# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA

## CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera Mecatrónica e Ingeniero Mecatrónico

## **PROYECTO TÉCNICO:**

## "DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE SEPARACIÓN MAGNÉTICA AUTOMATIZADO PARA RESIDUOS FERROMAGNÉTICOS DEL CIRCUITO DE TRITURACIÓN DOS DE LA PLANTA DE BENEFICIO DE LA EMPRESA MINERA OROCONCENT S.A."

### **AUTORES:**

FANNY EMÉRITA VILLAMAGUA VILLAMAGUA OSCAR ANDRÉS ESCANDÓN GUILLÉN

TUTOR:

ING. JULIO CÉSAR LOJA QUEZADA, MSc.

## **CO-TUTOR:**

ING. DIEGO PAÚL CHACÓN TROYA, MSc.

CUENCA - ECUADOR 2021

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Nosotros, Fanny Emérita Villamagua Villamagua con documento de identificación N° 1900483361 y Oscar Andrés Escandón Guillén con documento de identificación N° 1105960304, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **"DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE SEPARACIÓN MAGNÉTICA AUTOMATIZADO PARA RESIDUOS FERROMAGNÉTICOS DEL CIRCUITO DE TRITURACIÓN DOS DE LA PLANTA DE BENEFICIO DE LA EMPRESA MINERA OROCONCENT S.A.**", mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniera Mecatrónica e Ingeniero Mecatrónico*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, diciembre de 2021.

Fanny Emérita Villamagua Villamagua

C.I. 1900483361

Oscar Andrés Escandón Guillén C.I. 1105960304

## CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: "DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE SEPARACIÓN MAGNÉTICA AUTOMATIZADO PARA RESIDUOS FERROMAGNÉTICOS DEL CIRCUITO DE TRITURACIÓN DOS DE LA PLANTA DE BENEFICIO DE LA EMPRESA MINERA OROCONCENT S.A.", realizado por Fanny Emérita Villamagua Villamagua y Oscar Andrés Escandón Guillén, obteniendo el *Proyecto Técnico*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, diciembre de 2021.

Ing. Julio César Loja Quezada, MSc.

C.I. 0102595527

## DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Fanny Emérita Villamagua Villamagua con documento de identificación N° 1900483361 y Oscar Andrés Escandón Guillén con documento de identificación N° 1105960304, autores del trabajo de titulación: **"DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE SEPARACIÓN MAGNÉTICA AUTOMATIZADO PARA RESIDUOS FERROMAGNÉTICOS DEL CIRCUITO DE TRITURACIÓN DOS DE LA PLANTA DE BENEFICIO DE LA EMPRESA MINERA OROCONCENT S.A.", certificamos que el total contenido del** *Proyecto Técnico***, es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.** 

Cuenca, diciembre de 2021.

Fanny Emérita Villamagua Villamagua

C.I. 1900483361

Oscar Andrés Escandón Guillén

C.I. 1105960304

### AGRADECIMIENTOS

A Dios, por la vida y por todo lo que Él tiene preparado para mí.

A mis padres por ser incondicionales y su infinito amor.

A la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, a sus docentes, personal administrativo y de servicio por su calidez y profesionalismo.

A los Ingenieros Julio Loja, Diego Chacón, Luis López por su acompañamiento y guía en la realización de este proyecto.

A la Empresa Minera OROCONCENT S.A. por la apertura y respaldo.

A Óscar Escandón por su apoyo e incondicional compañerismo y sincera amistad en todos estos años de universidad

Fanny Emérita Villamagua Villamagua

A Dios, por el regalo maravilloso de la vida, por haberme brindado una familia maravillosa y haberme guiado por un camino con altas y bajas que me han hecho ser lo que soy hoy en día.

A toda mi familia, por ser mi soporte, por acompañarme en las buenas y en las malas, y velar siempre por mi bien.

A mis amigos de la carrera, quienes han sido un apoyo y me han acompañado en todo este transcurso de desarrollo profesional.

A los Ingenieros Julio Loja, Diego Chacón, Luis López y Edy Ayala, por ser una guía en todo el transcurso del desarrollo de nuestro trabajo de titulación.

A todos mis maestros, quienes con su paciencia y dedicación han sabido guiarme en todos los ámbitos académicos.

A la Universidad Politécnica Salesiana que con su personal de calidad y su estructura han hecho de nuestra vida universitaria un viaje inolvidable y ha guardado en mí recuerdos maravillosos.

A la Empresa Minera OROCONCENT S.A. por su apertura y respaldo para desarrollar nuestro trabajo de titulación.

A Fanny Villamagua por ser una amiga, soporte y una guía en todos estos años de vida universitaria.

Oscar Andrés Escandón Guillén

### **DEDICATORIAS**

A Dios, a mi familia, a la vida.

Fanny Emérita Villamagua Villamagua

Dedico este trabajo a mis padres Luz y Rubén, por ser mi ejemplo de vida desde muy pequeño, quienes con su esfuerzo me han dado la educación y nunca me han hecho faltar algo, por ellos hoy soy una mejor versión de mí mismo y que puede seguir mejorando.

A mi hermana Paola, por ser mi mejor amiga, quien siempre me ha ayudado y me ha escuchado y ha sabido aconsejarme cuando era necesario.

A mis hermanos Patricio, Luis, Jans y Christian quienes con su entusiasmo siempre has sido un apoyo y han estado en mis momentos más difíciles

Oscar Andrés Escandón Guillén

#### RESUMEN

Un sistema de separación ferromagnético es un proceso que separa residuos ferromagnéticos; la propuesta de solución se basa en un separador ferromagnético con imán permanente y adicional uno con electroimán, ambos con un sistema de autolimpieza y recolectores, lo cual evita que los operarios realicen la recolección manual de los residuos e improvisen con elementos inadecuados para realizar esta limpieza poniendo en riesgo la seguridad del operario.

Se realiza el dimensionamiento y selección del electroimán para la recolección de residuos ferromagnéticos que no son separados por el imán permanente actualmente ubicado en el circuito de trituración 2. Se realizó el diseño del mecanismo del sistema en función de los datos obtenidos en el trabajo de campo, se diseña el mecanismo de autolimpieza y de la parte recolectora, esto con el fin de limitar la manipulación de cargas en este espacio de trabajo.

Se obtiene como resultado un sistema con autolimpieza, soportado por una estructura y comandado por un PLC según a la recolección del sistema.

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR
CERTIFICACIÓNII
DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD
AGRADECIMIENTOS
DEDICATORIASVI
RESUMENVI
ÍNDICE DE FIGURASXI
ÍNDICE DE TABLAS XIN
INTRODUCCIÓN
GENERALIDADES
Problemática
Antecedentes
Importancia
Delimitación
Objetivos
Objetivo General
Objetivos Específicos
CAPITULO I. FUNDAMENTO TEÓRICO
1.1. Procesamiento de minerales en la industria minera
1.2. Circuito de Trituración
1.3. Separadores en la industria
1.4. Separadores magnéticos
1.4.1. Imán permanente
1.4.2. Separadores magnéticos
1.4.3. Tipo de instalación
1.5. Banda transportadora1
1.5.1. Banda1
1.6. Tambores
1.7. Tensores10
1.8. Sistema motriz1
1.8.1. Motor eléctrico1

1.8.2.	Reductores	
1.8.3.	renos y mecanismos antirretorno	
1.9. Comu	inicación industrial	19
1.9.1.	Controlador S7-1200 [23].	19
1.9. 2.	Plataforma AIN60	20
1.10. D	ecreto Ejecutivo 2393 Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y	
mejoramie	ento del medio ambiente de trabajo	20
1.10.1.	Art. 24. Pasillos	21
1.10.2.	Art. 129 Almacenamiento de materiales	21
1.10.3.	Art. 73. Ubicación	21
1.10. 4.	Art. 128. Manipulación de Materiales	21
CAPITULO II.	DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO	23
2.1. Descr	pción del proceso actual de separación magnética	23
2.2. Levar	itamiento de datos	24
2.2.1.	Características del elemento de análisis	24
2.3. Ubica	ción de los separadores	27
2.4. Parár	netros para el separador con imán permanente	27
2.5. Parár	netros para el separador con electroimán	
CAPÍTULO III:	SELECCIÓN DEL ELECTROIMÁN	
3.1. Conce	ptos de Electromagnetismo	
3.1.2. Fue	rza magnetomotriz ( <b>Fmm</b> )	
3.1.3. Inte	nsidad de campo magnético (H)	
3.1.4. Fluje	o magnético ( $oldsymbol{\varphi}$ )	
3.1.5. Den	sidad de flujo (B)	
3.2.5. Relu	ictancia	
3.2.6. Perr	neabilidad relativa ( ${f ur}$ )	
3.2.7. Hier	ro silicioso	
3.2.8. Hier	ro al carbón	
3.2.9. AW	G	34
3.2. Cálcul	os para selección de electroimán	34
CAPÍTULO IV:	DISEÑO MECÁNICO	

4.1. Selección de la banda transportadora
4.1.1. Cálculo de potencias40
4.2. Resistencia a tracción de la banda49
4.3. Selección del tambor motriz
4.3.1. Dimensionamientos de los rodamientos
4.4. Datos para el dimensionamiento del sistema54
4.5. Diseño de estructura y recolección58
CAPÍTULO V: DISEÑO DE SISTEMA ELÉCTRICO DE CONTROL Y ADQUISISIÓN DE DATOS69
5.1. Sistema eléctrico de separación con imán permanente69
5.2. Sistema eléctrico de separación con electroimán70
ANÁLISIS DE RESULTADOS
CONCLUSIÓNES Y RECOMENDACIONES
BIBLIOGRAFÍA

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fases de la actividad minera	5
Figura 2. Proceso actual del Circuito de Trituración 2	6
Figura 3. a) Polos opuestos se atraen. b) Polos iguales se repelen	8
Figura 4. Imán y objeto ferromagnético	8
Figura 5.Separador electromagnético inclinado	9
Figura 6. Separador electromagnético Cross-Belt	10
Figura 7. Altura de suspensión	10
Figura 8. Partes de una banda	11
Figura 9. Tejido EP	12
Figura 10.Tambor motriz y sus partes .	15
Figura 11. PLC S7-1200	20
Figura 12. Plataforma AIN60	20
Figura 13. Separación magnética en la actualidad jError! Marcador no def	inido.21
Figura 14. Recolección de residuos ferromagnéticos	25
Figura 15. Almacenamiento de residuos restantes	26
Figura 16. Representación del actual imán permanente. Fuente: Los Autores	28
Figura 17. Representación de la ubicación de la densidad de flujo magnético del imán permanent	:e28
Figura 18. Medición de estructura durante el trabajo de campo	29
Figura 19. Representación vista frontal de la banda transportadora del material de mina	30
Figura 20. Representación de vista lateral del Trayecto 1	30
Figura 21. Representación de vista lateral del Trayecto 2	31
Figura 22. Ubicación de los separadores magnéticos en el CT2	32
Figura 23. Representación de la densidad de campo magnético en ansys	37
Figura 24. Características del separador SF2-50-RS/65	37
Figura 25. Representación de un separador auto limpiante RC/65	
Figura 26. Ejemplo de denominación de una banda según la norma DIN 22102	
Figura 27. Diagrama de cuerpo libre	41
Figura 28. Fuerza resultante del sistema	42
Figura 29. Esquemático de un tambor motriz.	42
Figura 30. Análisis estático de tensiones en funcionamiento normal	44
Figura 31. Análisis estático de tensiones con inversión de giro	44
Figura 32. Representación de la plataforma	58
Figura 33. Depósito de elementos ferromagnéticos.	59
Figura 34. Perfil UPN	60
Figura 35. Representación de la estructura de soporte	61
Figura 36. Tapas laterales.	61
Figura 37. Puntos de sujeción de la estructura con el separador magnético	62

Figura 38. Variables del tambor A	63
Figura 39. Variables del tambor B	64
Figura 40. Análisis matemático del sistema.	65
Figura 41. Representación gráfica de los deslizamientos sobre el eje Z	67
Figura 42. Representación gráfica de los deslizamientos sobre el eje Z	68
Figura 43. Diagrama de flujo del proceso y diagrama de fuerza del sistema de separación con imán	
permanente	69
Figura 44. Diagrama de flujo del proceso y diagrama de fuerza del sistema de separación con imán	
permanente	71
Figura 45. Programación en Tía Portal V14 para el funcionamiento del sistema de separación	
ferromagnético	74
Figura 46. Ubicación del sistema dentro del CT2	75

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Técnicas de separación dentro de la industria minera	7
Tabla 2. Tipos de tejidos	12
Tabla 3. Propiedades de los recubrimientos según la norma DIN 22102	13
Tabla 4. Código de letras para propiedades especiales	13
Tabla 5. Clasificación de los tambores	14
Tabla 6. Valores estándares de potencias de motores (kW)	18
Tabla 7. Protocolos adicionales	19
Tabla 8. Peso máximo de manipulación de cargas	22
Tabla 9. Recursos técnicos para el trabajo de campo	23
Tabla 10. Residuos ferromagnéticos	24
Tabla 11. Cantidad de los residuos semanales recolectados por el imán permanente.	26
Tabla 12. Características del imán permanente. Fuente: Los Autores	28
Tabla 13. Resumen de parámetros	31
Tabla 14. Parámetros del electroimán	34
Tabla 15. Reluctancias presentes en el circuito	35
Tabla 16. Requerimientos para selección del electroimán	38
Tabla 17. Fuerzas y ángulos del diagrama de cuerpo libre	40
Tabla 18. Coeficiente de fricción según la superficie del tambor	46
Tabla 19. Ecuaciones en estado estacionario. Fuente: Los Autores	46
Tabla 20. Valores normalizados para bandas transportadoras en m/s	48
Tabla 21. Eficiencia de los mecanismos reductores.	49
Tabla 22. Ecuaciones en estado no estacionario	51
Tabla 23. Diámetros de tambores normalizados (DIN 22104)	52
Tabla 24. Longitud de los tambores	53
Tabla 25. Datos de las fuerzas que intervienen en el sistema de separación magnética.	54
Tabla 26. Tensiones soportadas por la banda transportadora	55
Tabla 27. Valores de los momentos angulares	56
Tabla 28. Variables de los sistemas de separación	56
Tabla 29. Características de la banda para cada sistema de separación	57
Tabla 30. Variables del análisis matemático.	66
Tabla 31. Componentes del circuito de fuerza del sistema de separación con imán permanente	70
Tabla 32. Componentes del circuito de fuerza del sistema de separación con electroimán	72
Tabla 33.Señales de entrada al controlador	72
Tabla 34Señales de salida del PLC	73
Tabla 35. Representación de simbología de áreas	75

### **INTRODUCCIÓN**

El presente trabajo se refiere al diseño y simulación de un sistema de separación magnética para materiales ferromagnéticos presentes en el circuito de trituración dos de la empresa minera OROCONCENT S.A., la cual se dedicada a la extracción y procesamiento de cuarzo con el fin de obtener y exportar el concentrado de oro y cobre (Aguado, 2020).

La presencia de residuos ferromagnéticos en el circuito de trituración genera daños principalmente la fractura del manto de la trituradora cónica y uno de los más graves es el estropicio del sistema hidráulico causando derrame de aceite y contaminando al mineral de mina. equipos de trituración e inconvenientes en la producción generando pérdidas económicas importantes. Los residuos ferromagnéticos a los que se hace referencia son aquellos elementos inservibles que se generan debido al propio proceso de extracción del mineral de mina, estos residuos pueden ser: palas, alambre, martillos, fragmentos de tubos, platinas, entre otros.

La propuesta del sistema de separación magnética permite separar los residuos ferromagnéticos, recolectarlos y conservar la ubicación de los equipos de trituración, evitando así modificaciones mayores. El presente proyecto dará solución a un problema interno de la empresa, los beneficiarios indirectos serán los operarios quienes actualmente improvisan con objetos para alcanzar la altura necesaria y realizar la limpieza del imán permanente; de esta manera se aporta a la prevención de accidentes en esta área de trabajo.

El interés académico en esta área se debe a la integración de ramas importantes como mecánica, eléctrica, comunicaciones industriales y salud ocupacional. La Ingeniería Mecatrónica como una carrera de amplios conocimientos permite a su alumnado ser partícipe de proyectos como éste donde se complementan varios conceptos.

1

#### **GENERALIDADES**

#### Problemática

OROCONCENT S.A. dentro de su circuito de trituración dos, presenta una larga data de perjuicios a la maquinaria y producción a causa de la presencia de residuos ferromagnéticos que no son separados en su totalidad con la capacidad del imán permanente actual. La limpieza el imán permanente se realiza de manera manual, pero cuando este es descuidado y se acumulan los residuos ferromagnéticos el propio mineral de mina los arrastra y se trasladan por las bandas transportadoras generando daños principalmente con la fractura del manto de la trituradora cónica y uno de los más graves es el estropicio del sistema hidráulico causando derrame de aceite y contaminando al mineral de mina.

#### Antecedentes

El proceso de trituración actualmente cuenta con un imán permanente que permite separar los residuos ferromagnéticos, sin embargo, no ha sido posible separar y recolectar de forma eficiente la mayoría de estos materiales ya que la limpieza es manual, no es constante y cuando el imán permanente recolecta gran cantidad de material el mineral de mina arrastra estos residuos debido a la altura.

#### Importancia

La iniciativa de aportar con esta investigación a una empresa minera se debe que según un comunicado del Ministerio de Economía y Finanzas menciona que el Ecuador, al tener una economía dolarizada, necesita del ingreso de divisas. Con la minería se estima que, hasta el 2021, se obtengan ingresos por ventas al exterior por unos USD 3.660 millones consolidándose como una de las exportaciones no petroleras más importantes del país. De esta forma, el sector minero aporta del 1,6 % del PIB, que representó en el 2017, al 4 % en el 2021 (Finanzas.gob.ec, n.d.) (Controlminero.gob.ec, n.d.). Con el diseño del sistema, directamente se busca separar y recolectar la mayoría de los residuos ferromagnéticos presentes en el mineral de mina que ingresa al circuito de trituración 2, de esta forma se pretende reducir el historial de intervenciones por mantenimiento correctivo a la trituradora cónica y paros de producción en el área de trituración. De igual forma reducir las probabilidades de derrame de aceite del sistema de lubricación de la trituradora cónica evitando así que el mineral de mina se contamine y la técnica metalúrgica pueda realizar la separación de minerales.

