

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	08-07-2021	B
Dependencia	Aprobado		Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		i(84)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTOR	Luis Edwin Chaustre Silva		
FACULTAD	Ingeniería		
PLAN DE ESTUDIOS	Especialización en Automatización Industrial		
DIRECTOR	Oscar Manuel Duque Suarez		
TÍTULO DE LA TESIS	Diseño y Simulación de la Automatización Para la Separación de Residuos Ferrosos del Transportador Principal de la Línea 2 de la Empresa Syttrac SAS, Empleando Software Avanzado de Simulación		
TITULO EN INGLES	Design and Simulation of the Automation for the Separation of Ferrous Waste from the Main Conveyor of Line 2 of the Company Syttrac SAS, Using Advanced Simulation Software		
RESUMEN			
<p>Este proyecto propone diseñar y simular un sistema de detección y separación de residuos ferrosos en la banda transportadora principal. el enfoque es experimental y cuantitativo, apoyado por fuentes de información primaria y secundaria. los resultados indican que el diseño del electroimán y el sistema de detección son adecuados. La simulación demuestra su funcionamiento efectivo, ofreciendo una solución valiosa para empresas con procesos similares.</p>			
RESUMEN EN INGLES			
<p>This project proposes to design and simulate a system for detecting and separating ferrous waste on the main conveyor belt. The approach is experimental and quantitative, supported by primary and secondary sources of information. The results indicate that the design of the electromagnet and the detection system are adequate. The simulation demonstrates its effective operation, offering a valuable solution for companies with similar processes.</p>			
PALABRAS CLAVES	Sistema de Detección y Separación, Banda Transportadora, Residuos Ferrosos, Electroimán.		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Detection and Separation System, Conveyor Belt, Ferrous Waste, Electromagnet.		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 84	PLANOS: 7	ILUSTRACIONES:	CD-ROM: 1



SC-CER102673



Diseño y simulación de la automatización para la separación de residuos ferrosos del transportador principal de la línea 2 de la empresa Syttrac SAS, empleando software avanzado de simulación

Luis Edwin Chaustre Silva

Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Especialización en Automatización Industrial

Ing. Oscar Manuel Duque Suarez

9 de noviembre del 2023

Contenido

	pág.
Capítulo 1. Título	9
1.1 Planteamiento del problema	9
1.2 Formulación del problema	10
1.3 Objetivos	11
1.3.1 Objetivo general	11
1.3.2 Objetivos específicos	11
1.4 Justificación	11
1.5 Alcances y limitaciones	12
1.5.1 Alcances	12
1.5.2 Limitaciones	13
1.6 Delimitación	13
Capítulo 2. Marco referencial	14
2.1 Antecedentes	14
2.2 Marco teórico	17
2.2.1 Proceso de trituración	17
2.2.2 Sensores	20
2.2.3 Separadores magnéticos	23
2.2.4 Controlador	29
2.3 Marco conceptual	32
2.4 Marco legal	34

	3
Capítulo 3. Diseño metodológico	36
3.1 Tipo de investigación	36
3.2 Fuentes de información	36
3.2.1 Fuentes de información primaria	39
3.2.2 Fuentes de información secundaria	40
3.3 Técnicas y procedimientos para la recolección de información	37
Capítulo 4. Desarrollo del proyecto	38
4.1 Fases de la investigación	38
4.1.1 Objetivo 1. Diseñar el sistema de detección y captura de elementos ferrosos a través de cálculos y catálogos de ingeniería, para eliminar el paso de residuos ferrosos hacia el molino	38
4.1.2 Objetivo 2. Diseñar el sistema eléctrico de control que va a manejar el sistema de separación de residuos ferrosos, utilizando instrumentación avanzada	38
4.1.3 Objetivo 3. Simular el sistema eléctrico de control en de software avanzado de simulación, Para generar un prototipo del sistema de separación de residuos ferrosos en la planta	39
Capítulo 5. Parámetros de diseño y selección de instrumentación del sistema de detección y captura de elementos ferrosos	40
5.1 Cálculos para el diseño del electroimán	42
5.2 Diseño del separador electromagnético	46
5.3 Selección del sensor de activación del sistema	47
5.4 Ubicación del sistema de separación de residuos ferrosos	48

	4
Capítulo 6. Diseño del sistema eléctrico de control	50
Capítulo 7. Simulación del sistema eléctrico de control en software avanzado de simulación	55
Capítulo 8. Conclusiones	61
Capítulo 9. Recomendaciones	62
Referencias	63
Apéndices	67

