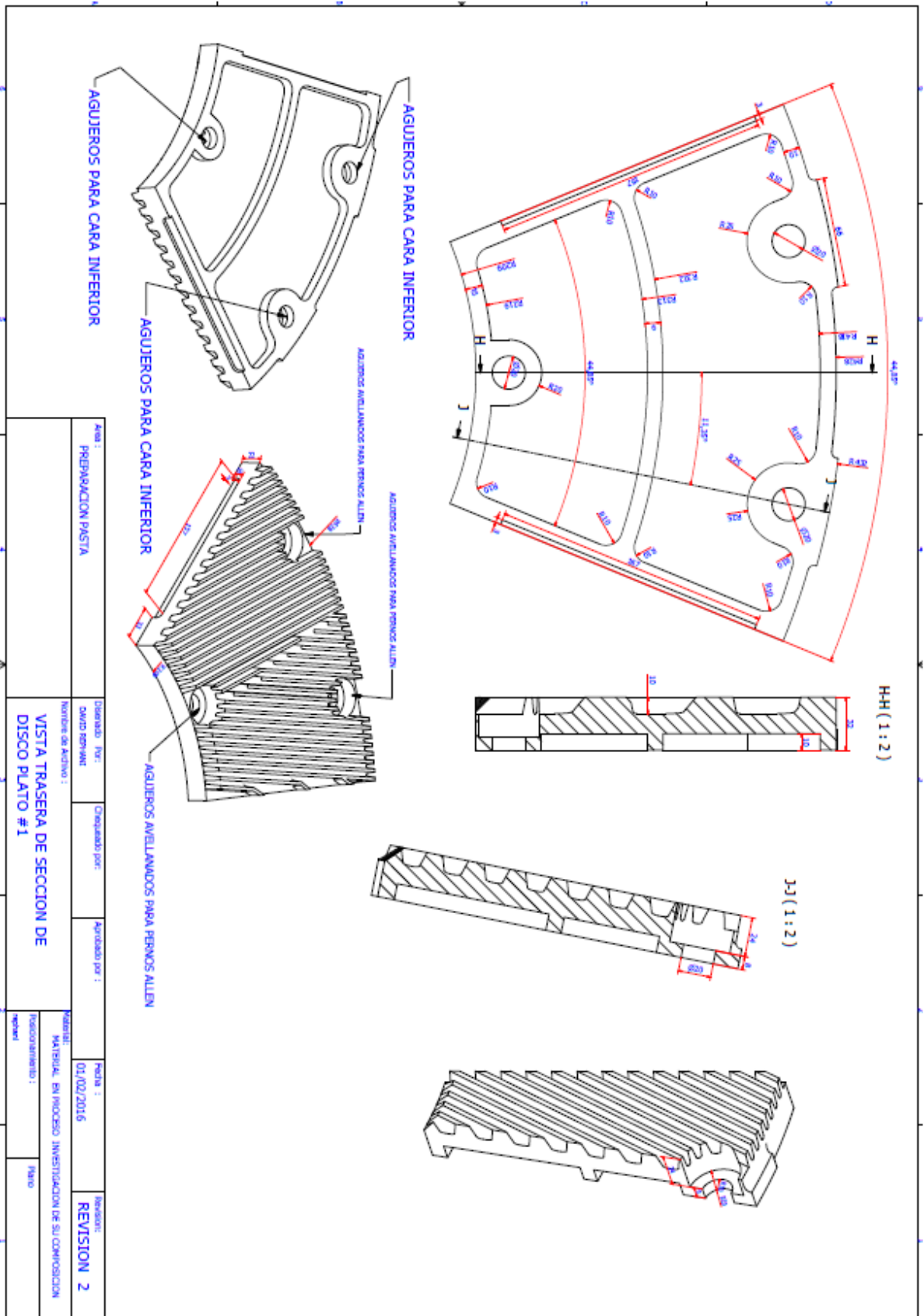
VISTA ISOMETRICO 2



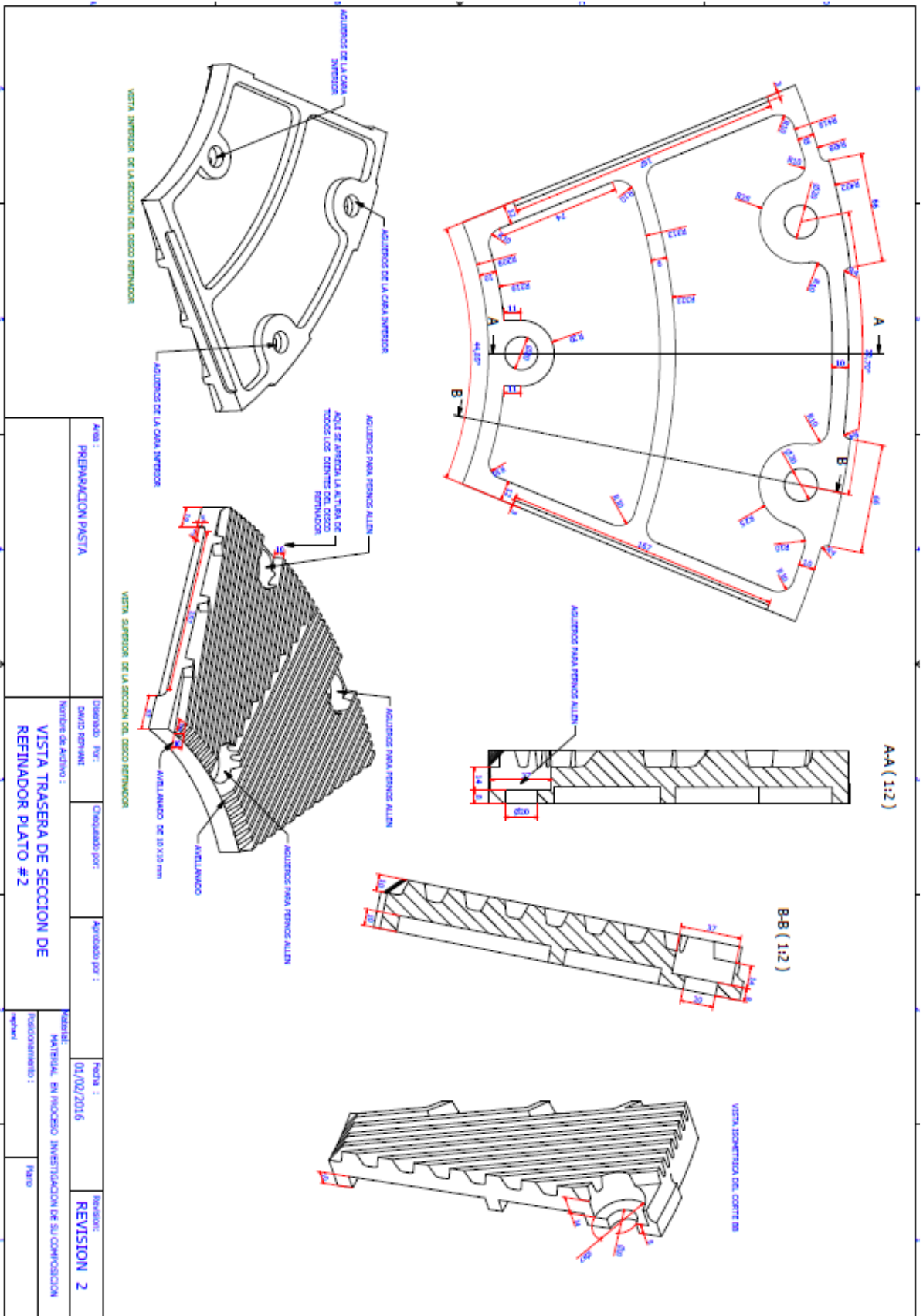
VISTA ISOMETRICO 3

Area : PREPARACION PASTA	Diseñado por : DAVID ESTIVAN	Diseñado por :	Aprobado por :	Fecha : 01/02/2016	Revisión: REVISION 2
Nombre de Archivo : detalle isométrico de seccion de disco refinador PLATO #2		Autor:		Procesamiento :	Revista
				MATERIAL: EN PROCESO INVESTIGACION DE SU COMPOSICION	