De acuerdo con Eriez, una empresa de equipos de procesamiento de minerales menciona que el uso de electroimanes en las fases iniciales de trituración de minerales puede ofrecer un alto retorno sobre la inversión debido a que reduce las paradas de las máquinas y el gasto en mantenimiento (Mineria Pan-Americana, 2012).

#### Delimitación

Este proyecto de diseño se desarrolla dentro de la Empresa Minera OROCONCET S.A. en el circuito de trituración 2 debido al espacio disponible y por las condiciones que este circuito ofrece para realizar un trabajo de campo seguro. Esta empresa minera se encuentra ubicada en el cantón Portovelo de la Provincia de El Oro (Aguado, 2020)

#### Objetivos

#### **Objetivo General**

Diseñar y simular un sistema de separación magnética automatizado para residuos ferromagnéticos del Circuito de Trituración dos de la Planta de Beneficio de la Empresa Minera OROCONCENT S.A.

#### **Objetivos Específicos**

1. Determinar los parámetros de diseño del sistema de separación magnética.

3

- Diseñar los separadores magnéticos con electroimán para el trayecto Trituradora Secundaria – Triturador Cónica; e imán permanente para el trayecto Trituradora Primaria – Zaranda Vibratoria
- Diseñar la estructura de soporte del sistema de separación y recolección de los residuos ferromagnéticos.
- Diseñar el sistema eléctrico de control y de adquisición de datos para el sistema de separación magnética.
- Evaluar el dimensionamiento del sistema mecánico mediante software de simulación FEA.
- Evaluar mediante software de simulación el sistema eléctrico de control y de adquisición de datos.

## CAPITULO I. FUNDAMENTO TEÓRICO

#### 1. Procesamiento de minerales en la industria minera

La minería es una actividad económica que comprende el proceso de extracción, explotación y aprovechamiento de minerales que se hallan en la superficie terrestre con fines comerciales. Según el Banco Central del Ecuador a través de la cartilla informativa del sector minero, expone las siete fases de la actividad minera:

#### Figura 1

#### Fases de la actividad minera

1. PROSPECCIÓN
•Búsqueda de indicios de nuevas áreas mineralizadas.
2. EXPLORACIÓN
•Consiste en la determinación del tamaño y forma del yacimiento, así como del contenido y calidad del mineral en él existente.
3. EXPLOTACIÓN
<ul> <li>Es el conjunto de operaciones, trabajos y labores mineras destinadas a la preparación y desarrollo del yacimiento y a la extracción y transporte de los minerales.</li> <li>Apertura y/o mejora de vías instalación de campamentos y equipos de producción</li> <li>Extracción, triturado, transporte, molienda y concentración</li> <li>Construcción y operación de escombreras y depósito de relaves</li> <li>Transporte de concentrados a puerto marítimo; y cierre de la mina.</li> </ul>
4. BENEFICIO
<ul> <li>Comprende el tratamiento de los minerales explotados para elevar el contenido útil o ley de los mismos.</li> </ul>
5. FUNDICIÓN
<ul> <li>Son los procedimientos técnicos destinados a separar los metales de los correspondientes minerales o concentrados producidos en el beneficio.</li> </ul>
6. REFINACIÓN
<ul> <li>Consiste en los procedimientos técnicos destinados a convertir los productos metálicos en metales de alta pureza.</li> </ul>
7. COMERCIALIZACIÓN
Consiste en la compraventa de minerales o la negociación de contratos que tengan por objete la pagagiación de sualquier producto resultante de la actividad minera.

Fuente: (Banco Central del Ecuador, 2016).

Este proyecto de titulación se desarrolla para la fase de explotación donde se ubica el proceso de trituración.

#### 1.1. Circuito de Trituración

En primera instancia el mineral de mina es descargado por maquinaria pesada en la tolva de gruesos, posteriormente la trituradora de mandíbulas primaria realiza la conminución del mineral y las fajas transportadoras lo dirigen hacia la zaranda vibratoria, aquí existe una selección mecánica de material grueso y fino. El mineral grueso se dirige hacia la trituradora de mandíbulas secundaria, después hacia la trituradora cónica y finalmente retorna al trayecto hacia la zaranda vibratoria donde se realiza el ciclo mencionado anteriormente.

Finalmente, el mineral fino se dirige hacia la tolva de finos donde se almacena el material triturado hacia el siguiente proceso que es la molienda.

#### Figura 2





Fuente: (Villamagua, 2020).

#### 1.2. Separadores en la industria

Dentro de los procesos de la industria minera, se usan distintas técnicas de separación según las fases involucradas (Ingeniería)

#### Tabla 1

Técnicas de separación dentro de la industria minera

Fases	Técnica de separación	
	Magnética	
Sólido-sólido	Tamizado en zarandas	
	Clasificación por aire	
	Sedimentación	
Sólido-líquido	Centrifugación	
	Filtración	
	Filtración	
Sondo-gas	Separación en ciclones	

Fuente: (Universidad Nacional del Sur)

Tal como se ha puesto en contexto, la separación que se pretende realizar es de sólidosólido. (roca – residuos ferromagnéticos). Dentro del proceso actual se cuenta con la técnica de separación de tamizado en zarandas; dado que esto no clasifica los residuos ferromagnéticos se agrega al proceso un sistema de separación magnético.

Los separadores magnéticos son equipos diseñados exclusivamente para extraer o expulsar partículas magnéticas con tamaños aleatorios que se encuentran inmiscuidos en un material determinado y que circula por una banda transportadora (Barrera, Correa, Echeverry, Martínez, & Parra, 2019) (Santamaría, 2017). Estos equipos a pesar de siempre seguir el mismo principio de funcionamiento pueden ser diseñados de dos maneras, mediante electroimanes o imanes permanentes, dependiendo exclusivamente de los requerimientos del sistema (Carrera & Estrella, 2018).

La función de los separadores magnéticos es remover residuos de materiales ferromagnéticos indeseables y así proteger equipos como trituradoras y pulverizadores (Santamaría, 2017).

#### 1.3. Separadores magnéticos

#### **1.3.1. Imán permanente**

Un imán permanente es un objeto que genera un campo magnético en el espacio que la rodea y un segundo cuerpo responde a dicho campo.

#### Figura 3

Representación de un imán permanente.



```
a) Polos opuestos se atraen
```

b) Polos iguales se repelen

Fuente: (YOUNG, 2009)

Un objeto que contenga hierro, pero no esté magnetizado, será atraído por cualquiera de los polos de un imán permanente. Finalmente, los polos opuestos se atraen y los polos iguales se rechazan (YOUNG, 2009).

#### Figura 4

Imán y objeto ferromagnético



Fuente: (YOUNG, 2009)

#### 1.3.2. Separadores magnéticos (ERIEZ, Eriez, n.d.)

Se trata del imán permanente o electroimán que lleva incorporado una estructura de cinta transportadora en la que el metal una vez es captado por parte del imán, es separado y expulsado. El separador magnético es típicamente montado o suspendido sobre una banda transportadora que se encarga de trasladar los residuos hacia un punto de captación.

#### 1.3.3. Tipo de instalación (ERIEZ, Eriez, n.d.)

#### Orientación

Auto limpiante inclinado: Consta de una cinta transportadora corta construido alrededor de un imán para proporcionar una autolimpieza. Esta unidad está diseñada para ser montado en la cabecera de un transportador ya sea sobre la trayectoria del material descargado o sobre la polea de cabeza. Proporciona eliminación automática de hierro atrapado en la dirección del principal recorrido del transportador.

#### Figura 5

Separador electromagnético inclinado



Fuente: (ERIEZ, Direct Industry, n.d.)

**Modelo Cross-Belt:** Es una ubicación transversal a la banda transportadora que desplaza el mineral. Esta posición requiere un imán más potente y no se recomienda su uso para velocidades de correa excesivas o cargas intensas de material, donde es necesario eliminar pequeños fragmentos de hierro (ERIEZ, Direct Industry, s.f.).

#### Figura 6

Separador electromagnético Cross-Belt



Fuente: (ERIEZ, Direct Industry, n.d.)

#### Altura de suspensión

Cada imán está diseñado para una altura de sujeción específica. Esta distancia se mide de la cara del imán al fondo de la faja transportadora del producto. La altura especificada para la suspensión debe ser considerada un máximo y el imán se debe bajar lo más cerca posible a la carga real. Al bajar el imán a la carga, asegurarse que no choque. Si el imán es auto limpiante, cerciorarse que la faja del separador tenga sitio para funcionar y descargar correctamente los residuos capturados. El ángulo normal del imán con respecto a un plano horizontal estará en el rango de15°- 25°. A medida que las velocidades de la faja se incrementen, los ángulos de la instalación deben disminuir (ERIEZ M. ).

#### Figura 7

Altura de suspensión



Fuente: (ERIEZ M. )

#### **1.4. Banda transportadora**

Desde su invención en el año 1795 por Oliver Evans hasta la actualidad, la banda transportadora o también conocida como cinta transportadora ha sido una de las herramientas industriales más importantes para el transporte de material (Martinez, 2018). Su importancia radica en las facilidades brindadas al transportar grandes cantidades de materiales a una velocidad considerable y sobre todo por los diversos campos en los que pueden ser usados, desde el sector agrícola hasta el sector farmacéutico (Salinero, 2013).

#### 1.4.1. Banda

Cuando se hace referencia a la banda, se habla acerca de las varias telas que la componen, este elemento es uno de los más importantes en lo que respecta a toda a la instalación, y esto se debe, en esencia, a que es el elemento que se encuentra sometido al mayor número de factores de esfuerzo y trabajo. En general, una banda debe estar diseñada para soportar la carga a transportar, las tensiones de producidas al arranque, tracciones mecánicas, cizalle, efectos de temperatura y agentes químicos, y cumplir con los requerimientos de seguridad tales como la resistencia al fuego (Salinero, 2013) (Muñoz & Lagos, 2013).

Para soportar las influencias producidas por la acción de las fuerzas longitudinales y transversales, la banda está compuesta por dos elementos básicos los cuales son el tejido o carcasa y el recubrimiento o cubierta.

#### Figura 8

Partes de una banda.



Fuente: (Salinero, 2013)

#### Carcasa

La carcasa es el componente interior de la banda y su función es soportar y transmitir los esfuerzos. Este elemento a su vez está compuesto por dos partes que son la urdimbre y la trama. La urdimbre soporta los esfuerzos longitudinales de tracción, que son los más significativos, y por esta razón, son fabricados de un material mucho más resistente que los hilos transversales de la trama que soportan los esfuerzos transversales secundarios.

Los tejidos más comunes actualmente se presentan en la siguiente tabla.

#### Tabla 2

#### Tipos de tejidos

Nombre Común	Designación
Algodón	В
Rayón	Z
Poliéster	E
Poliamida	Р
Cable de Acero	St

Fuente: (Salinero, 2013).

Otros de los tejidos que han destacado debido a sus cualidades es el tejido sintético EP, el cual es una combinación de tejidos que consiste en hilos de poliéster (E) para la urdimbre e hilos de poliamida (P) para la trama. En general las bandas hechas de este tejido son fabricadas con dos o hasta 4 capas textiles.

#### Figura 9

#### Tejido EP



Fuente: (APLICASA, 2019).

#### Recubrimientos

Los recubrimientos corresponden la parte externa de la banda y son fabricados de materiales tales como elastómeros (caucho natural) o plastómeros (PVC). Sin embargo, la goma forma el compuesto básico de estos tejidos.

La definición del espesor del recubrimiento depende en gran medida de la aplicación de la banda, el ancho, tipo de material, grado de abrasividad, entre otros. Por tal motivo, para poder hacer una correcta selección del recubrimiento, se puede basar en las categorías establecidas por la norma DIN 22101, en la cual se consideras las propiedades mecánicas de resistencia, alargamiento y abrasión para cada una.

#### Tabla 3

Propiedades de los recubrimientos según la norma DIN 22102

Propiedades de los Recubrimientos	W	X	Y	Z
Resistencia a la tracción [N/mm <sup>2</sup> ]	18	25	20	15
Rotura al alargamiento [%]	400	450	400	350
Desgaste abrasivo [mm <sup>3</sup> ]	90	120	150	250

Fuente: (Alemania Patent No. DIN 22102, 1991).

En la Tabla 4., se muestran las características de los recubrimientos más comunes usados en la industria, sin embargo, existen otros tipos de materiales los cuales bridan a la banda características especiales para trabajos con entornos más agresivos o mucho más delicados, estos de muestran en la Tabla 4.

#### Tabla 4

Codigo de letras para propie	lades	especial	es
------------------------------	-------	----------	----

Designación	Propiedad especial
E	Cubierta antiestática
K	Con cubiertas antiestáticas y resistente al fuego con cubierta

S	Resistente al fuego con y sin cubiertas, y con cubiertas antiestáticas
Т	Resistente al calor
R	Resistencia al frío
G	Resistencia al aceite y la grasa
А	Para alimentos
С	Para productos químicos

Fuente: (Alemania Patente nº DIN 22102, 1991)

#### 1.5. Tambores

Los tambores son elementos similares a los rodillos sin elementos giratorios en su interior, mayormente son ubicados en la parte delantera y trasera del sistema de transporte. Para brindar mayor facilidad de diseño, las medidas que intervienen como diámetro y longitud se encuentran establecidos bajo la norma DIN 22101 y la norma ISO 1536 (Martinez, 2018).

Los tambores pueden dividirse en dos grandes grupos, según su funcionalidad, los motrices que son los encargados de transmitir las fuerzas tangenciales generadas por el motor, y los no motrices que ayudan a realizar el cambio de trayectoria de la banda. En la Tabla 5., se especifican con más detalle estos grupos de tambores.

#### Tabla 5

Tambores motrices		Tambores no motrices			
	De reenvío	Desviador o de inflexión	Tensor	De descarga	
Transmiten las fuerzas tangenciales a la banda. Comúnmente se sitúan en la cabeza de la cinta, en la parte alta o en la zona de descarga.	Se localiza en el extremo opuesto al tambor motriz, en cola. Permite el retorno de la banda una vez que esta terminó el recorrido en el tramo portante.	Son situados tras los tambores motrices y de reenvío para aumentar el ángulo de abrazamiento entre la banda y el tambor, y así reducir las tensiones de transmisión en la banda.	Se sitúan en el sistema de contrapeso o de tensado.	Situados en los trippers.	

Clasificación de los tambores

Fuente: (Martinez, 2018).

El tambor ya sea motriz o no motriz, está conformado por diferentes partes, las cuales se exponen a continuación:

- Envolvente cilíndrica
- Discos laterales
- Eje de transmisión
- Recubrimientos
- Uniones

#### Figura 10

Tambor motriz y sus partes



Fuente: (Rotranssa, 2021).

Los recubrimientos juegan un papel importante a la hora de mejorar la funcionalidad de la banda ya que aumentan la capacidad de transmisión, sin embargo, no se efectúa en todos los tambores, sino bajo ciertas circunstancias como:

- Aumentar el coeficiente de fricción entre el tambor y la banda.
- Ayudar en la limpieza de la banda, esto se aplica especialmente en tambores de presión y desvío, ya que están en contacto con la cara sucia de la banda.

El recubrimiento puede tener la superficie lisa con estrías helicoidales sencillas, o con estrías helicoidales dobles, pero de sentido opuesto (Salinero, 2013). Por lo general el material del cual es fabricado puede ser de caucho natural, cerámico o poliuretano.

#### 1.6. Tensores

Los tensores de banda son los elementos que, como su nombre lo indica, permite tensar la banda con el propósito de mejorar el funcionamiento del sistema de transporte de material. Las funciones principales que desempeña son:

- Impedir el patinaje entre la banda y el tambor al mejorar el contacto entre dichos elementos.
- Prevenir caída de material en las zonas de carga debido a una falta de tensión en la banda.
- Compensar las variaciones de longitudes producidas en la banda debido al desgaste de esta.

Existen diversas formas de tensar la banda, por tal motivo se debe tomar en cuenta el espacio, la tensión necesaria, equipo mecánico, situación el equipo, etc. Algunos de los tensores más comunes son:

- Tensores de lazo sencillo: se denomina de esta manera, ya que la banda forma un solo lazo, son usados cuando no existen problemas de espacio.
- Tensor automático de gravedad en cabeza: su construcción es sencilla y eficaz para bandas de capacidad y longitud media, es recomendada cuando la banda se encuentra inclinada y a una altura significativa.
- Tensor automático de gravedad en cola: son recomendadas para el sector minero ya que produce una tensión constante y un recorrido variable.

- Tensor automático por cabestrante eléctrico: es un sistema de tensado mejorado ya que imposibilitan el patinaje de la banda en el arranque y la sobrecarga en el régimen permanente.
- Tensor fijo de usillo: este tipo de tensado es usado para bandas de corta longitud y capacidades relativamente bajas.
- Tensor fijo de cabestrante: este sistema permite controlar las tensiones en los dos cabestrantes mediante la disposición del mecanismo de tensado.

#### 1.7. Sistema motriz

La selección adecuada del sistema motriz garantizará el funcionamiento adecuado de la banda transportadora, y la forma en la que se efectúe el arranque influirá directamente en la vida útil tanto de la banda, tambores y rodillos. Este sistema motriz está conformado por:

#### 1.7.1. Motor eléctrico

Los motores eléctricos son máquinas eléctricas que convierten la energía eléctrica en mecánica por medio de interacciones electromagnéticas (Molina, 2012)

La primera condición para que el motor cumpla con los requerimientos necesarios es que la potencia sea como mínimo igual a la razón entre la potencia requerida en el eje de salida del reductor y el rendimiento de este. Sin embargo, es recomendable sobredimensionar los motores, ya que es posible que existan sobrecargas de larga duración. Por tal motivo se suele multiplicar la potencia hallada por un factor de servicio.

Cuando se realiza la selección de un motor de cualquier fabricante, se debe tomar en cuenta que la potencia que es mostrada en la placa de los motores hace referencia a la potencia que se ejerce en el eje del mismo bajo condiciones específicas de trabajo como temperatura estable y trabajo continuo. En la Tabla 6, se pueden observar los valores estándares de las potencias que pueden aportar los motores de distintas marcas, entre ellas Siemens que es una de las más conocidas a nivel mundial.