Lista de figuras

	pág.
Figura 1. Proceso de trituración	18
Figura 2. Proceso actual de línea 2	19
Figura 3. Molino impactor	20
Figura 4. Sensor inductivo en modo de espera y en operación	21
Figura 5. Símbolo del sensor inductivo y sensor inductivo festo	22
Figura 6. Símbolo del sensor capacitivo	23
Figura 7. Representación de un imán permanente	24
Figura 8. Imán y objeto ferromagnético	24
Figura 9. Representación de electroimán	25
Figura 10. Separador electromagnético inclinado	29
Figura 11. Separador electromagnético Cross-Belt	29
Figura 12. Estructura de un PLC modular	30
Figura 13. Programa de un PLC estructurado mediante instrucciones	31
Figura 14. Programa de un PLC estructurado mediante funciones lógicas	32
Figura 15. Programa de un PLC estructurado mediante diagrama escalera	32
Figura 16. Peso de diente de retroexcavadora extraído de la banda principal de la línea 2	41
Figura 17. Dimensiones del núcleo del electroimán	42
Figura 18. Separador de residuos ferrosos	46
Figura 19. Sensor de proximidad inductivo telemecanique XS8D1A1PAM12	47
Figura 20. Montaje de los sensores en el soporte	48
Figura 21. Montaje de los sensores en la banda transportadora vista frontal de sensores	49

Figura 22. Montaje de los sensores en la banda transportadora vista perspectiva de sensores y separador electromagnético	49
Figura 23. PLC Siemens Logo V8	53
Figura 24. PLC Schneider electric SR2A101FU	54
Figura 25. Simulación con sensores desactivados	57
Figura 26. Simulación con sensores 1 y 2 activados	57
Figura 27. Configuración del temporizador del separador de residuos ferrosos	58
Figura 28. Simulación con temporizador del separador de residuos ferrosos haciendo su función	58
Figura 29. Simulación con sensores 3 y 4 activados	59
Figura 30. Configuración del temporizador del transportador principal	59
Figura 31. Simulación con temporizador activado	60

Lista de tablas

	pág.
Tabla 1. Comparativo de elementos extraídos manualmente	40
Tabla 2. Parámetros del electroimán	43
Tabla 3. Reluctancias presentes en el circuito	45
Tabla 4. Cuadro comparativo de PLC'S	52

Lista de apéndices

	pág.
Apéndice A. Acuerdo de confidencialidad con la empresa Syttrac SAS	68
Apéndice B. Separación de residuos ferrosos	71
Apéndice C. Product data sheet characteristics	74
Apéndice D. Soporte de sensores	79
Apéndice E. Esquema de control actual	81
Apéndice F. Esquema de control con PLC	82
Apéndice G. Software	83

Capítulo 1. Título

Diseño y simulación de la automatización para la separación de residuos ferrosos del transportador principal de la línea 2 de la empresa Syttrac SAS, empleando software avanzado de simulación.

1.1 Planteamiento del problema

Syttrac S.A.S es una empresa colombiana ubicada en el km 1 vereda las piedras del municipio de Cornejo, dedicada a la producción de agregados y clasificación de piedra para construcción de obras civiles.

Revisando la hoja de vida de los equipos y la base de datos de mantenimiento de la empresa, se encontró que dentro de su proceso de trituración se ha venido presentando una larga data de daños a la maquinaria a causa de la presencia de restos ferrosos provenientes del material explotado. Como no se cuenta con ningún tipo de imán para la separación de los restos ferrosos, en el proceso de trituración el encargado de expulsar los elementos extraños (elementos fuera del proceso de trituración, tales como troncos de madera, telas, zapatos, plásticos, y los propios residuos ferrosos) de la banda es una persona, los restos ferrosos que son sólidos y pesados, son arrastrados por el propio material a través de la banda transportadora principal hacia la zaranda y posteriormente cayendo al molino impactor, generando daños principalmente en el molino impactor con la fractura de sus martillos, placas de impacto y blindajes. Los daños también se ven involucrados en la producción pues se atrasa el proceso y si no hay repuestos en stock se pararía la producción por mucho más tiempo.

Es así como el diseño y simulación de la automatización para la separación de residuos ferrosos tiene como objetivo apoyar el sistema actual, es decir apoyar al auxiliar de trituración (persona encargada de la separación de elementos extraños al proceso de trituración), estableciendo los parámetros de diseño del equipo, con el fin de incrementar la eficiencia, evitar las paradas por daños a la integridad de los equipos y además que cumpla con buen rendimiento de la producción.

De acuerdo con Eriez (s.f), el empleo de imanes o 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. No solo en la industria minera de trituración se ha hecho uso de electroimanes e imanes para la separación de residuos ferrosos con el mismo fin de minimizar daños; lo siguen también las siderurgias, la construcción, los vertederos de basura, etc.

1.2 Formulación del problema

Debido al crecimiento de la empresa y como la repetibilidad de las fallas presentan pérdidas y daños de los activos; nace la siguiente problemática: ¿De qué manera se podría mejorar la separación de residuos ferrosos del transportador principal, para evitar las pérdidas por mantenimientos correctivos y mejorar la eficiencia en la producción de la empresa SYTTRAC S.A.S?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar y simular la automatización para la separación de residuos ferrosos del transportador principal de la LINEA 2 de la empresa SYTTRAC SAS, empleando software avanzado de simulación.