APÉNDICE D: Vista trasera disco 1

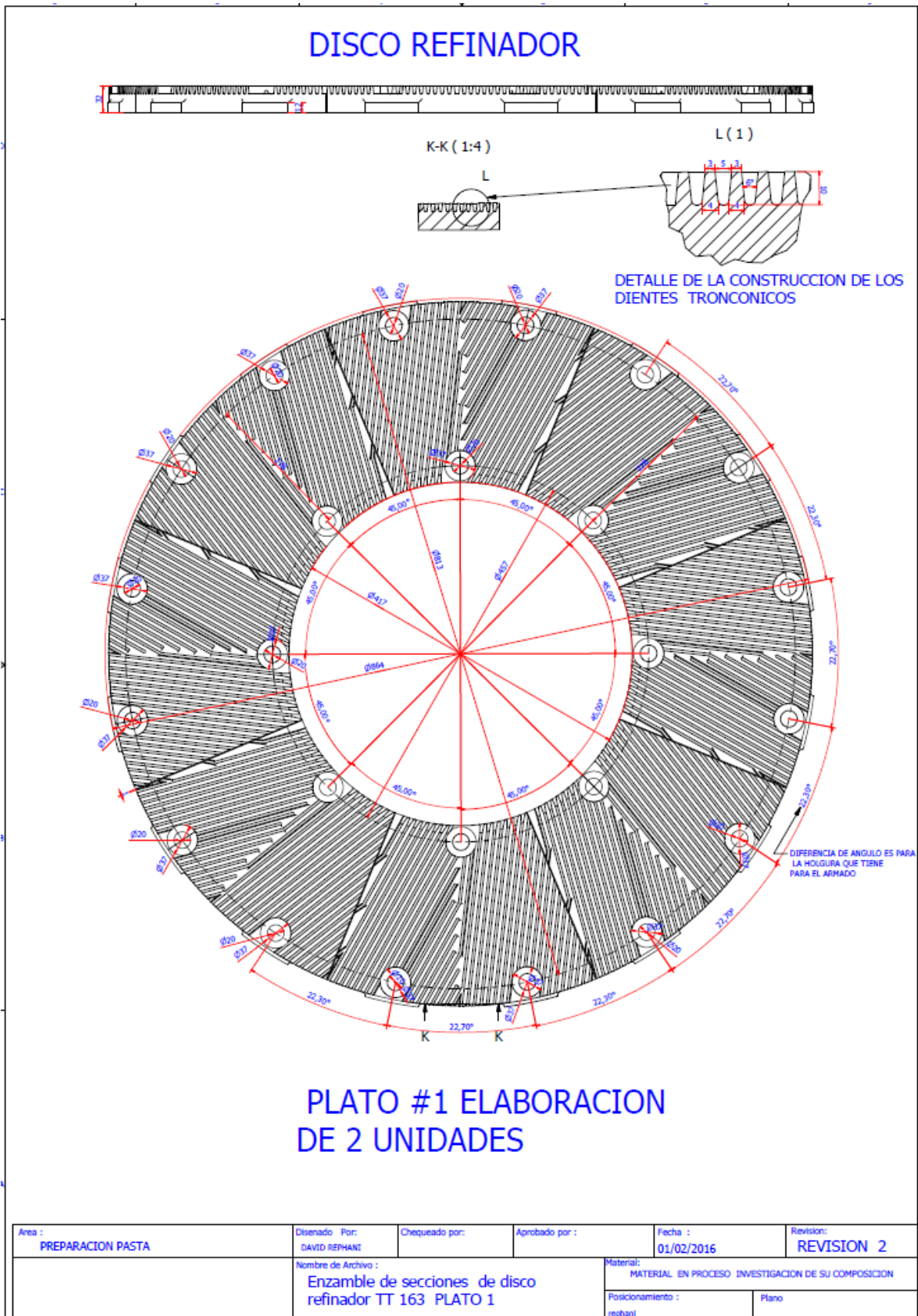


APÉNDICE E: Vista trasera disco 2



Area:	PREPARACION PASTA	Diseñado por:	DAVID BERNAL	Consultado por:		Aprobado por:		Fecha:	02/02/2016	Revisión:	REVISION 2
Nombre de Activo:	VISTA TRASERA DE SECCION DE REFINADOR PLATO #2	Material:	MATERIAL EN PROCESO INVESTIGACION DE SU COMPOSICION	Discomentado:		Plato					

APÉNDICE F: Ensamble de discos 1



APÉNDICE G: Ensamble de discos 2