#### Tabla 6

1.5	2.2	3	4	5.5
7.5	11	15	18.5	22
30	37	45	55	75
90	110	132	160	200
250	315	400	500	630

Valores estándares de potencias de motores (kW)

Fuente: (Salinero, 2013).

#### 1.7.2. Reductores

Un reductor es un mecanismo que permite transmitir potencia y velocidad desde el motor hasta un elemento en específico como puede ser un tambor motriz. Esta transmisión se puede realizar de varias maneras, entre las cuales, la más utilizada es un sistema que consta de una serie de engranajes que reducen y aumentan los valores que aporta el motor hasta que sean los requeridos para el correcto funcionamiento de la maquinaria.

Existen dos tipos de reductores en las bandas transportadoras:

- Reductores suspendidos: son muy usados para situaciones en las que no se cuenta con un espacio amplio y su montaje es flotante. Sin embargo, un aspecto negativo es que en caso de que se requiera cambiar el tambor, se debe desmantelar todo el conjunto.
- Reductores clásicos: son utilizados en sistema grandes y donde los cuales el espacio no es un problema.

#### 1.7.3. Frenos y mecanismos antirretorno

Los frenos son mecanismos muy utilizados ya que brindan seguridad al sistema, su función consiste en retener cargas cuando las bandas transportadoras tienes un grado de inclinación significativo. Cuando las bandas son grandes, el frenado en cabeza es insuficiente, por lo cual se opta por colocar un freno de disco sobre el tambor de retorno para asegurar el funcionamiento adecuado.

#### 1.8. Comunicación industrial

#### 1.8.1. Controlador S7-1200 (SIEMENS, 2018).

El controlador S7-1200 ofrece la flexibilidad y potencia necesarias para controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas necesidades de automatización. Gracias a su estructura compacta, configuración flexible y amplio juego de instrucciones, el S7-1200 es idóneo para controlar una gran variedad de aplicaciones (SIEMENS, 2018).

Una vez cargado el programa en la CPU, esta contiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos de la aplicación. La CPU vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica booleana, instrucciones de contaje y temporización, funciones matemáticas complejas, Motion Control, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes. La CPU incorpora un puerto PROFINET para la comunicación en una red PROFINET. Hay disponibles módulos adicionales para la comunicación a través de redes y protocolos como los siguientes:

#### Tabla 7

1	PROFIBUS	4	WAN	7	RS422	10	USS
2	GPRS	5	RS485	8	CEI	11	MODBUS
3	LTE	6	RS232	9	DNP3		

Fuente: (SIEMENS, 2018)

#### Figura 11

PLC S7-1200



Fuente: (SIEMENS, 2018)

#### 1.8.2. Plataforma AIN60

Plataforma de célula de carga con capacidad de 60kg, las dimensiones son de 400mm x 400mm. Esta medida es referente para el diámetro del recolector (LAUMAS). Se escoge esta plataforma con la finalidad de establecer una referencia para la manipulación de cargas, esto se selecciona basado en el Art. 128 de manipulación de cargas.

#### Figura 12

Plataforma AIN60



Fuente: (LAUMAS)

## **1.9. Decreto Ejecutivo 2393 Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y** mejoramiento del medio ambiente de trabajo (Ministerio del Trabajo)

Las disposiciones del presente Reglamento se aplicarán a toda actividad laboral y en todo centro de trabajo, tendiendo como objetivo la prevención, disminución o eliminación de los riesgos del trabajo y el mejoramiento del medio ambiente de trabajo. Es necesario adoptar normas mínimas de seguridad e higiene capaces de prevenir, disminuir o eliminar los riesgos profesionales, así como también para fomentar el mejoramiento del medio ambiente de trabajo.

#### Art. 24. Pasillos

**Inciso 4.** Los pasillos, galerías y corredores se mantendrán en todo momento libres de obstáculos y objetos almacenados.

#### Art. 129.- Almacenamiento de materiales

**Inciso 1.** Los materiales serán almacenados de forma que no se interfiera con el funcionamiento adecuado de las máquinas u otros equipos, el paso libre en los pasillos y lugares de tránsito y el funcionamiento eficiente de los equipos contra incendios y la accesibilidad a los mismos.

En el título III referente a Aparatos, máquinas y herramientas, se menciona a continuación los artículos con referencia a Instalaciones de máquinas fijas

#### Art. 73. Ubicación

En la instalación de máquinas fijas se observarán las siguientes normas:

**Inciso 1.** Las máquinas estarán situadas en áreas de amplitud suficiente que permita su correcto montaje y una ejecución segura de las operaciones.

#### Art. 128. Manipulación de Materiales

**Inciso 1.** El transporte o manejo de materiales en lo posible deberá ser mecanizado, utilizando para el efecto elementos como carretillas, vagonetas, elevadores, transportadores de bandas, grúas, montacargas y similares.

**Inciso 4.** El peso máximo de la carga que puede soportar un trabajador será el que se expresa en la tabla siguiente:

#### Tabla 8

Peso máximo de manipulación de cargas

Mujeres de 18 a 21 años	25 libras
Mujeres de 21 años o más	50 libras
Varones de más de 18 años	Hasta 175 libras.

### Fuente: (Ministerio del Trabajo)

Para el presente proyecto las decisiones conforme manipulación de cargas, selección de espacios y demás, se realizan en base al texto antes mencionado y a los requerimientos de la empresa.
# CAPITULO II. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO

A continuación, se presenta el proceso de levantamiento de datos, siendo de carácter necesario y determinante para confirmar, descartar o modificar algunas de las propuestas en especial en cuanto a los espacios disponibles y de circulación de los operarios.

La propuesta de solución hará que la pieza ferromagnética que transita por la cinta transportadora junto con el mineral de mina, al entrar en el campo magnético generado el elemento deseado sea atraído y ascienda hasta la banda transportadora que rodea a la pieza magnética. La banda transportadora arrastra las piezas férricas hasta sacarlas del campo magnético donde se desprenden libremente.

Para realizar la medición de espacios, piezas y pesaje de residuos se usa instrumentos de medición los cuales se mencionan a continuación:

### Tabla 9

Cant.	Descripción
1	Cinta métrica
1	Calibrador
1	Tractor cargador Cat930K
5	Balanza

Recursos técnicos para el trabajo de campo.

Fuente: Los Autores

# 2.1. Descripción del proceso actual de separación magnética

Actualmente la separación de residuos ferromagnéticos se realiza con un imán permanente suspendido sobre la banda transportadora en el trayecto 2: trituradora de mandíbulas secundaria hasta la trituradora cónica.

# Figura 13

Separación magnética en la actualidad.



Fuente: Los Autores

La recolección de residuos ferromagnéticos o limpieza del imán permanente se realiza de forma manual y estos son depositados en un tanque. Los operarios improvisan con objetos para alcanzar la altura necesaria y realizar la limpieza y recolección de residuos, lo cual genera un riesgo de caída del personal.

# 2.2. Levantamiento de datos

# 2.2.1. Características del elemento de análisis

Una vez conocido el proceso actual de separación y recolección, se inspecciona los tanques recolectores, donde se encuentra una serie de residuos de diferentes formas y tamaños.

# Tabla 10

No	Elemento	Fotografía	Presencia
1	Herramientas fraccionadas		Media
2	Fragmentos ferromagnéticos		Alta

# Residuos ferromagnéticos

Bolas de acero (molienda) 3" y 4 de diámetro



Media

#### Fuente: Los Autores.

3

Haciendo referencia a la información mostrada en la Tabla 10, se observa que la presencia de herramientas fraccionadas es media pero las de mayor dimensión, los fragmentos ferromagnéticos son los que más presencia tienen y su tamaño es menor pero no se logran captar en su totalidad. La bola de acero es usada dentro del área de molienda, no obstante, por motivos de recuperación de mineral, esta puede ingresar al circuito de trituración. Por tal motivo su presencia es media, sin embargo, se la toma en cuenta debido a su masa.

### Figura 14

Recolección de residuos ferromagnéticos.



(a) Recolección de residuos ferromagnéticos. (b) Pesaje de residuos ferromagnéticos

### Fuente: Los autores

Los residuos separados por el imán se recolectaron en un depósito por el lapso de una semana durante un mes, obteniendo así lo siguiente:

### Tabla 11

Semana	Masa neta (Kg)
Semana 1	33
Semana 2	32
Semana 3	35
Semana 4	34
Masa máx.	35kg
Masa diaria máx.	5kg

Cantidad de los residuos semanales recolectados por el imán permanente.

#### Fuente: Los Autores

Durante este tiempo se pudo evidenciar que no todos los residuos ferromagnéticos son separados por el imán permanente. Por lo que se necesita un separador adicional para recolectar los residuos faltantes. Durante el trabajo de campo los residuos que no eran separados por el imán permanente fueron separados manualmente para obtener un estimado de la masa diaria de aquellos residuos, esto con el fin de tener una referencia para el separador del segundo trayecto. La mayor masa recopilada al día fue de 4.88kg

### Figura 15

Almacenamiento de residuos restantes



Fuente: Los Autores

#### 2.3. Ubicación de los separadores

Tomando como referencia al decreto ejecutivo 2393, se selecciona los espacios donde el sistema podría ser instalado. Se realiza un recorrido por el circuito de trituración para conocer los espacios de circulación, zonas de riesgo eléctrico y los recorridos que realiza el operario dentro de su jornada habitual.

Se hace una primera propuesta para tener un solo punto de recolección de los residuos ferromagnéticos tanto para el sistema con imán permanente y el sistema con electroimán, sin embargo, para lograr esto, uno de los separadores debía ubicarse a una altura de aproximadamente de 5 metros, lo que implica una riesgosa caída libre de los residuos ferromagnéticos. Considerando aquello como una condición de riesgo, se descarta esta opción.

La Oficina de Producción dispone ubicar los separadores magnéticos en dos puntos, por lo tanto, el criterio de selección de dos separadores magnéticos se basa según el requerimiento de la empresa. Bajo la supervisión de Jefatura de Planta, se determina la ubicación del sistema de separación de residuos ferromagnéticos en dos trayectos:

- Trayecto 1: Trituradora de mandíbulas primaria Zaranda Vibratoria
- Trayecto 2: Trituradora de mandíbulas secundaria Trituradora cónica

En ninguno de los dos trayectos se obstaculiza la circulación de operarios, supervisores, ni salidas de emergencia. El traslado del recipiente recolector es sencillo, su tamaño es moderado y no obstaculiza el tránsito en el caso de encontrarse con personal en el pasillo. De igual forma se respetan los accesos para operación y mantenimiento de las máquinas.

### 2.4. Parámetros para el separador con imán permanente

Conocer las características del imán permanente que se encuentra en el circuito de trituración 2, permitirá tener una referencia para la propuesta del sistema de separación magnética que se ubicará en el Trayecto 1.

27

## Figura 16

Representación del actual imán permanente.

Fuente: Los Autores

### Figura 17

Representación de la ubicación de la densidad de flujo magnético del imán permanente.



Fuente: Los Autores.

En la Tabla 12, se muestran los valores de cada una de las variables del imán permanente que se encuentra en el circuito.

# Tabla 12

Características del imán permanente.

No.	Descripción	Medida
1	Masa del imán permanente	64 kg
2	L: Longitud	600 mm

3	W: Ancho	400 mm
4	D: Alto	250 mm
5	Z: Distancia desde la superficie	180 mm
7	$B_{superficie}$ <sup>1</sup>	70 mT
8	$B_{180mm}$ <sup>2</sup>	9 mT
9	Masa diaria en la superficie del imán	5 kg

Fuente: Los Autores

La densidad de flujo magnético de la superficie del imán permanente y a una distancia de 180mm fueron medidas por el Low-Frecuency-Analayzer, esto nos permitió tener una referencia del entorno actual.

Se realiza la medición de la longitud de la banda transportadora tomando como referencia el eje de los tambores. Esto se realiza con el fin de tener una referencia del entorno en el que se va a diseñar la estructura en el diseño, de igual forma se toma medidas de altura.

# Figura 18

Medición de estructura durante el trabajo de campo.



Fuente: Los Autores.

Con el fin de obtener los datos para dimensionar la estructura de soporte del sistema de separación, se tomaron las medidas del ancho de la banda transportadora, ancho de la

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Dato obtenido mediante el uso en campo del Equipo: Low-Frecuency-Analyser

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Dato obtenido mediante el uso en campo del Equipo: Low-Frecuency-Analyser

estructura metálica y altura del mineral de mina transportado. Estas medidas respecto a la estructura de la banda que transporta el mineral de mina son similares tanto para el trayecto 1 como para el trayecto 2.

# Figura 19

Representación vista frontal de la banda transportadora del material de mina.





El trayecto 1, donde se ubica la trituradora de mandíbulas primaria – zaranda vibratoria, se ubicará el sistema de separación magnético con imán permanente y dos recolectores. Las medidas del trayecto se describen a continuación:

### Figura 20

Representación de vista lateral del Trayecto 1.



Fuente: Los Autores

#### 2.5. Parámetros para el separador con electroimán

En el trayecto 2, donde se ubica la trituradora de mandíbulas secundaria y trituradora cónica tendrá al sistema de separación magnético con electroimán y un solo recolector, esto debido a los espacios disponibles. Las medidas se describen a continuación:

### Figura 21

Representación de vista lateral del Trayecto 2.





Se conoce que 5kg de los residuos son recolectados por el imán permanente; como este será ubicado como un primer filtro, por lo tanto, el electroimán se lo dimensiona para recolectar el restante. Según las muestras en campo el valor es de 11kg, en este dato se considera la masa de las bolas de acero de cuatro pulgadas, tres pulgadas y los residuos que no son captados por el imán permanente. Cabe mencionar que se considera un factor de seguridad (Fs = 2) debido a los criterios de selección del electroimán, es decir, en caso de que la empresa requiera aumentar la revolución de esta banda o la cama del mineral sea mayor, el dispositivo elegido podrá separar los residuos ferromagnéticos.

### Tabla 13

Resumen de parámetros

Ítem	Descripción	Medida
1	Cantidad del material de fragmentos	$m_T = 22 \ kg$

2	Distancia del electroimán hasta la superficie de la	d = 0.2 m		
2	banda transportadora del mineral de mina			
2	Ancho de la cinta transportadora del mineral de			
3	mina	0.6 m		
4	Bola de acero de 3"	$m_{b3} = 1.82 \; kg$		
5	Bola de acero de 4"	$m_{b4} = 4.3 \ kg$		
6	Masa sin separar	$m_s = 4.88 \ kg$		

Fuente: Los Autores.

 $m_{b3} + m_{b4} + m_a = m$  1.82 kg + 4.3 kg + 4.88 kg = 11 kg  $m_T = FS * m$   $m_T = 22 kg$ 

Finalmente, en la figura a continuación se describe la ubicación de los separadores magnéticos

# Figura 22

Ubicación de los separadores magnéticos en el CT2



Fuente: Los Autores.

# CAPÍTULO III: SELECCIÓN DEL ELECTROIMÁN

El electroimán es un conjunto formado por un núcleo ferromagnético y una bobina con una cantidad N de espiras, que produce efectos magnéticos apreciables solamente cuando la bobina es recorrida por una corriente eléctrica I (Edebé, 2011). A diferencia de los imanes permanentes, su fuerza de atracción, así como su distancia de actuación, es muy superior (IBERCASSEL SL).

### 3.1. Conceptos de Electromagnetismo

### **3.1.1.** Fuerza magnetomotriz $(F_{mm})$

Causa capaz de mantener la circulación del flujo de inducción a lo largo del circuito magnético. La unidad es el ampere - vuelta (Av) (Edebé, 2011). La fuerza magnetomotriz de un circuito magnético es igual al flujo efectivo de corriente aplicado al núcleo (J., 2012).

### 3.1.2. Intensidad de campo magnético (H)

Siempre que exista un flujo magnético ( $\phi$ ) en un cuerpo se debe a la presencia de una intensidad de campo magnético *H*, la unidad es el Henrio (Theodore, 2007).

#### 3.1.3. Flujo magnético ( $\phi$ )

Es una medida de la cantidad de líneas de fuerza que atraviesa una sección de un circuito magnético. La unidad es el weber (Wb) (Álvarez, 2012).

#### 3.1.4. Densidad de flujo (B)

También se la conoce como inducción magnética, es el número de líneas de campo por unidad de superficie. Por lo que la densidad de flujo es el flujo magnético sobre la superficie que atraviesa el campo magnético en metros cuadrados. Su unidad es Tesla (T) (J., 2012).

#### 3.1.5. Reluctancia

Es el cociente de la fuerza magnetomotriz aplicada a un circuito magnético por el flujo de inducción que produce. La unidad de medida es (*A\* vuelta/ Wb*) (Edebé, 2011).

#### **3.1.6.** Permeabilidad relativa $(u_r)$

La permeabilidad relativa es una medida útil para comparar la capacidad de magnetización de los materiales. La unidad de medida es (*B/H*) (J., 2012). La permeabilidad del espacio libre (aire) se denomina  $\mu_0$ , y su valor es  $\mu_0 = 4\pi * 10^{-7}$  (Theodore, 2007).

### 3.1.7. Hierro silicioso

Se escoge este material para el núcleo del electroimán debido a sus características. Su permeabilidad relativa es de  $\mu_r = 7000$  (Vicioli, 2019).

#### 3.1.8. Hierro al carbón

Es el material para la carcasa del electroimán, el cual distribuye el campo magnético desde el núcleo hacia la lámina inferior en la cual se adhieren los residuos para ser separados por la banda.

#### 3.1.9. AWG

AWG o American Wire Gauge es la medida estándar de EE. UU. para el diámetro de los conductores eléctricos. La tabla American Wire Gauge se basa en el número de troqueles originalmente necesarios para reducir el cobre al tamaño dimensional requerido. Significa que cuanto mayor es el número AWG, menor es el diámetro del cable (ELAND CABLES, 2021).

#### 3.2. Cálculos para selección de electroimán

Se determinan los siguientes parámetros:

#### Tabla 14

Parámetros del electroimán

Descripción	Medida
$\mu_r$ Núcleo	$\mu_r = 7000$
$\mu_r$ Carcasa	$\mu_r = 5000$
Permeabilidad del aire	$\mu_0 = 4\pi * 10^{-7}$
Diámetro del núcleo	D = 0.06 m
Longitud del circuito	$l_n = 0.29 m$
Área del núcleo	$A = 0.002826 m^2$

Espiras	N = 1000	

Fuente: Los Autores.

En primera instancia calculamos las reluctancias presentes en este este circuito, las cuales sumadas tenemos una reluctancia total.

$$R = \frac{l_n}{\mu_r * \mu_0 * A}$$
 Ecuación 1

La primera es ser calculada es  $R_n$ , la cual hace referencia a la resistencia del núcleo. La reluctancia se calcula dividiendo la longitud del núcleo entre la multiplicación de la permeabilidad del material del núcleo por la permeabilidad de aire, la cual es una constante conocida, y finalmente por el área de la sección. Luego se calcula la reluctancia de la placa inferior de la carcasa del electroimán y finalmente la reluctancia del aire.

### Tabla 15

Reluctancias presentes en el circuito

R. Núcleo	R. Placa	R. Aire	R. Total
(A* vuelta/ Wb)	(A* vuelta/ Wb)	(A* vuelta/ Wb)	(A* vuelta/ Wb)
$R_n = 11690371$	$R_p = 169.31$	$R_a = 56437923.08$	$R_T = 56449783.1$

Fuente: Los Autores.

En la determinación de parámetros luego del trabajo de campo se obtuvo que como máximo  $m_T = 22kg$  de masa que el electroimán debe sostener en la superficie como condición crítica y se realiza la siguiente ecuación para obtener la densidad de flujo magnético.

• Densidad de flujo

## F: Fuerza (N)

A: área de la sección del núcleo  $(m^2)$ 

$$F = \frac{B^2 \cdot A}{2 \cdot \mu_0}$$
 Ecuación 2

### B = 0.19 Teslas

Seguido, calculamos el flujo, y calculamos la intensidad de corriente que se necesita

B: densidad de flujo magnéticos (T)

 $\phi$ : flujo (Wb)

S: superficie que atraviesa el campo magnético  $(m^2)$ 

$$\phi = B * A$$
 Ecuación 3

$$\phi = 0.00053694$$
 Weber

$$\phi = \frac{N * i}{R}$$
$$i = 30.24 A$$

• Intensidad de campo magnético

 $\mu$ : permeabilidad magnética del material (Wb/A\*m)

B: inducción magnética (T)

H: intensidad de campo magnético (A/m)

 $H_{ln} = \frac{B}{u}$ Ecuación 4  $\mu = u_r * u_0$  H = 21.59 A \* espiras/m

La fuerza magnetomotriz es la magnitud física (Amperio-vuelta), es responsable de crear el campo magnético, se la obtiene con la siguiente ecuación:

$$F_m = N * I$$
 Ecuación 5

# $F_m = 3183$ Amperio-Vuelta

En el software Ansys Maxwell se diseña una representación del núcleo y las variables calculadas; se visualiza el flujo magnético las cuales están representadas en la cantidad de líneas y así mismo se observa la densidad de flujo mangnético donde se evidencia que el valor es aproximado al valor calculado.

# Figura 23





Fuente: Los Autores.

Finalmente, obtenemos que para mantener en la superficie 22kg se necesitan 0.19 Teslas y la intensidad de corriente de 32 Amperios. El requerimiento de la empresa es adquirir este dispositivo en el mercado por lo que se busca uno que cumplan con las condiciones del proceso, siendo seleccionado el siguiente separador de Marca Felegman modelo SF2-50-RS/65 el cual cumple con características necesarias para ubicarse en este circuito.

### Figura 24

	SEPARAD RS	OOR TIPO RC	(*)Campo magnético 400 Gauss distancia en mm	Peso aprox (K	propio Imado (g) RC	Consumo nominal a 0°C [W]	A	в	С	D	E	F	Di G	men   I	is <b>i</b> or	nes K	en n	nm   M	N	0	P	R	s	Т
ĺ	SF2-50-RS/50	SF2-50-RC/50	210	350	700	1350	500	05	200	440	20	400	450	E 0 E	400	205	1640	520	20	20	765	500	740	225
	SF2-50-RS/65	SF2-50-RC/65	210	450	800	1700	650	95	300	590	30	400	450	202	490	282	1790	670	20	20	/05	500	/10	225

Características del separador SF2-50-RS/65

Fuente: (Felemang, 2021)

# Figura 25

Representación de un separador auto limpiante RC/65



Fuente: (Felemang, 2021)

# Tabla 16

Requerimientos para selección del electroimán

Descripción	Comercial	Requerimiento
Densidad flujo magnético	2260 Gauss / 0.2 Teslas <sup>3</sup>	0.14 Teslas

Fuente: Los Autores

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup>(S. Galeas [ Comunicación personal], 5 de mayo 2021)

# CAPÍTULO IV: DISEÑO MECÁNICO

### 4.1. Selección de la banda transportadora

Para la selección de la banda, se toma en cuenta tanto factores de trabajo (requerimientos de potencia) como factores externos (medio ambientales), por tal razón en el presente proyecto se enfatizó en gran medida en obtener los parámetros de trabajo en un estudio de campo. Sin embargo, para sintetizar toda la información obtenida, se tomó como referencia información y procedimientos de ciertas normativas y catálogos para diseñar una banda estándar. Cabe recalcar que, debido a la aplicación de la banda dentro de un sistema de separación magnética, los procesos de diseño mencionados deben ser adaptados a los requerimientos de la aplicación.

La norma DIN 22102 recomienda que para especificar las características más importantes y relevantes de una banda se siga un modelo que se muestra a continuación:

#### Figura 26

Ejemplo de denominación de una banda según la norma DIN 22102



Fuente: (Puerto Femos, 2020).

Conociendo que las propiedades más importantes son las mostradas en la Figura 31., en el presente proyecto se busca hallar cada una de estas propiedades para que satisfagan la necesidad de trabajar en conjunto con el separador magnético.

Considerar el material a transportar es el aspecto más importante a la hora de diseñar una banda, ya que permite seleccionar el tipo de tejido del transportador, el espesor y el número de capas que tendrá la misma. La norma DIN 22102, 22103 y 22104 recomiendan que para aplicaciones en el campo de la minería se ocupen bandas multicapa EP ya que, a más de ser bandas resistentes a materiales altamente abrasivos y cortantes, cuentan con propiedades antillama y antiestática que brindan mayor seguridad al sistema ante posibles fallos como sobrecargas, desgaste eléctrico, igniciones, etc.

### 4.1.1. Cálculo de potencias

Uno de los valores importantes a la hora de poder definir una banda es la resistencia a la tracción que debe soportar la misma. Para lo cual se debe realizar un análisis que permita determinar los valores de las fuerzas que intervienen en el proceso y principalmente aquellas que se aplican directamente a la banda.

Todas las variables que intervienen en este análisis son mostradas en la Tabla 12.

### Tabla 17

Descripción	Abrev.
Fuerza magnética	Fm
Peso del material	W
Ángulo de inclinación	θ
Fuerza resultante en x	$R_x$
Fuerza resultante en y	$R_y$
Fuerza resultante total	R
Ángulo de fuerza resultante	$\phi$

Fuerzas y ángulos del diagrama de cuerpo libre

Fuente: Los Autores

En un sistema de separación magnética suspendido la distribución de fuerzas que intervienen serán diferentes a la aplicada para una banda normal, esto esencialmente debido al

imán o electroimán que esté actuando en el separador. La distribución de fuerzas se muestra en la siguiente figura

# Figura 27

Diagrama de cuerpo libre.



Fuente: Los Autores

El diagrama de la Figura 12., muestra solamente las fuerzas que actúan sobre el cuerpo o material que el separador magnético atraerá. De esta manera se puede hallar las fuerzas resultantes que actuarán sobre la banda influenciadas ya por la gravedad y el plano inclinado, para lo cual se realiza el siguiente análisis:

$$R_{\chi} = Fm \cdot Sen(\theta)$$
 Ecuación 6

$$R_{\gamma} = -W + Fm \cdot Cos(\theta)$$
 Ecuación 7

$$R = \sqrt{(Fm \cdot Sen(\theta))^2 + (-W + Fm \cdot Cos(\theta))^2}$$
 Ecuación 8

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{R_y}{R_x}\right)$$
 Ecuación 9

La representación de esta fuerza resultante, su ángulo de aplicación y sus componentes en el plano son mostradas en la siguiente figura.

# Figura 28

Fuerza resultante del sistema.



Fuente: Los Autores

Tomando en consideración que la magnitud de la resultante R será la que afecte directamente al análisis de la potencia requerida para el movimiento de la banda y del tambor motriz.

Cuando se realiza el análisis de un tambor motriz, se sabe que existe un par de tensiones sobre este, la primera tensión es aquella que está sujeta a una carga y la otra que se ejerce sobre el extremo libre. Cabe recalcar que para que exista un movimiento del tambor, debe existir una diferencia en el valor de dichas tensiones, para lo cual se debe cumplir la relación denominada Euler-Eytelwein (Salinero, 2013).

### Figura 29

Esquemático de un tambor motriz.



Fuente: Los Autores

Ecuación 10

 $\frac{T1}{T2} = e^{\mu \alpha_T}$ 

Donde:

T1: Costado con mayor tensión

T2: Costado con menor tensión

μ: Coeficiente de fricción, tambor y banda.

 $\alpha_T$ : Ángulo de abrace entre tambor y banda.

De acuerdo con la relación Euler-Eytelwein y como se puede observar en la Figura 32, para un valor determinado de "T2" y siendo " $\mu$ " constante, T1 alcanza su valor máximo cuando  $T1 = T2 \cdot e^{\mu \alpha_T}$  siendo " $\alpha_T$ " el ángulo máximo de arrollamiento posible, por lo que se recomienda limitar el ángulo de abrace en régimen normal de trabajo a un valor menor al máximo para poder prever posibles incrementos del valor de "T1" en el arranque (Salinero, 2013).

Para poder determinar el par torsor requerido que debe ser aplicado por el motor para el movimiento de la banda transportadora, en primera instancia, es necesario realizar un análisis estático que permita determinar las magnitudes de las tensiones a las que se encuentra sometida la banda.

Sin embargo, se debe tener en cuenta en que el diseño del sistema de separación magnética requiere que la banda gire en ambas direcciones, con lo que el análisis debe realizarse en las dos circunstancias.

# Figura 30

Análisis estático de tensiones en funcionamiento normal.



Fuente: Los Autores

# Figura 31

Análisis estático de tensiones con inversión de giro.



Fuente: Los Autores



Donde:



F<sub>R</sub>: Fuerza de fricción

 $\mu_k$ : Coeficiente de fricción banda e imán/electroimán.

En ambos tipos de funcionamiento, como se puede observar tanto en la Figura 33 y la Figura 34, las fuerzas son las mismas pero el sentido de algunas cambia debido a la inversión de giro del motor. La fuerza de fricción  $F_R$  es aquella que experimenta un cambio de sentido y que dependen exclusivamente del peso del material a cargar, siendo la más relevante en el análisis del sistema.

Como ya se mostró en el trabajo de campo, el material que es recolectado no es constante, en el sentido que su forma y peso no son los mismos, para la cual se ha optado por realizar el análisis bajo las condiciones críticas de trabajo.

Para el separador magnético con imán permanente se consideró que la banda será capaz de arrastrar una bola de acero de una pulgada de diámetro en adición al peso promedio del material que fue obtenido en el análisis de campo.

Con lo que respecta al sistema de separación magnética con electroimán, se determinó que la condición crítica de trabajo corresponde cuando la banda requiera mover una bola de acero de cuatro y una de tres pulgadas de diámetro que es la condición máxima que puede llegar a presentarse en el circuito, de la misma manera, a este valor se le adicionará el peso del material promedio el cual fue hallado en el trabajo de campo.

Con lo que se ha explicado, la relación existente entre la fuerza tangencial, que para el presente caso representa la fuerza  $F_R$ , y las tensiones de la misma se pueden definir como:

$$T1 - T2 = F_R$$

$$(e^{\mu\alpha_T}\cdot T2)-T2=F_R$$

Despejando...

$$T2 = F_R \cdot \left(\frac{1}{e^{\mu \cdot \alpha_{T-1}}}\right)$$
 Ecuación 13

$$T1 = F_R \cdot \left(1 + \frac{1}{e^{\mu \cdot \alpha_T} - 1}\right)$$
 Ecuación 14

El coeficiente de fricción entre la banda y el tambor viene definido según las circunstancias de trabajo a las cuales se ve involucrado el sistema, algunas de estas se muestran a continuación:

# Tabla 18

•	Coeficient	te de	fricción	según la	superficie	del	tambor
	$coc_{fi}cicni$	c uc	Juccion	Segun in	superficie	uci	10111001

Coeficiente de
fricción $\mu$
0.15
0.3
0.35
0.4

Fuente: (Salinero, 2013).

En adición, el resto de las tensiones que intervienen en la banda, pueden ser halladas a partir del análisis de resistencias individuales de acuerdo a las ecuaciones mostradas a continuación en la Tabla 13.

### Tabla 19

<b>T</b> •		. 1		•	•
Heurerones	nn	ostado	actaci	INNAI	nn
Lenaciones	en	esiauo	esiuci	onui	uo.

Ecuaciones	Giro normal	Inversión de giro
Tensión 1	$T1 = F_R \cdot \left(1 + \frac{1}{e^{\mu \cdot \alpha_T} - 1}\right)$	$T1 = F_R \cdot \left(\frac{1}{e^{\mu \cdot \alpha_T} - 1}\right)$
Tensión 2	$T2 = F_R \cdot \left(\frac{1}{e^{\mu \cdot \alpha_T} - 1}\right)$	$T2 = F_R \cdot \left(1 + \frac{1}{e^{\mu \cdot \alpha_T} - 1}\right)$
Carril superior	T4 - T1 = 0	T4 - T1 = 0
Carril inferior	$T3 + F_R - T2 = 0$	$T3 - F_R - T2 = 0$
Accionamiento	$T1-F_R-T2=0$	$-T1 - F_R + T2 = 0$

## Fuente: Los Autores

Con las ecuaciones mostradas en la Tabla 13, se puede realizar un análisis dinámico que permita determinar el momento torsor necesario aplicado por el motor, considerando esencialmente las tensiones "T1" y "T2" que son las que actúan directamente sobre el tambor motriz.

Analizando el esquemático de la Figura 32, se realizará un análisis de momentos de inercia como se muestra a continuación:

$$\sum M = I_T \cdot \alpha_v$$
 Ecuación 15

Ecuación 16

 $M = (I_T \cdot \alpha_v) - (T2 \cdot R) + (T1 \cdot R)$ 

Donde:

M: Momento total impartido por el motor.

 $I_T$ : Inercia total del tambor motriz.

 $\propto_v$ : Aceleración angular del tambor motriz.

Para poder obtener la aceleración angular, hay que considerar el momento de arranque del motor tiene que ser suave; es decir, llegar a su velocidad de operación en un tiempo no muy corto para evitar altas aceleraciones y cargas dinámicas altas, pero tampoco puede ser demasiado extenso para evitar la necesidad de acoplamiento de arranque debido a efectos térmicos que conllevan a un aumento en el costo del equipo. Se recomienda que el tiempo no sea mayor a diez segundos para el caso de utilizar motores de jaula de ardilla por lo que se optó por un tiempo de cinco segundos, el cual permitirá al sistema acelerar desde el reposo hasta la velocidad requerida de banda de una manera no abrupta.

Lo que corresponde a la selección adecuado de la velocidad de la banda, esta será escogida en base a la norma DIN 22101, la cual establece velocidades máximas en m/s para

valores específicos del ancho de la banda transportadora. Los valores normalizados de velocidades para bandas transportadoras se detallan en la Tabla 22.

### Tabla 20

Valores normalizados para bandas transportadoras en m/s.

0.66	0.84	1.05	1.31	1.68
2.09	2.62	3.35	4.19	5.24

Fuente: (Alemania Patente nº DIN 22102, 1991).

Cabe mencionar que la potencia hallada mediante este análisis no se verá reflejada en la selección del motor como tal, ya que al valor hallado se le debe agregar un factor de seguridad que garantice un funcionamiento adecuado del sistema ante variaciones imprevistas de trabajo y ante condiciones críticas de arranque.

Para hallar la potencia del motor a partir del par torsor M calculado con la ecuación 16 se aplica la siguiente ecuación:

$$Pm = M \cdot \omega$$
 Ecuación 17

M: Momento total impartido por el motor.

 $\omega$ : Velocidad angular del tambor motriz.

Pm: Potencia del motor.

Para aumentar la precisión de la potencia del motor, es necesario tomar en cuenta tanto en rendimiento "*n*" y la eficiencia " $\varepsilon$ " de la transmisión. El rendimiento del motor se puede estimar en un rango entre 85% y 95%, mientras que la eficiencia de la transmisión depende del sistema que se acople. En la Tabla 21, se muestran valores referenciales para cada mecanismo:

### Tabla 21

Tipo de mecanismo reductor	Eficiencia
Poleas y bandas en V	84%
Cadena de rodillos	93%
Cadena de rodillos lubricados en aceite	95%
Reductor de engranajes helicoidales, una reducción	95%
Reductor de engranajes helicoidales, doble reducción	94%
Reductor de engranajes helicoidales, triple reducción	93%
Reductor de tornillo sin fin (relación 20:1)	90%
Reductor de tornillo sin fin (relación 20:1 a 60:1)	70%
Reductor de tornillo sin fin (relación 60:1 a 100:1)	50%
Reductor de engranajes rectos (mecanizados)	90%
Reductor de engranajes rectos (fundidos)	85%

Eficiencia de los mecanismos reductores

Fuente: (Salinero, 2013).

Para hallar finalmente la potencia nominal del motor se usa la siguiente ecuación:

$$Pn = \frac{Pm}{n \cdot \varepsilon}$$
 Ecuación 18

# 4.2. Resistencia a tracción de la banda.

A partir del análisis realizado en el apartado anterior, existe otro parámetro fundamental a la hora de seleccionar una banda. La denominada resistencia a la tracción de una banda hace referencia a la capacidad de la misma a soportar las distintas tensiones que se ejercen sobre esta.

En la Tabla 13 se muestran las tensiones que se ejercen tanto en el tambor motriz como en el tambor de reenvío cuando el régimen de trabajo es estacionario o se encuentra en un estado constante. Dichas tensiones, a pesar de que vienen relacionadas directamente con el peso que

podía atraer tanto el imán permanente como el electroimán, no representan los valores máximos a los cuales se encuentra sometida la banda.

Las tensiones máximas a las que se encuentra sometida la banda son aquellas en las cuales el sistema se encuentra en estado de funcionamiento no estacionario. Esto sucede debido a que cuando el sistema arranca, la banda requiere una aportación de fuerza o de par suplementario respecto al régimen permanente.

La fuerza tangencial involucrada en el régimen permanente es representada como la fuerza de rozamiento " $F_R$ ", si embargo, la fuerza tangencial en el régimen no estacionario es representada con la fuerza  $F_A$ .

Cuando son utilizados acoplamientos rígidos en el grupo motriz, la fuerza tangencial " $F_A$ " puede ser hallada de la siguiente manera:

$$F_A = K_A \cdot \frac{P_n \cdot n \cdot 1000}{v}$$
 Ecuación 19

Donde:

v: Velocidad de la banda (m/s)

- $P_n$ : Potencia nominal del motor (KW)
- n: Rendimiento del conjunto motor/transmisión (-)
- $K_A$ : Factor de puesta en marcha (2)

Una vez hallada la fuerza tangencial en el régimen no estacionario, se puede hallar las tensiones que dicha fuerza ejerce sobre la banda, pudiendo de esta manera calcular la resistencia a la tracción de la banda con el valor máximo de tensión que pueda presentarse en el análisis. Para el cálculo de las tensiones con fuerza tangencial en el arranque, es necesario considerar un coeficiente de fricción entre el tambor y la banda mayor que el usado en el régimen estacionario con el fin de evitar deslizamiento entre los elementos.

$$T1_A = F_A \cdot \left(1 + \frac{1}{e^{\mu_A \cdot \alpha_{T-1}}}\right)$$
 Ecuación 20

$$T2_A = F_A \cdot \left(\frac{1}{e^{\mu_A \cdot \alpha_T} - 1}\right)$$
 Ecuación 21

Siendo:

$$\mu_A = \mu + 0.05$$

Con los datos de las tensiones " $T1_A$ " y " $T2_A$ " se puede repetir el análisis hecho para hallar las tensiones de régimen permanente, o estado estacionario, para hallar las nuevas tensiones en estado no estacionario, este análisis es mostrado en la Tabla 14.

#### Tabla 22

Ecuaciones	Giro normal	Inversión de giro
Tensión 1	$T1_A = F_A \cdot \left(1 + \frac{1}{e^{\mu_A \cdot \alpha_T} - 1}\right)$	$T1_A = F_A \cdot \left(\frac{1}{e^{\mu_A \cdot \alpha_T} - 1}\right)$
Tensión 2	$T2_A = F_A \cdot \left(\frac{1}{e^{\mu_A \cdot \alpha_T} - 1}\right)$	$T2_A = F_A \cdot \left(1 + \frac{1}{e^{\mu_A \cdot \alpha_T} - 1}\right)$
Carril superior	$T4_A - T1_A = 0$	$T4_A - T1_A = 0$
Carril inferior	$T3_A + F_A - T2_A = 0$	$T3_A - F_A - T2_A = 0$
Accionamiento	$T1_A - F_A - T2_A = 0$	$-T1_A - F_A + T2_A = 0$

Ecuaciones en estado no estacionario

Fuente: Los Autores

Una vez halladas todas las tensiones que actúan sobre la banda tanto en el régimen estacionario como no estacionario, se puede calcular la resistencia a los esfuerzos de tracción influido por la tensión máxima a la que la banda se encuentra sometida. Para esto se debe agregar un factor de seguridad que garantice que la tensión máxima de trabajo sea inferior a las resistencias nominal de la banda.

$$R_1 = \left(\frac{T_{max} \cdot S}{B}\right)$$
 Ecuación 22

Donde:

 $R_1$ : Resistencia nominal de la banda (N/mm)

 $T_{max}$ : Tensión máxima de trabajo de la banda (N)

B: Ancho de banda (mm)

S: Coeficiente de seguridad (10) especificar la normativa

### 4.3. Selección del tambor motriz

Al igual que muchos de los elementos que componen el sistema de separación magnética, los diseños deben referirse a medidas que las normativas o catálogos dictan. Lo mismo sucede en el caso tanto del tambor motriz, como de reenvío, ya que las dimensiones principales como es el diámetro y la longitud se encuentran estandarizadas según la norma DIN 22101 y la norma ISO 1536 respectivamente.

# Tabla 23

Diámetros de tambores normalizados

Diámetro de los tambores en mm										
190	250	320	400	500	630	800	1000	1250	1400	1600

Fuente: (DIN 22104) (Salinero, 2013).

#### Tabla 24

Ancho de banda [mm]	400	500	650	800	1000	1200	1400	1600	1800	2200
Ancho de tambor [mm]	500	600	750	950	1150	1400	1600	1800	2000	2200

Fuente: (Salinero, 2013).

Por lo general los diámetros de los tambores depende exclusivamente del tipo de banda empleada y del espesor de las telas, que a su vez son determinados mediante el análisis de la tensión máxima que se ejerce sobre la banda.

La normativa DIN 22101 establece que, una vez conocido el espesor de la carcasa en mm, este sea multiplicado por un factor de 108 para bandas EP, con el fin de poder determinar el diámetro del tambor motriz. El valor resultante de esta operación debe redondearse para seleccionar un valor cercano que corresponda a los valores mostrados en la Tabla 23.

En la actualidad la construcción de estos componentes se la realiza mediante una electrosoldadura, cuyo elemento envolvente es de acero suave, y los discos, pueden ser ya sea de acero suave o acero moldeado.

En adición, con el fin de aumentar la fricción existente entre la banda y el tambor, es necesario un recubrimiento de goma que efectúe dicha labor, con lo cual se debe definir un espesor apropiado. Por lo general los espesores son definidos en base al diámetro del tambor, sin embargo, pueden usarse espesores que van desde 8 a 15 mm dependiendo del diseño necesario.

### 4.3.1. Dimensionamientos de los rodamientos.

Los rodamientos son uno de los elementos cuyo diseño como tal es bastante complejo, por lo que se recomienda dimensionar dicho elemento y escoger el más adecuado según los

53

catálogos que brindan los fabricantes. Por lo general, los rodamientos utilizados en bandas transportadoras son los denominados "rodamiento de rodillos" ya que estos tienen la característica de soportar altas cargas radiales. Sin embargo, debido a que el sistema desarrollado soporta cierta inclinación y consigo cargas axiales, se debe optar por otro tipo de rodamientos.

Los rodamientos de bolas se caracterizan por la adaptabilidad que tienen de funcionar bajo diferentes entornos de trabajo. Si bien dichos elementos soportan cargas radiales elevadas, también son capaces de soportar cargas axiales, pero de menor magnitud. Con lo mencionado, se puede dimensionar los rodamientos y verificar si efectivamente son capaces de soportar los esfuerzos que se generan en el sistema. Para lo cual se realiza el siguiente análisis:

#### 4.4. Datos para el dimensionamiento del sistema

Una vez expuestos todo lo correspondiente al proceso de diseño de la banda transportadora, se procede a obtener los valores necesarios para un correcto dimensionamiento y selección de cada uno de los elementos que conforman el sistema de separación magnética. Cabe destacar que el procedimiento es el mismo tanto para el diseño del separador magnético con imán permanente como con electroimán, la diferencia radica en las dimensiones generales y en las condiciones de funcionamiento.

Como primer punto, se debe definir la fuerza resultante del sistema considerando la condición crítica, el peso promedio en horas de funcionamiento y un factor de seguridad de dos para cada uno de los casos.

### Tabla 25

Descripción	Separador con Imán Permanente	Separador con Electroimán
Bola de acero	1"	3"+4"

Datos de las fuerzas que intervienen en el sistema de separación magnética.

	m = 0.07 Kg	m = 6.13 Kg
Masa recolectada	m = 5  Kg	m = 4.88 Kg
Peso total con factor de seguridad	W = 99.47 N	W = 216.02 N
Fuerza Magnética	Fm = 467.92  N	Fm = 4.5  kN
Angulo de inclinación	$\theta = 23.68^{\circ}$	$\theta = 19.74^{\circ}$
Fuerza Resultante	R = 467.29 N	R = 4.5  kN
Coeficiente de fricción	$\mu_k = 0.4$	$\mu_k = 0.4$
Fuerza de fricción o tangencial	$F_R = 186.92 N$	$F_R = 1.8 \ kN$

Fuente: Los Autores

Una vez obtenida la fuerza resultante y con ello la fuerza tangencial, se pueden obtener las tensiones a las cuales se encuentra sometida la banda transportadora tanto para el funcionamiento normal como para la inversión de giro del motor.

# Tabla 26

#### Tensiones soportadas por la banda transportadora.

Tensión _	Separador con I	Separador con Electroimán	
	Giro normal	Inversión de giro	Giro normal
T1	186.92 N	$1.005 \times 10^{-29} \text{ N}$	1.8 kN
T2	$1.005 \times 10^{-29}$ N	186.92 N	$9.68 \times 10^{-32} \text{ N}$
T3	-186.92 N	373.84 N	-1.8 kN
T4	186.92 N	$1.005 \times 10^{-29}$ N	1.8 kN

Ya obtenidas las tensiones que intervienen en todo el circuito, en régimen permanente, se puede obtener el par torsor ejercido por el motor, para lo cual, en adición, es necesario contar con el valor de la inercia total del tambor motriz, que es brindado por el software SolidWorks. La Tabla 23 resume los valores hallados.

### Tabla 27

Variables		Separador con Imán	Separador con	
		Permanente	Electroimán	
		2.09 m/s	2.09 m/s	
Velocidad (banda)	v	15.48 rad/s	10.45 rad/s	
		148 rpm	99.79 rpm	
Aceleración angular	$\propto_v$	$3.096  rad/s^2$	$2.09  rad/s^2$	
Inercia total	$I_T$	$1.998 \ kg \cdot m^2$	7.007 $kg \cdot m^2$	
Radio de tambor motriz	R	0.135 m	0.2 m	
Par torsor	М	31.42 N· <i>m</i>	374.64 N· <i>m</i>	
Potencia del motor	Pm	486.38 W	3.92 kW	
Potencia nominal	Pn	538.5 W $\approx 1.5$ kW	$4.34 \text{ kW} \approx 5.5 \text{ kW}$	

Valores de los momentos angulares.

Fuente: Los Autores.

En la Tabla 23, se puede observar el valor de la potencia del motor" Pm" que será requerido para cada uno de los casos, sin embargo, para hallar la potencia nominal "Pn" se ha seleccionado un rendimiento del 95% y una transmisión de engranajes helicoidales que cuenta con una eficiencia del 95%. Cabe recalcar que para la potencia obtenida no se le agrega un factor de seguridad, puesto que éste fue agregado en el análisis previo, sin embargo, se redondeará al valor estandarizado.

Finalmente, para poder hallar la resistencia a la tracción de la banda, se debe realizar el análisis en régimen no estacionario, obteniendo de esta manera la Tabla 30.

### Tabla 28

Variables de los sistemas de separación

Variables	Separador con I	mán Permanente	Separador con Electroimán
v ar lables	Giro normal	Inversión de giro	Giro normal

Eficiencia	n	0.95		0.95
Fuerza tangencial en el arranque	$F_A$	1.36 kN		5 kN
	$T1_A$	1.36 kN	$9.03 \times 10^{-33}$ N	5 kN
Tansionas	$T2_A$	$9.03 \times 10^{-33}$ N	1.36 kN	$3.32 \times 10^{-32}$ N
Tensiones	$T3_A$	-1.36 kN	2.72 kN	-5 kN
	$T4_A$	1.36 kN	$9.03 \times 10^{-33}$ N	5 kN
Resistencia a la tracción	<i>R</i> <sub>1</sub>	68 x 4 $\approx$ 250 N/mm		100 x 4 ≈ 400 N/mm

Fuente: Los Autores

Con las resistencias a la tracción halladas, finalmente se completan los parámetros necesarios para poder definir, bajo la normativa DIN, ambas bandas. Cabe recalcar que existe un parámetro cuyo valor no afecta a ningunos de los cálculos y es el espesor de los recubrimientos los cuales pueden definirse en base a la aplicación y desgaste que se produzca. obteniendo de esta manera la siguiente tabla:

### Tabla 29

Características de la banda para cada sistema de separación

Características de la banda	Imán Permanente	Electroimán
Denominación	400 EP 250/3 4+2 S	500 EP 400/4 4+2 S
Ancho de banda	400 mm	500 mm
Tipo de carcasa	EP	EP
Tracción de la banda	250 N/mm	400 N/mm
Número de capas	3	4
Espesor de recubrimientos	4+2 mm	4+2 mm
Tipo de recubrimiento	S	S

Fuente: Los Autores

### 4.5. Diseño de estructura y recolección

La estructura es parte fundamental para la ubicación y aplicación del funcionamiento de los separadores magnéticos dentro del proceso. Acorde a los parámetros establecidos para cada separador se diseña la estructura.

Sobre la plataforma se ubicará el recolector de 400mm de diámetro por 700mm de alto.

### Figura 32

Representación de la plataforma



Fuente: Los Autores

El recolector consta de 3 ruedas para facilitar el traslado de material cuando la plataforma emita la señal de la masa límite y esta detenga el movimiento del separador o cambie el sentido de giro dependiendo de la aplicación. Para el sistema de separación con imán permanente se instalarán dos plataformas, una a cada costado del sistema, mientras que para el separador con electroimán solo constará con una plataforma.
Depósito de elementos ferromagnéticos.



Fuente: Los Autores

Lo que corresponde a la estructura que soportará al sistema de separación magnética tanto con imán permanente como electroimán será fabricada por la misma empresa, puesto que esta trabaja con perfiles rectangulares lo cuales, como se observa en los resultados de la simulación, son capaces de soportar las cargas estáticas como dinámicas que intervienen en el proceso.

Los perfiles rectangulares usados para la estructura son perfiles laminados UPN de acero negro los cuales, según la norma americana, también son conocidos como perfiles ASTM A36 y son los usados para la simulación estructural hecha en el software SolidWorks.

Perfil UPN.



# Fuente: Internet

El sistema de separación magnética con imán permanente y con electroimán cuentan con estructuras similares, la diferencia radica en la cantidad de recolectores, sin embargo, el análisis realizado será el mismo en ambos casos.

Las vigas de los sistemas serán soldadas a las que se encuentran actualmente instaladas en el sistema y donde se alojan las bandas transportadoras, las vigas transversales a estas serán las encargadas de soportar el separador magnético. En los extremos de la estructura se encuentran las vigas donde se soportarán las plataformas y los recolectores.

Representación de la estructura de soporte



(a) Estructura para separador con imán permanente. (b) Estructura para separador con electroimán.

Finalmente, para la estructura se toma en cuenta colocar tapas tipo rampa a los laterales del sistema de separación, esto con la finalidad de que los residuos al salir del campo magnético al ser desprendidos sean guiados por este canal hasta el recolector.

# Figura 36

Tapas laterales.



Fuente: Los Autores

Una vez distribuido los perfiles para el sistema requerido, se debe comprobar que el mismo soporte las cargas de manera adecuada, para esto se procede a realizar un análisis y una simulación dinámica que permita observar el comportamiento de los perfiles como las deflexiones generadas para poder determinar si se encuentran dentro de un rango aceptable.

El análisis realizado consiste en determinar las cargas dinámicas ejercidas en los puntos de sujeción del sistema en el comportamiento crítico o de arranque ya que, como se ha mencionado anteriormente, es el momento donde se presentan mayores esfuerzos y tensiones debido a la aceleración del motor.

Para iniciar con el análisis y la simulación en el software SolidWorks, es necesario, comprender en que puntos se han de aplicar las cargas resultantes, para eso en la Figura 38 se puede observar los apoyos existentes en la estructura y el separador magnético. En la estructura existen cuatro apoyos, los cuales están unidos mediante cordones de soldadura al separador magnético.

# Figura 37



Puntos de sujeción de la estructura con el separador magnético.

Fuente: Los Autores

Para iniciar con el análisis de las reacciones producidas en cada uno de los elementos, primeramente, se debe analizar tanto el tambor motriz como el de reenvío para determinar el efecto que ejercen las tensiones de las bandas al momento del arranque.

Se realiza la sumatoria de tensiones para le tambor A o tambor motriz, las cuales se describen en las siguientes ecuaciones.

## Figura 38

Variables del tambor A



Fuente: Los Autores

Sumatoria de fuerzas en X:

$$\sum F_X = 0$$
  
-  $T_1 A - T_2 A + A_x = 0$   
 $A_x = T_1 A + T_2 A$  Ecuación 23

Sumatoria de fuerzas en Y:

$$\sum F_y = 0$$
$$A_y = 0$$

A continuación se realiza el mismo análisis para el tambor B o tambor de reenvío:

Variables del tambor B



Fuente: Los Autores

Sumatoria de fuerzas en X:

$$\sum F_X = 0$$

$$T_4A + T_3A + B_x = 0$$

$$-B_x = T_4A + T_3A$$

$$B_x = -T_3A - T_4A$$
Ecuación 24

Sumatoria de fuerzas en Y:

$$\sum F_{y} = 0$$
$$B_{y} = 0$$

Una vez obtenidos los valores de las reacciones en el tambor motriz y el tambor de reenvío ahora es necesario obtener las reacciones en los puntos de sujeción de la estructura que se encuentran denominados como "C" y "D", el diagrama de cuerpo libre se muestra en la Figura 39 donde en esta considera tanto el peso del separador, el par torsor y las reacciones obtenidas de cada uno de los tambores.

Análisis matemático del sistema.



Fuente: Los Autores

Sumatoria de fuerzas en Y

$$\sum F_y = 0$$
  

$$B_y - P + A_y + D_y + C_y = 0$$
  

$$W = D_y + C_y$$
  

$$D_y = P - C_y$$
  
Ecuación 25

Sumatoria momentos

$$\sum M_D = 0$$
  
$$B_y(b) - B_x(a) - P\left(\frac{c}{2}\right) + A_y(b) + A_x(a) - M_T + C_y(c) = 0 \quad \text{Ecuación 26}$$

Sumatoria de fuerzas en X

$$\sum F_X = 0$$

$$D_x = -A_x - B_x$$
Ecuación 27

Con todo el análisis realizado, se puede resumir los datos obtenidos en la Tabla 30.

# Tabla 30

Vorio	blog	Separador con	Imán Permanente	Separador con Electroimán
v al la	DIES	Giro normal	Inversión de giro	Giro normal
Ax	2	1360 N	1360 N	5000 N
Ау	7	0 N	0 N	0 N
Bx	ζ.	0 N	2720 N	0 N
Ву	7	0 N	0 N	0 N
Су	7	1308.16 N	1211.48 N	3175.83 N
Dx	Σ.	-1360 N	-4080 N	-5000 N
Dy	7	1629.94 N	1726.62 N	1756.84 N
Р		2938.1 N	2938.1 N	4932.67 N
-	а	0.1 m	0.1 m	0.17 m
Distancias	b	0.27 m	0.27 m	0.27 m
	c	0.65 m	0.65 m	0.67 m

#### Variables del análisis matemático.

Fuente: Los Autores

Con los valores de las reacciones obtenidas en los puntos C y D, las fuerzas máximas halladas pueden ser seteadas en el software y proceder a simular el comportamiento de la estructura. Los principales deslizamientos que se hallan en la estructura corresponden a los ejes "x" y "y", estos se muestran en la figura 41 y figura 42 respectivamente

• Deslizamiento en Z.

# Figura 41

Representación gráfica de los deslizamientos sobre el eje Z



(a) Deslizamiento sobre el eje Z de la estructura con imán. (b) Desplazamiento sobre el eje Z de la estructura con imán . Fuente: Los Autores

Lo que corresponde al desplazamiento máximo producidos en las estructuras tanto con imán permanente como con electroimán, se puede observar que son muy pequeños, no llegando a superar un milímetro, en el caso de la estructura de imán permanente, y en el caso del electroimán no se llegan a alcanzar ni los 0.1 milímetros.

• Deslizamiento en X.

# Figura 42

Representación gráfica de los deslizamientos sobre el eje X



(a) Deslizamiento sobre el eje X de la estructura con imán. (b) Desplazamiento sobre el eje X de la estructura con imán. Fuente: Los Autores

A diferencia de la simulación correspondiente al deslizamiento sobre el eje Z, en este caso se tienen deslizamientos un poco mayores, llegando al caso de la estructura con imán permanente un máximo de 1.97 milímetros, y en el caso de electroimán de 0.005 milímetros, si bien estas medidas son un poco mayores, se encuentran dentro del rango recomendado de 1/360 de la longitud del claro.

# CAPÍTULO V: DISEÑO DE SISTEMA ELÉCTRICO DE CONTROL Y ADQUISISIÓN DE DATOS

# 5.1. Sistema eléctrico de separación con imán permanente.

El diagrama de funcionamiento, que se muestra en la Figura 33, hace referencia al sistema de separación con imán permanente, el cual cuenta con dos recolectores, uno a su derecha y otro su izquierda. Cuando un recolector obtenga un máximo de 60kg, el motor de la banda transportadora del sistema de separación ferromagnético se detiene y realiza la inversión de giro, depositando así los residuos en el recolector en stand by.

## Figura 43

Diagrama de flujo del proceso y diagrama de fuerza del sistema de separación con imán permanente



a) Diagrama de flujo del proceso del separador magnético con imán permanente. b) Diagrama de fuerza del sistema de separación magnético con imán permanente. Fuente: Los Autores

La plataforma AIN60 emite la condición para la inversión o paro del motor. La masa límite es de 60 kg incluida la masa del recipiente. Se escoge este rango de masa debido a la manipulación de cargas que puede realizar un operario.

El diseño del sistema consiste en accionar e invertir el sentido de giro de un motor trifásico, la lógica desarrollada se implementará a través de cada uno de los contactores que se encuentran en el circuito de fuerza, en adición a dichos elementos cabe mencionar que existen otros cuya función consiste en brindarle protección al sistema. La primera protección es el interruptor magnetotérmico o guardamotor que protege al sistema ante sobrecargas, cortocircuitos o fallos en la fase, mientras que la segunda protección es el relé diferencial que, además de proteger los equipos, también brindan protección a las personas en caso de que exista un contacto con partes activas de la instalación.

Lo que corresponde a los componentes eléctricos que se encuentran dentro del circuito de fuerza, estos son enumerados en la Tabla 25:

### Tabla 31

Componentes del circuito de fuerza del sistema de separación con imán permanente.

<b>Componentes eléctricos</b>
Protector magnetotérmico (guarda motor)
Relé diferencial
Contactores
Motor trifásico (380 V)
Cables eléctrico flexible

Fuente: Los Autores

### 5.2. Sistema eléctrico de separación con electroimán

A continuación, se describe el diagrama de funcionamiento del separador con electroimán

Diagrama de flujo del proceso y diagrama de fuerza del sistema de separación con electroimán



a) Diagrama de flujo del proceso del separador magnético con imán permanente. b) Diagrama de fuerza del sistema de separación magnético con electroimán. Fuente: Los Autores.

Este sistema no cuenta con inversión de giro. La razón a la decisión tomada en el levantamiento de datos por falta de espacio, siendo posible únicamente contar con un recolector. El sistema inicia su operación, posterior el recolector obtiene 60kg de carga y el motor del sistema de separación se detiene y acumula los residuos en la superficie del electroimán mientras que el recolector es vaciado, luego de esto el sistema nuevamente es puesto en marcha. Al momento de introducir este tipo de separación de residuos es necesaria una capacitación con el personal acerca de la interacción de este sistema dentro del espacio de trabajo.

## Tabla 32

Componentes del circuito de fuerza del sistema de separación con electroimán

Componentes eléctricos Protector magnetotérmico (guarda motor) Relé diferencial Contactores Motor trifásico (380 V) Cables eléctrico flexible

Fuente: Los Autores.

Se describe las conexiones y accionamientos que ejecuta el sistema el cual funciona con un suministro trifásico para el sistema de separación magnética con imán permanente y electroimán. A continuación, se mencionan las señales de entrada dentro de la programación en Tía Portal V16.

# Tabla 33

### Señales de entrada al controlador

Nombre de la señal	Identificador en el PLC	Tipo de señal
Sensor de carga recolector 1	IW256	4-20mA
Sensor de carga recolector 2	IW96	4-20mA
Sensor de carga recolector 3	IW98	4-20mA
TABLERO CENTRAL – SEP	ARADOR IMÁN PERMANENT	TE Y SEPARADOR CON
	ELECTROIMÁN	
Arranque motor MS1	I0.0	Bool
Arranque motor MS2	I0.3	Bool
Stop	I0.1	Bool
MANDO ÁREA D	E SEPARADOR CON IMÁN PE	CRMANENTE
Arranque motor MS1	I0.2	Bool
Stop	I0.1	Bool

MANDO ÁREA	SEPARADOR CON ELE	CTROIMÁN
Arranque motor MS2	I0.4	Bool
Stop	I0.1	Bool

Fuente: Los Autores.

En la tabla 34 se describen las señales de salida que se desea obtener para el funcionamiento del sistema de separación magnético.

## Tabla 34

Señales de salida del PLC

# TABLERO CENTRAL – SEPARADOR IMÁN PERMANENTE Y SEPARADOR CON ELECTROIMÁN

Nombre de la señal	Identificador en el PLC	Tipo de señal		
Arranque motor electroimán	Q0.0	Bool		
Giro horario motor imán	00.1	Bool		
permanente	Q0.1	BOOI		
Giro antihorario motor imán	O0.2	Bool		
permanente	Q0.2	Door		
	TABLERO ELECTROIMÁN			
Arranque motor electroimán	00.3	Bool		
(MS2)	20.5	Door		
TA	BLERO IMÁN PERMANENTE			
Giro horario motor imán	00.4	Bool		
permanente	Q0.7	Door		
Giro antihorario motor imán	00.5	Bool		
permanente	×0.0	2001		

Fuente: Los Autores.

Programación en Tía Portal V14 para el funcionamiento del sistema de separación ferromagnético.

20	Siemens - C:\Users\Fanny Villamagua\OneDrive - Un	iversidad Politecnica Salesiana\Escrite	orio\Separador Magnético\Separador	Magnético			_ • ×
Pr	roject Edit View Insert Online Options Tools	Window Help 😼 🖏 🔃 🗊 🚆 🔛 💋 Go onlii	ne 🖉 Go offline 🛔 🌆 🖪 🔽	Search in project		Totally Integrated Autom	nation PORTAL
	Project tree	Separador Magnético + PLC_1 [C	CPU 1214C AC/DC/Rly] > Program b	locks → Main [OB1]	_ # <b>=</b> ×	Instructions	
	Devices					Options	
	19 E	⇒ ⇒ = = = = = =		월 6월 5월 6월 1일 1일 6월	3	iiii *	
		Main			-	> Favorites	
i.	Separador Magnético	Name	Data type Default value	Comment		M Pasis instructions	10
E.	Add new device	1 🚾 🕶 Input			^	· Dasic instructions	2
b.	Devices & networks	2 🚭 🔹 Initial_Call	Bool	Initial call of this OB	=	Name Barn	Des
ă.	PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly]	3 🚭 🔹 Remanence	Bool	=True, if remanent data are available		E CEIL	Ge ^ 😼
Ľ	Device configuration	4 🕣 🔻 Temp			~	E TUNC	Ge
	Q Online & diagnostics					ET SCALE Y	Scale = St
	Program blocks					E NORLE_X	Ner
	Add new block	▼ Block title: "Main Program Sweep	o (Cycle)*		^		NOT
	🖀 Main [OB1]	Comment			-	Control operati	, Ť
	<ul> <li>System blocks</li> </ul>				-	A Extended instructions	- I
	Technology objects	<ul> <li>Network 1:</li> </ul>				Cxtended Instructions	sks
	External source files	ELECTROIMAN				Name	Des
	PLC tags					Date and time-of-day	^ <b>U</b>
	PLC data types	%0.0 %0.1	%M0.3	%M0.0		Distributed I/O	= =
	Watch and force tables	"START" "STOP"	-Tag_4-	KET			Tar
	Online backups		V	()		Intermeter	ries
	Traces					Alermine	~
	OPC UA communication	%0.2				C II	2 .
	Device proxy data	"START				¥ Technology	Ad
	Program info	ELECTROTIVEN"				• recimology	Deneri E
	PLC alarm text lists					Name Counting	Desch 0
	Local modules					Counting	
	Ungrouped devices	%M0.0				Ho Control	_
	V Details view	NET .					_
						· Survivos	_
		1					_
	la dana	2		\$ 100%	·		_
	name Address		10				
		Main [OB1]		Properties Info 🔒 🖞 Diagnostics	Plug-ins		
		General Texts				< 11	>
		General			~	> Communication	_
		Information V	General		~	> Optional packages	
	Portal view     PLC_1	- Main (OB1)			🔜 🖌 The proj	ect Separador Magnético was s	
		=				greaco mas s	

Fuente: Los Autores.

Respecto a la ubicación final, en la Figura muestra la zona resaltada en amarillo la cual indica la posición de cada recolector. El recuadro con línea segmentada en rojo indica la ubicación del sistema de separación con imán permanente y el puesto de mando para el mismo, mientras que el recuadro azul indica la ubicación del sistema con electroimán con su respectiva botonera.

Ubicación del sistema dentro del CT2



Fuente: Los Autores.

# Tabla 35

Representación de simbología de áreas

	Separador con	imán permanente
Ítem	Símbología	Descripción
1	<b>h-9</b>	Tablero de mando 1
2		Separador con imán
2		permanente
3		Recolector 1
4		Recolector 2

	Separador con electroimán									
5		Recolector 3								
6		Separador con electroimán								
7	-9	Tablero de mando 2								

Fuente: Los Autores.

# ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Se disminuye las probabilidades de derrame de aceite proveniente del sistema de lubricación de la trituradora cónica que contamina el mineral de mina lo cual representa un aislamiento del mineral ante la técnica metalúrgica, lo que provoca pérdidas de producción, contaminación y aumento de relave.
- 2. Dentro de lo que concierne al diseño mecánico se evalúan las cargas estáticas y dinámicas que se presentan en este sistema. Se toma en cuenta condiciones presentes como la tracción de la banda transportadora del sistema de separación, así mismo las masas y factores de seguridad, esto con la finalidad de asegurar el funcionamiento del sistema en caso de aumento de presencia de residuos ferromagnéticos. Acorde a estas estimaciones se seleccionan los materiales y actuadores. En el caso del sistema de separación con imán permanente se necesita un motor de potencia 1.5kW; para el sistema de separación con imán electroimán se requiere un motor de 5.5 kW, la diferencia de potencias entre cada sistema se debe a que al momento de que un objeto ferroso sea atraído por el campo magnético, el sistema tenga la potencia suficiente para movilizar hacia un extremo la banda y la pieza que es atraída por el campo magnético.
- 3. El sistema de recolección ha sido diseñado basándose desde la manipulación adecuada de cargas, se consideró incorporar una plataforma para limitar la masa que el operario debe manipular. Se realizó una programación tipo escalera donde se toma en cuenta las tres plataformas, temporizadores y motores. Se establecen variables diferentes debido a los 3 tableros de mando que se requieren y se ubican en diferentes puntos, tal como se observa en la Figura 35. Se recalca que la inversión de giro aplica únicamente para el separador con imán permanente, esto debido al espacio disponible
- 4. Lo que corresponde al diseño de la estructura de soporte tanto para el electroimán como el imán permanente se establece el perfil UPN ya que estas son con las que la empresa trabaja,

de tal manera la simulación permite demostrar que efectivamente estos perfiles son capaces de soportar tanto las cargas dinámicas y estáticas que los separadores producen específicamente en el momento de arranque de los motores.

5. Mejora del sistema de salud y seguridad ocupacional de la empresa, evitando maniobras que pueden afectar la integridad los operarios, como el caso de improvisar con objetos para obtener la altura necesaria para la limpieza del actual procedimiento de separación de residuos. De igual forma se evita que el personal manipule cargas superiores a las establecidas.

# **CONCLUSIÓNES Y RECOMENDACIONES**

Con la recopilación de datos se confirma la necesidad de un diseño de separación de residuos ferromagnéticos con autolimpieza y con manipulación de cargas limitada para los operarios. Se verifica que al día se recolecta aproximadamente 5kg de residuos ferromagnéticos y 4.88kg no eran separados por el imán permanente. Esta última cantidad mencionada se recolectó por parte de los autores de este documento durante el trabajo de campo de forma manual y dedicando horas de observación, con lo cual se corroboró la necesidad de un separador adicional para cubrir con este restante. Las bolas de acero de 3" y 4" también fueron consideradas para el sistema con electroimán sumado a la masa restante que no es separada con el sistema actual.

Se determinan los parámetros para la propuesta de diseño y selección de elementos para suplir los requerimientos de la empresa. se plantea dos sistemas de separación magnético, siendo el primer sistema un separador con imán permanente antes del tamizado y el segundo sistema con electroimán en el trayecto donde el mineral de mina se dirige hacia la trituradora cónica. Es importante mencionar que este proyecto ha tomado en cuenta al área de seguridad y salud ocupacional para el dimensionamiento, ubicación, manipulación de cargas y futura implementación del sistema.

Para asegurar que el diseño de los separadores magnéticos cubra con las necesidades establecidas y verificadas por la empresa, fue necesario basarse en estándares internacionales para el diseño y selección adecuada de las bandas transportadoras, sin embargo, al no existir estándares específicos para bandas trabajando exclusivamente para separadores magnéticos suspendidos, fue necesario realizar un análisis matemático desde cero y corroborar lo hallado con la cotización obtenida de la empresa FELEMAMG, la cual los valores hallados de tracción de la banda y de motor concuerdan, por lo que se puede decir que el diseño se lo ha realizado adecuadamente.

Al lograr visualizar el sistema de separación magnético y que este abarca las variables más importantes del proceso se deduce que el trabajo cubre la necesidad y aporta al proceso dentro de la Planta de Beneficio.

Finalmente se sugiere en caso de implementación, realizar una capacitación con el personal acerca de la interacción de este sistema dentro del espacio de trabajo con el fin de habituarse y crear una rutina de trabajo.

# **BIBLIOGRAFÍA**

Aguado, H. (18 de Septiembre de 2020). Jefe de planta. ss: ss.

Álvarez, M. (2012). *Electroimanes*. Alicante: Editorial club Universitario.

- APLICASA. (2019). Interempresas Media. (Grupo Nova Ágora) Recuperado el 13 de Mayo de 2021, de https://www.interempresas.net/MetalMecanica/FeriaVirtual/Producto-Bandas-transportadoras-de-PVC-PU-PTFE-y-silicona-Aplicasa-95614.html
- Banco Central del Ecuador. (Julio de 2016). *contenido.bce.fin.ec*. Recuperado el 16 de Septiembre de 2020, de https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/ReporteMinero07 2016.pdf
- Barrera, M., Correa, J., Echeverry, S., Martínez, J., & Parra, R. (2019). Banda transportadora con electroimán. *Encuentro de Investigación Formativa - Memorias VII versión*. Palmira.
- Blanco, E. (2017). *ocw.unican.es*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2020, de https://ocw.unican.es/pluginfile.php/693/course/section/703/7.\_trituracion.pdf
- Blanco, E. A. (s.f.). *Universidad de Cantabria*. Recuperado el Noviembre de 2020, de https://ocw.unican.es/pluginfile.php/693/course/section/703/7.\_trituracion.pdf
- Carrasco, N. (2017). Calculos y diseño para la fabricación de una hidro-zaranda para la recuperacion de finos en la mineria. Arequipa, Perú. Obtenido de http://bibliotecas.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/4620/MCcahunp.pdf?sequence =1&isAllowed=y
- Carrera, E., & Estrella, A. (2018). Diseño y construcción de un separador magnético para minerales. Cuenca.
- Chávez, A. (2017). *Repositorio.unac.edu.pe*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2020, de http://repositorio.unac.edu.pe/handle/UNAC/2695
- *Controlminero.gob.ec.* (s.f.). Recuperado el 16 de Septiembre de 2020, de http://www.controlminero.gob.ec/el-sector-minero-es-el-futuro-del-desarrollo-economico-para-el-pais/

- *Ebook Central.* (s.f.). Recuperado el Diciembre de 2020, de https://bibliotecas.ups.edu.ec:2708/lib/upsal/reader.action?docID=3227507&ppg=1#
- Edebé, B. (2011). *Tecnología 2.1 MAQUINAS ELÉCTRICAS*. Barcelona: Ediciones Don Bosco.
- ELAND CABLES. (2021). *ELAND CABLES*. Recuperado el 04 de 2021, de https://www.elandcables.com/the-cable-lab/faqs/faq-what-is-the-conversion-between-awg-and-the-metric-system
- Eriez. (s.f.). Direct Industry. Recuperado el Diciembre de 2020, de https://pdf.directindustry.com/pdf/eriez-magnetics-europe-limited/suspendedoverband-magnets/7282-763778-\_2.html
- ERIEZ. (s.f.). *Direct Industry*. Recuperado el Diciembre de 2020, de https://pdf.directindustry.es/pdf/eriez-magnetics-europe-limited/electroimanessuspendidos/7282-199069.html
- ERIEZ. (s.f.). *Eriez.* Recuperado el 12 de 2020, de https://www.eriez.mx/wpcontent/uploads/2015/02/suspendedpermanent.pdf
- ERIEZ. (s.f.). *https://www.eriez.mx*. Recuperado el Diciembre de 2020, de https://www.eriez.mx/wp-content/uploads/2015/02/electroimanes-suspendidos-autolimpieza.pdf
- ERIEZ, M. (s.f.). Instalación, operación y mantenimiento. USA.
- Felemang. (2021). Separadores Electromagnéticos . Asturias.
- *Finanzas.gob.ec.* (s.f.). Recuperado el 14 de Septiembre de 2020, de https://www.finanzas.gob.ec/usd-3-800-millones-de-inversion-minera-hasta-2021-daran-mas-prosperidad-al-ecuador/
- IBERCASSEL SL. (s.f.). Ibercasses Equipos de inspección industriales. Recuperado el Noviembre de 2020, de https://www.ibercassel.com/wpcontent/uploads/2019/05/Productos-Imanes-industriales.pdf
- Ingeniería, F. d. (s.f.). *UBA Facultad de Ingeniería*. Recuperado el Diciembre de 2020, de http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/07\_Apunte%20Separaciones.pdf
- J., C. S. (2012). Máquinas Eléctricas. Mc Graw Hill.

Laumas. (s.f.). Laumas. Recuperado el Enero de 2021, de www.laumas.com

- LAUMAS. (s.f.). *Laumas*. Recuperado el Enero de 2021, de https://www.laumas.com/es/producto/ain-plataformas-de-pesaje-monocelula-inox/
- Libardo, V. (s.f.). *Universidad Tecnológica de Pereira*. Recuperado el Febrero de 2021, de https://blog.utp.edu.co/lvanegas/files/2016/08/Tablas.pdf
- Manuel, L. E. (2015). *http://repositorio.ug.edu.ec/*. Recuperado el 23 de Agosto de 2020, de http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/20977/1/TESIS%20LABANDA%20COR REGIDA.pdf
- Martinez, C. (2018). *Diseño y desarrollo de una cinta para transporte de áridos*. Castellón de la Plana: Universidad Jaime I.
- Mineria Pan-Americana. (20 de Enero de 2012). *Eficiencia en separacion de metales*. Obtenido de https://www.mineria-pa.com/productos-y-tecnologia/eficiencia-en-separacion-de-metales/
- *Ministerio de gobierno*. (s.f.). Recuperado el Febrero de 2021, de https://www.gob.ec/regulaciones/decreto-ejecutivo-2393
- Ministerio del Trabajo, E. (s.f.). *Ministerio del Trabajo*. Recuperado el Febrero de 2021, de https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/12/Reglamento-de-Seguridad-y-Salud-de-los-Trabajadores-y-Mejoramiento-del-Medio-Ambiente-de-Trabajo-Decreto-Ejecutivo-2393.pdf
- Molina, C. R. (2012). Motores y máquinas eléctricas. Barcelona: MARCOMBO S.A.
- Morales, C. (s.f.). *Universidad de Piura*. Recuperado el Abril de 2021, de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4494/IME\_2006.pdf?sequence=1& isAllowed=y
- Muñoz, C., & Lagos, P. (2013). *Diseño cinta transportadora intralox para pesquería Bahía Caldera S.A.* Concepción: Universidad del BIO-BIO.
- Normung, D. I. (Abril de 1991). Alemania Patente nº DIN 22102.
- Puerto Femos. (2020). *femos.com.ar*. (Inter-Neg) Recuperado el 16 de Mayo de 2021, de http://www.femos.com.ar/sitio/subidas/files/femos/10\_Bandas%20Transportadores% 20Serie%20Pesada/Bandas%20Transportadores%20Serie%20Pesada.pdf

Revistaslideres.ec. (s.f.). *En ecuadro la minería sigue en etapa artesanal*. Recuperado el 2 de Diciembre de 2020, de https://www.revistalideres.ec/lideres/ecuador-mineria-sigue-etapa-

artesanal.html#:~:text=La%20minería%20en%20el%20Ecuador,político%20promulg ado%20por%20el%20Gobierno.&text=Según%20datos%20de%20la%20Agencia,160 %20millones%20en%20el%202012.

- Rotranssa. (2021). *rotranssa.com*. (AtinaMedia) Recuperado el 15 de Mayo de 2021, de https://rotranssa.com/tambores-y-poleas/cabeza-o-traccion
- Salinero, M. (2013). *Diseño de una banda transportadora mediante GUIDE de MATLAB*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
- Santamaría, C. (2017). Diseño de un equipo de separación magnética por vía húmeda para el enrequecimiento de mineral de hierro. Boyacá.
- SIEMENS. (2018). Simatic S7 Controlador programable S7-1200 Manual del sistema. Recuperado el Enero de 2020, de https://support.industry.siemens.com/cs/document/109483435/simatic-s7-1200-sm-1238-energy-meter-480vac-(6es7238-5xa32-0xb0)?dti=0&lc=en-WW
- Simotics. (s.f.). *Motores Siemens*. Recuperado el 15 de Mayo de 2021, de https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:782b04d0-82f4-488a-936b-514cd8bb5d5f/version:1580149154/arteimpresioncatalogosimotics.pdf
- Theodore, W. (2007). Máquinas eléctricas y sistemas de potencia. México: PEARSON EDUCATION.
- Universidad Nacional del Sur, D. d. (s.f.). *Universidad Nacional del Sur*. Recuperado el Diciembre de 2020, de http://www.criba.edu.ar/cinetica/solidos/Capitulo11.pdf
- Vicioli, R. (mayo de 2019). Obtenido de http://www.frm.utn.edu.ar/

Villamagua, F. (2020). Actualización de informacion - Planta de Beneficio. Portovelo.

WILSON, J., BUFA, A. J., & LOU, B. (2007). Física. PEARSON EDUCATION.

YOUNG, H. D. (2009). Física universitaria, con física moderna volumen 2. PEARSON EDUCACIÓN.

ANEXO 1. Características de las bandas desarrolladas por la empresa Dunlop.

	Belt type (mm)	Carcase thickness (kg/m <sup>2</sup> )	Carcase weight	Su	Belt mofca	t Weigh rrying ar (mm)	t m' <sub>G</sub> (k nd pulle	(g/m <sup>2</sup> ) y side c	overs	12
				2	4	2	0	•	10	12
SUPERFORT Belts	S 200/3	2.7	3.1	6.6	7.7	8.9	10.0	12.3	14.6	16.9
	5 250/3 5 315/3	2.8	3.2	6.9	7.8	9.0	10.1	12.4	14.7	17.0
	S 315/4	3.7	4.3	7.8	8.9	10.1	11.2	13.5	15.8	18.1
	S 400/3	3.2	3.7	7.2	8.3	9.5	10.6	12.9	15.2	17.5
	5 400/4	4.1	4.6	8.1	9.2	10.4	11.5	13.8	16.1	18.4
	S 500/3	4.3	5.0	8.5	9.6	10.8	11.9	14.2	16.5	18.8
	S 630/3	3.9	4.3	7.8	8.9	10.1	11.2	13.5	15.8	18.1
	S 630/4	4.8	5.3	8.8	9.9	11.1	12.2	14.5	16.8	19.1
	5 800/3	4.5	5.0	9.7	9.6	10.8	11.9	14.2	16.5	18.8
	5 800/4	5.2	5.8	9.3	10.4	11.6	12.7	15.0	17.3	19.6
	S 800/5	6.0	6.7	10.2	11.3	12.5	13.6	15.9	18.2	20.5
	S 1000/4	6.1	6.8	10.3	11.4	12.6	13.7	16.0	18.3	20.6
	S 1000/S	7.3	8.1	11.6	12.7	13.9	15.0	17.3	19.6	21.1
	S 1250/4	7.2	8.3	11.8	12.9	14.1	15.2	17.5	19.8	22.1
	S 1250/5	7.6	8.6	12.1	13.2	14.4	15.5	17.8	20.1	22.4
	S 1250/6 S 1600/4	7.8	8.8	12.3	13.4	14.6	15.7	18.0	20.3	22.6
	S 1600/5	9.1	10.5	14.0	15.1	16.3	17.4	19.7	22.0	24.3
	S 1600/6	9.2	10.4	13.9	15.0	16.2	17.3	19.6	21.9	24.2
	S 2000/S	11.0	11.9	15.4	16.5	17.7	18.8	21.1	23.4	25.7
	S 2500/6	13.4	14.4	17.9	19.0	20.2	21.3	23.6	24.2	28.2
STARFLEX belts	SF 250/2 SF 315/2 SF 400/3	1.5 1.9 2.5	1.8 1.9 2.9	5.3 5.4 6.4	6.4 6.5 7.5	7.6 7.7 8.7	8.7 8.8 9.8	11.0 11.1 12.1	13.3 13.4 14.4	15.6 15.7 16.7
	SF 500/3	3.0	3.2	6.7	7.8	9.0	10.1	12.4	14.7	17.0
	SE 630/4	3.5	4.0	7.5	9.0	9.8	10.9	13.2	15.5	17.8
	SF 800/4	4.6	5.4	8.9	10.0	11.2	12.3	14.6	16.9	19.2
	SF 1000/4	5.3	6.1	9.6	10.7	11.9	13.0	15.3	17.6	19.9
DUNLOFLEX belts	D 160	2.3	2.7	6.2	7.3	8.5	9.6	11.9	14.2	16.5
	D 250	3.0	3.6	7.1	8.2	9.4	10.5	12.8	15.1	17.4
	D 315	3.2	3.7	7.2	8.3	9.5	10.6	12.9	15.2	17.5
	D 400 D 500	3.7	4.3	7.8	93	10.1	11.2	13.5	15.8	18.1
	D 630	4.5	5.0	8.5	9.6	10.8	11.9	14.2	16.5	18.8
	D 800	4.8	5.5	9.0	10.1	11.3	12.4	14.7	17.0	19.3
TRIOFLEX belts	T 315	4.0	4.8	8.3	9.4	10.6	11.7	14.0	16.3	18.6
	T 500	4.4	5.3	9.0	9.9	11.1	12.2	14.5	10.8	19.1
	T 630	5.5	6.5	10.0	11.1	12.3	13.4	15.7	18.0	20.3
	T 800	6.0	7.2	10.7	11.8	13.0	14.1	16.4	18.7	21.0
	T 1000 T 1250	6.5 7.2	7.8 8.1	11.3	12.4 12.7	13.6 13.9	14.7 15.0	17.0 17.3	19.3 19.6	21.6 21.9
	F 500	3.2	5.9	9.4	10.5	11.7	12.8	15.1	17.4	19.7
FERROFLEX belts	F 630	3.2	6.4	9.9	11.0	12.2	13.3	15.6	17.9	20.2
	F 800	4.5	8.9	12.4	13.5	14.7	15.8	18.1	20.4	22.7
	F 1000 F 1250	4.5	9.8	13.3	14.4	15.6	16.7	19.0 21.7	21.3	23.6
	F 1600	6.0	14.1	17.6	18.7	19.9	21.0	23.3	25.6	27.9

ANEXO 2. Características de plancha de acero negro para carcasa del electroimán.

# PLANCHAS LAMINADAS AL CALIENTE

### **Especificaciones Generales:**

Norma:	NTE INEN 115
Espesores:	ASTM A36 - SAE J 403 1008
Espesores:	2mm a 12mm
Rollos:	Ancho 1000, 1220, 1500mm
Planchas:	4 x 8 pies y medidas especiales
Acabado:	Acero Negro



Calidad	Composición Química							Prop	iedades Mecán	cas	
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%AL	%CU	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento %	Doblado 180º	Norma Equivalente
JIS G3131 SPHC	0,08 0,13	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,05 max	0,02 0,08	0,2 max	270 min	29 min	0= Oe	SAE 1010 ASTM A-569
SAE 1008	0,03 0,1	0,25 0,5	0,02 max	0,025 max	0,04 max	0,02 0,08	0,2 max				JIS G3132 SPHT1
SAE 1012	0,1 0,15	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,03 max	0,02 0,08	0,2 max				ASTM A-63 ASTM A-570 GRADO 33

### Calidad Estructural

Norma			Co	mposicić	on Quír	nica		Propiedades Mecánicas				
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%CU	OTROS	Fluencia (Mpa)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alarga- miento %	Doblado 180°	Norma Equivalente
ASTM A-588M Grado A	0,19 max	0,8 1,25	0,04 max	0,05 max	0,3 0,6	0,25 0,40	Ni 0,15-0, Cr 0,40-0 V 0,02-0	35 345 65 min 10	485 min	18 min		
ASTM A-283 Grado C	0,12 0,18	0,3 0,6	0,025 max	0,03 max	0,04 max	0,2 max		205 min	380 516 max	25 min	0=1,5e	SAE 1015
JIS G-3101 5541 M	0,17 0,23	0,3 0,6	0,025 max	0,025 max	0,04 max	0,25 max		250 min	400 min 550 max	21 min		SAE 1020 ASTM A-36 ASTM A-570 GRADO 36
A 36	0,25 0,29	0,80 1,2	0,04 max	0,05 max	0,4 max	0,20 max		250 min	400 min 550 max	20 min		
A570-GR50	0,25	1,35 max	0,035 max	0,04 max				340 min	450 min 550 max	17 min	1-1/2e	

FERFIL				-									
UPN													
Espe	cifica	cione	s Ger	nerale	s		0						_
Norma:		RTE IN	VEN 018										
Calidad:		ASTM /AST/	A36 / E	:NS 235 J GR 50 /	R / EN10 ENS 355	025 J2							-
Largo Norm	al:	6.00r	mts y 12	2mts					-				
Acabado:		Ace	ro negr	ro									
										-			
	R	R Nor	Patin Ala Espesor	<	1			ROPIEDA	NDES	ME	CÂNICA	3	
		Nor Add a date	Patin Ala Radio Gi Radio Gi	Alma Ala ro Alma iro Ala		RESIS	P			ME	CÁNICA	S O FLUEN	
	R	NO ABLOR	Patin Repesor Espesor Espesor Espesor Espesor Espesor	< atura Alma ro Alma irro Ala	]	RESIS	P	ROPIEDA MECÁNIC Mpa	ADES	S ME	CÁNICA PUNTO g/mm <sup>2</sup>	S PFLUEN M	
	R	No La La R	mencli Patin Ala Espesor Espesor Espesor Espesor Espesor Espesor Espesor	Alma Alma Ala irro Alma irro Ala	]	RESIS Kg/m 37 -	P STENCIA mm <sup>2</sup> 52	ROPIEDA MECÁNIC Mpa 370 - 52	ADES	B ME	CÁNICA PUNTO g/mm <sup>2</sup> 24	S FLUEN M 2:	ICIA Ipa 35
	R		mencle Patin Als Espesor Espes	Alma Ala Ala SIONI	] ES	RESIS Kg/m 37 -	P STENCIA m <sup>2</sup> 52	ROPIEDA MECÁNIC Mpa 370 - 52	ADES A ROF	S ME	CÁNICA PUNTO g/mm <sup>2</sup> 24	S PFLUEN M 2:	ICIA Ipa 35
	h		mencle Patin Als Espesor Radio G a Radio G	Alma ro Alma ro Ala	ES	RESIS Kg/m 37 -	P STENCIA mm <sup>2</sup> 52	ROPIEDA MECÁNIC Mpa 370 - 52 P N PESOS		S ME	CÁNICA PUNTO g/mm <sup>2</sup> 24 ADES CIA (cm <sup>4</sup> )	S PFLUEN M 22 RESIBTE	ICIA Ipa 35
	h		Patin Ala Espesor Radio G Radio G	Alma Alma Ala irro Alla SIONI e mm	=S R mm	RESIS Kg/m 37 - R1 cm <sup>4</sup>	P STENCIA nm <sup>2</sup> 52	ROPIEDA MECÁNIC Mpa 370 - 52 PESOS kg/mts	ADES A ROF	S ME	CÁNICA PUNTO g/mm <sup>2</sup> 24 ADES CIA (cm <sup>4</sup> ) Eje y-y	S P FLUEN M 2: RESISTE: Eje x-x	ICIA Ipa 35
	h mm 80	R Nor E at d R R D b mm 45	Patin Ala Espesor Radio G Radio G	Alma Ala aro Ala SIONI e mm 8.00	ES R mm 8.00	RESIS Kg/m 37 - R1 cm <sup>4</sup> 4.00	P STENCIA STENCIA SECCIO CIT <sup>2</sup> 1.10	ROPIEDA MECÁNIC Mpa 370 - 52 P PESOS kg/mts 8.64	ADES A ROI Eje	S ME Ka NERO 9 x-x 5.00	CÁNICA PUNTO g/mm <sup>2</sup> 24 ADES CIA (cort) Eje y-y 19.40	S P FLUEN M 2: RESIBITE: Eje x-x 26.50	ICIA Ipa 35 NCIA (EJP ) 8.3
DENOMINACIÓN UPN 80 UPN 100	R R M M M 80 100	R Nor المعادة المع D b mm 45 50	Patin Ala Espesor Radio G Radio G	Alma Ala aro Ala SIONI e mm 8.00 8.50	ES R mm 8.00 8.50	RESIS Kg/m 37 - R1 cm <sup>4</sup> 4.00 4.50	P STENCIA STENCIA SECCIO CIT <sup>2</sup> 1.10 13.50	ROPIEDA MECÁNIC Mpa 370 - 52 P PESOS kg/mts 8.64 10.60	ADES A 0 ROF Eje	S ME Ke NERCO S NX 5.00 5.00	CÁNICA PUNTO g/mm <sup>2</sup> 24 ADES CIA (cort) Eje y-y 19.40 29.30	S FLUEN M 2: RESIBITE: Eje x-x 26.50 41.20	ICIA Ipa 35 ICIA (pa 35 ICIA (pa) (pa) (pa) (pa) (pa) (pa) (pa) (pa)
DENOMINACIÓN UPN 80 UPN 100 UPN 120	R R M M M 80 100 120	R Noi Ab t & R R D b mm 45 50 55	Patin Ala Espesor Radio G Radio G Radio G	Alma Alma ro Alma irro Ala SIONI e mm 8.00 8.50 9.00	55 R mm 8.00 8.50 9.00	RESIS Kg/m 37 - <b>R1</b> <b>cm</b> <sup>4</sup> 4.00 4.50 4.50	P STENCIA STENCIA SECCIÓ CM <sup>2</sup> 52 1.10 13.50 17.00	ROPIEDA MECÁNIC Mpa 370 - 52 P N PESOS kg/mts 8.64 10.60 13.40	ADES A 0 Eje 100 200 38-4	S ME S ME NERC S.00 5.00 4.00	CÁNICA PUNTO g/mm <sup>2</sup> 24 ADES CIA (cm <sup>4</sup> ) Eje y-y 19.40 29.30 43.20	S FLUEN M 2: RESIBITE: Eje x-x 26.50 41.20 60.70	ICIA Ipa 35 Eje 1 8.3 8.4 11.1
DENOMINACIÓN UPN 80 UPN 100 UPN 120 UPN 140	R R h mm 80 100 120 140	R No hatter R D b m 45 55 60	Patin Radio G Radio G Radio G Radio G Radio G C Radio G C Radio G C Radio G C Radio G	Alma Ala ro Alma irro Ala SIONI e mm 8.00 8.50 9.00 10.00	S R mm 8.00 8.50 9.00 10.00	RESIS Kg/m 37 - R1 cm <sup>4</sup> 4.00 4.50 4.50 5.00	P STENCIA mm <sup>2</sup> 52 1.10 13.50 17.00 20.40	ROPIEDA MECÁNIC Mpa 370 - 52 P N PESOS kg/mts 8.64 10.60 13.40 16.00	ADES A 0 Eje 100 364 605	S ME S ME NERC S.00 5.00 4.00 5.00	CÁNICA PUNTO g/mm <sup>2</sup> 24 ADES CIA (cm <sup>4</sup> ) Eje y-y 19.40 29.30 43.20 62.70	S FLUEN M 2: FLUEN M 2: 5: 1:20 60.70 86.40	ICIA Ipa 35 NCIA (E) 8.3 8.4 11.1 14.8
DENOMINACIÓN UPN 80 UPN 100 UPN 120 UPN 140 UPN 160	R R h mm 80 100 120 140 160	R Noi haster b mm 45 55 60 65	MEN t mm 6.00 7.00 7.50	Alma ro Alma ro Alma ro Ala SIONI e mm 8.00 8.50 9.00 10.00 10.50	S R mm 8.00 8.50 9.00 10.00 10.50	RESIS Kg/m 37 - R1 cm <sup>4</sup> 4.00 4.50 4.50 5.50	P STENCIA mm <sup>2</sup> 52 AREA SECCIO CM <sup>2</sup> 1.10 13.50 17.00 20.40 24.00	ROPIEDA MECÁNIC Mpa 370 - 52 PESOS kg/mts 8.64 10.60 13.40 16.00 13.40 16.00 18.80	ADES A 0 ROF 200 384 602 902	S ME S ME Ki DINERC S.00 S.00 S.00 S.00	CÁNICA PUNTO g/mm <sup>2</sup> 24 ADES CIA (cm <sup>4</sup> ) Eje y-y 19.40 29.30 43.20 62.70 85.30	RESISTER 26.50 41.20 60.70 86.40 116.00	ICIA ipa 35 KILA JE 6.3 8.4 11.1 14.8 18.3
DENOMINACIÓN UPN 80 UPN 100 UPN 120 UPN 140 UPN 160 UPN 180	R R M M M 80 100 120 140 160 180	R Nor has t & R b mm 45 55 60 65 70	MEN t mm f mm f f f f f f f f f f f f f f f	Alma ro Alma ro Alma ro Ala SIONI e mm 8.00 8.50 9.00 10.00 10.50 11.00	S R mm 8.00 8.50 9.00 10.00 10.50 11.00	RESIS Kg/m 37 - R1 cm <sup>4</sup> 4.00 4.50 4.50 5.50 5.50 5.50	P STENCIA mm <sup>2</sup> 52 AREA SECCIO CCM <sup>2</sup> 1.10 13.50 17.00 20.40 24.00 28.00	ROPIEDA MECÁNIC Mpa 370 - 52 P PESOS kg/mts 8.64 10.60 13.40 16.00 18.80 22.00	ADES A 100 364 602 902 1350	S ME	CÁNICA PUNTO g/mm <sup>2</sup> 24 ADES CIA (cm <sup>4</sup> ) Eje y-y 19.40 29.30 43.20 62.70 85.30 114.00	RESISTER 26.50 41.20 60.70 86.40 116.00 150.00	ICIA pa 35 NCIA (c) 6.3 6.3 8.4 11.1 14.8 18.3 22.4
DENOMINACIÓN UPN 80 UPN 100 UPN 120 UPN 160 UPN 180 UPN 180 UPN 200	R R M M M 80 100 120 140 160 180 200	R Nor has t & R has t & R has t & R	Mencle Patin Als Espesor Radio G Radio	Alma ro Alma ro Alma ro Ala ro Ala SIONI e mm 8.00 8.50 9.00 10.00 10.50 11.00 11.00	S R mm 8.00 8.50 9.00 10.00 10.00 10.00 11.00 11.00	RESIS Kg/m 37 - R1 cm <sup>4</sup> 4.00 4.50 4.50 5.50 5.50 6.00	P TENCIA mm <sup>2</sup> 52 1.10 13.50 17.00 20.40 24.00 28.00 32.20 28.00 32.20 28.00 32.20 28.00 32.20 28.00 32.20 28.00 32.20 28.00 32.20 28.00 32.20 28.00 32.20 28.00 32.20 28.00 32.20 28.00 32.20 32.00 32	ROPIEDA MECÁNIC Mpa 370 - 52 PESOS kg/mts 8.64 10.60 13.40 16.00 18.80 22.00 25.30	ADES A CO Ele 384 600 900 1350 1910	S MEC S MEC NINERC 9 x-x 8.00 4.00 5.00 5.00 0.00	CÁNICA PUNTO g/mm² 24 ADES CIA (cm²) Eje y-y 19,40 29,30 43,20 62,70 85,30 114,00 148,00	RESISTER Eje x-x 26.50 41.20 60.70 86.40 116.00 150.00 191.00	ICIA pa 35 Eje 1 6.3 4 11.1 14.8 18.3 22.4 27.0
DENOMINACIÓN UPN 80 UPN 120 UPN 120 UPN 140 UPN 180 UPN 200 UPN 220 UPN 220	R R M M 80 100 120 140 160 180 200 220 240	R Nor has to or a for a	mencle Patin Als Espesor Espes	Alma ro Alma ro Alma ro Alma ro Alma ro Ala SIONI e mm 8.00 8.50 9.00 10.00 10.50 11.00 11.50 12.50	S R mm 8.00 10.00 10.00 10.00 10.00 11.00 11.50 12.50	RESIS Kg/m 37 - R1 cm <sup>4</sup> 4.00 4.50 4.50 5.50 5.50 5.50 6.00 8.50 8.50	P AREA SECCIO CCM <sup>2</sup> 1.10 13.50 17.00 20.40 24.00 28.00 32.20 37.40 32.20 37.40	ROPIEDA MECÁNIC Mpa 370 - 52 PESOS kg/mts 8.64 10.60 13.40 16.00 18.80 22.00 25.30 29.40 9.20	ADES A B Elje 100 2090 1350 1910 2690 903	ME 5 ME 100 5.00 5.00 5.00 0.00 0.00 0.00 0.00	CÁNICA PUNTO g/mm <sup>2</sup> 24 ADES ClA (cm <sup>4</sup> ) Eje y-y 19.40 29.30 43.20 62.70 85.30 114.00 148.00 197.00 114.00	RESISTER Eje x-x 26.50 41.20 60.70 86.40 116.00 150.00 191.00 245.00	ICIA pa 35 NCIA (====================================

# **Beltsiflex**<sup>®</sup>



FICHA TECNICA / Technical Card BANDAS TEXTILES / TEXTIL COVEYOR BELT

1. DIMENSIONES / Dimensions

		Tolerance
ANCHO/ Width ( mm.)	600	±1%
ESPESOR / Thickness (mm.)	9	±1 thickness 4-10mm ±10% thickness >10mm
ESPESOR DE LAS COBERTURAS/ Thickness of sides.		4+2
LONGITUD / Lenght (m)	Requ	lest of the client

PESO / Weight (kg/m)	5,94
PESO / Weight (kg/m <sup>3</sup> )	9,90

#### 2. CARACTERISTICAS TECNICAS / Theonical quality caracteristic

TEST	UNIDADES / UNITS	ESPECIFICACIONES / SPECIFICATIONS
TIPO DE TEJIDO		EP125
NUMERO DE TEJIDOS / Insertion numbe	я	3
Tensile strenght (for 50 x 200 mm)		
longitudinal,	kgf, min	800
transversal,	kgf, min	350
ADHERENCIA / adhesion		
1.1.ENTRE TEJIDO Y GOMA DE ESPESORES / between ply - rubber sheet with thickness		
a) ENTRE 0,8 - 1,5 MM / between 0,8 - 1,5 mm	daN/cm	3,5
b) MAS DE 1,5 MM. / over 1,5 mm	daN/cm	4,5
1.2. ENTRE TEJIDO Y TEJIDO / between ply-ply	daN/cm	5.0
1.3. ENTRE TEJIDO Y COBERTURA / between ply-rubber	daN/cm	4.5

......

#### 3. PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL CAUCHO / Physical and mecanical properties of rubber mixture

TEST	UNIDADES / UNITS	ESPECIFICACIONES / SPECIFICATIONS
		Grado Y
1. RESISTENCIA A LA ROTURA / tensile strength	Min, MPA (N/mm <sup>2</sup> )	20
2. RESISTENCIA AL ALARGAMIENTO / Elongation at break	%	400
3. ABRASION / Abrasion	Max, mm <sup>a</sup>	150
4. ENVEJECIMIENTO A 70°C DURAN	VTE 168 h. / Air agei	ng resistance in temp. 70°C after 168 h.
4.1. DISMINUCION EN LA RESISTENCIA A LA ROTURA / Decrease in tensile strenght.	%	±25
4.2. DISMINUCION RESISTENCIA AL ALARGAMIENTO. / Decrease of elongation break	% max,	25
4. ENVEJECIMIENTO A 160°C DURA	NTE 168 h. / Air ag	eing resistance in temp. 160°C after 168 h.
4.1. DISMINUCION EN LA RESISTENCIA A LA ROTURA / Decrease in tensile strenght.	%	-
4.2. DISMINUCION RESISTENCIA AL ALARGAMIENTO. / Decrease of elongation break	% max,	-
4.3. INCREMENTO EN DUREZA / Hardness increase.	° Sh A, max.	-

#### 4. PROPERTIES: ISO DIN 22102/1/91

#### 5. PRODUCTO/ PRODUCT: BANDA TRANSPORTADORA / CONVEYOR BELT 6. GENERALIDADES / GENERALITIES

ASPECTO / Aspect : Marks or irregulaties on the surface are allowed if they would not material. materially affect the performance of the compound.

MEDIO AMBIENTE/ Environmental Data: Rubber mixture is not dangerous for people and environment.

# FELEMAMG

magnetismo

#### I - DATOS DEL TRANSPORTADOR

Dadas las siguientes especificaciones del transporte:

- Material: Piedra de cuarzo.
- Granulometría: 20-60mm.
- Caudal: 13'39 t/h
- Densidad: 2'65 t/m<sup>3</sup>
- Ancho de banda: 600mm
- Artesa: 19'74°
- Velocidad de la banda: 0'53m/s
- · Colocación del separador: transversal a la banda

## II - PROPUESTA TÉCNICA

Les proponemos la instalación de un separador electromagnético FELEMAMG tipo SF2-80-RC/80, transversal a la banda de circulación del material, a una altura recomendada de 170mm, según hoja informativa H17-34.

Junto a dicho separador también les cotizamos su correspondiente equipo eléctrico de alimentación, control y protección tipo RC-3.

Como posible variante, les cotizamos el mismo separador, pero sin limpieza automática, es decir, sólo el electroimán, tipo SF2-80-RS/80.

Junto a dicho separador, también les cotizamos su correspondiente equipo eléctrico tipo RS-3.

FABRICA – Dpto. TÉCNICO-VENTAS C/ Agricultura 15, - Pol Bankunión 2 3211 GIJÓN (ASTURIAS) – E Teléfono +34 985 324 408 Fax +34 985 324 226 E-mail: felemang@felemang.com



ADMINISTRACIÓN C/ Demetria Suárez 20 31401 AVILÉS(ASTURIAS) - E Teléfono +34 985 561 918 Fax +34 985 520 437 E-mail: administracion@felemamg.con

FELEMANCE SL. se Reapposable dal tratamiento de confermidad com el GOMY y la LOMD com la finalada de mandane una inteción comencial y conservativa misistes estates un intervis motos pare dals. Na es comenciando in debra a terrorar. Practa ginario de escolarizan de escolarización, particularia, apresalor, timbación y sposición es AVDA. AGRECULTURA 15, POL BANKUNION 3-321 11GLION (ASTL/BAR), E-mail: Intervientado:





### **OFERTA Nº 221359**

#### III - DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

- A) Separador electromagnético FELEMAMG de limpieza automática tipo SF2-80-RC/80, con las siguientes características técnicas:
  - Campo magnético 400 Gauss a: 330mm (tras 8h. de funcionamiento contínuo).
  - Longitud circuito magnético: 800mm.
  - Ancho circuito magnético: 770mm.
  - Dimensiones del separador: según plano adjunto Nº 3064V0340.
  - Refrigeración electroimán: Natural
  - Consumo electroimán a 0º C: 2'9kw
  - Ancho banda limpieza: 800mm.
  - Banda de goma cerrada y con nervios transversales.
  - Motor banda: 2Kw, IP-55.
  - Velocidad banda: 2,3 m/seg.
  - Protecciones de seguridad laterales superiores e inferiores de chapa y protección del lado tensor.
  - Peso aproximado: 1.550kgs.
  - Un equipo eléctrico de alimentación, protección y maniobra tipo RC-3 suministrado en armario metálico IP-54.

FABRICA – Dpto. TÉCNICO-VENTAS C/ Agricultura 15, - Pol Bankunión 2 33211 GIJÓN (ASTURIAS) – E Teléfono + 34 985 324 408 Fax + 34 985 324 226 E-mail: felemang@felemang.com



ADMINISTRACIÓN C/ Demetria Suárez 20 33401 AVILÉS(ASTURIAS) – E Teléfono +34 985 561 918 Fax +34 985 520 437 E-mail: administracion@felemamg.com

FELEMANG SL ex Responsable del tratarisatio de conformidad con el GDPR y la LOPD con la finalitad de mantener una relación connectal y conservados minimas estata un ordenis mutan para ello. Na se consumicarán los detecas a farcenos. Pasite ajerer los detechos de acoust, redificación, portabilidad, supresión, limitación y opossión en AVDA ADRCULTURA 15, POL BANKINGN II-3211102/04 (ASTURAS). E-mail: lateramytibristicarary com, V el de enformación a yana canal.as



# FELEMAMG magnetismo FECHA: 28-01-2021

### **OFERTA Nº 221359**

- B) Separador electromagnético FELEMAMG de limpieza automática tipo SF1-80-RS/80, con las siguientes características:
  - Campo magnético de 400 Gauss a 330mm (tras 8h de funcionamiento continuo).
  - Consumo nominal de 2'9Kw a 0°C
  - Construcción íntegra en acero inoxidable AISI-304 y acero al carbono.
  - Dimensiones aproximadas separador: 800x770x415(mm)
  - Peso total: 1.000Kg
  - Incluye equipo eléctrico de alimentación y control tipo RS-3, suministrado en armario metálico IP-54.

### IV - OFERTA ECONÓMICA

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDADES	PRECIO TOTAL
A	Separador electromagnético FELEMAMG tipo SF2-80-RC/80, incluido equipo eléctrico RC-3	1	19.915€
в	Separador electromagnético FELEMAMG tipo SF2-80-RS/80, incluido equipo eléctrico RS-3	1	<mark>12.810€</mark>

#### V - CONDICIONES OFERTA

PRECIOS: En Euros, condiciones Ex - Works (INCOTERMS 2020).

PLAZO DE ENTREGA: 9-10 semanas.

FORMA DE PAGO: 30% con el pedido, resto antes de la entrega mediante transferencia.

GARANTIA: 12 meses contra todo defecto de fabricación contados a partir de la fecha de entrega.

VALIDEZ DE LA OFERTA: 3 meses.

FABRICA - Dpto. TÉCNICO-VENTAS C/ Agricultura 15, - Poi Bankunión 2 33211 GIJÓN (ASTURIAS) - E Teléfono + 34 985 324 408 Fax +34 985 324 226 E-mail: felemang@felemang.com



DMINISTRACIÓN C/ Demetria Suárez 20 33401 AVILÉS(ASTURIAS) - E eléfono +34 985 561 918 ax +34 985 520 437 Teléfo

internie motor para elle. No se consumariante de conformédial con el GOMI y la LOPO con la finalidad de n internie motor para elle. No se consuminarian los datos a tencente. Parale ellenter los derectos de eccente, red AGRECULTURA 15, POL BANKUNION II-32111GUON (ASTURIAS) E-melt <u>ellenteradoblemente con</u>. Y el de ---sticación, portabilidad, augresalin, limitación y oposición en AVDA reclamación a <u>ware apod es</u> chos de access, rectil