1.3.2 Objetivos específicos

Diseñar el sistema de detección y captura de elementos ferrosos a través de cálculos y catálogos de ingeniería, para eliminar el paso de residuos ferrosos hacia el molino.

Diseñar el sistema eléctrico de control controlara el sistema de separación de residuos ferrosos, utilizando instrumentación avanzada.

Simular el sistema eléctrico de control en de software avanzado de simulación, Para generar un prototipo del sistema de separación de residuos ferrosos en la planta.

1.4 Justificación

En el ámbito industrial es importante el desarrollo productivo, reducción de labores de mantenimiento correctivo y minimizar el agotamiento físico de los trabajadores por lo que se busca mejorar las condiciones de trabajo y el menor contacto de personas con los procesos que puedan representar un riesgo. Para ello es importante el uso de herramientas y equipos que van de la mano con los trabajadores y los equipos entre sí.

Cada día se hace más uso de separadores magnéticos o electromagnéticos en las líneas de trituración debido a su gran beneficio como es: Limpieza automática (incluso sin interrumpir el

flujo de material), funcionamiento continuo, Eliminación del riesgo de error humano, Ahorro en costos operativos (Eriez, s.f.).

Debido a la gran demanda recientemente de productos agregados por parte de la ciudadanía, la empresa SYTTRAC S.A.S busca aumentar la calidad, rapidez y elaboración de sus productos; de aquí nace la realización del diseño y simulación de la automatización para la separación de residuos ferrosos.

Este proyecto se realizará con el fin de evitar paradas de mantenimiento correctivo a causa de elementos externos (previamente mencionados) al proceso de trituración de la empresa; ya que no se cuenta con ningún tipo de imán para la expulsión de elementos ferrosos y se ha venido haciendo de forma manual, ocasionando daños en la maquinaria por razones humanas y sobre costos en mantenimientos correctivos (valor manejado internamente en la empresa).

Con la realización de este proyecto se tienen como beneficios para la empresa aumentar la producción y bajar los costos de mantenimiento correctivo.

1.5 Alcances y limitaciones

1.5.1 Alcances

Este proyecto solo se desarrollará el diseño y simulación de la automatización del separador de residuos ferrosos, especialmente para la empresa SYTTRAC S.A.S. quien es el solicitante y benefactor de éste.

1.5.2 Limitaciones

El proyecto se realizará bajo confidencialidad por parte de la empresa SYTTRAC (ver apéndice A).

1.6 Delimitación

El presente proyecto se realizará bajo confidencialidad por parte de la empresa SYTTRAC quien es la propietaria de la maquinaria, dispone del espacio, las condiciones de trabajo y es quien asumirá los costos para su realización (ver apéndice A).

Capítulo 2. Marco referencial

2.1 Antecedentes

Barrera, Correa, Echeverry, Martínez, Martínez & Darío (2016), “Banda transportadora con electroimán”. El separador electromagnético de limpieza automática está diseñado para extraer y recuperar las piezas ferro-magnéticas que se encuentran entre el material que circula por una cinta transportadora.

Se compone por un potente electroimán que forma a su vez la estructura principal o cuerpo soporte de una pequeña cinta nervada que envuelve al electroimán. Unos pequeños bastidores solidarios al electroimán soportan los tambores motrices y de reenvío y el motor-reductor para el arrastre de la cinta.

Automação do Processo de Separação de Resíduos Ferrosos (2018-2020), financiado por la Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) y realizado en colaboración entre la Universidade de São Paulo (USP) y la empresa Siemens. Este proyecto tuvo como objetivo desarrollar un sistema de automatización para la separación de residuos ferrosos en la industria siderúrgica.

Design and development of an automated system for the separation of ferrous waste (2019-2021), financiado por el National Research Foundation (NRF) de South Africa y realizado en colaboración entre la University of Cape Town (UCT) y la empresa local Metalysis. Este proyecto tiene como objetivo diseñar y desarrollar un sistema automático para la separación de residuos ferrosos en la industria de la construcción.

Automatic separation of ferrous materials from municipal solid waste (2020-2022), financiado por la European Union's Horizon 2020 research and innovation program y realizado en colaboración entre varias universidades y empresas europeas. Este proyecto tiene como objetivo desarrollar una tecnología de automatización para la separación de residuos ferrosos en los vertederos de basura municipal.

A review on the separation of ferrous materials from waste streams (2018), publicada en la revista Journal of Cleaner Production. Esta investigación realiza una revisión exhaustiva de las técnicas existentes para la separación de residuos ferrosos, incluyendo procesos físicos, químicos y biológicos.

Villamagua & Escandón (2021), “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”. 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.

Separation of ferrous materials from municipal solid waste: a review (2020), publicada en la revista Waste Management. Esta investigación se enfoca en la separación de residuos ferrosos en los vertederos de basura municipal y analiza las diferentes tecnologías disponibles y su efectividad.

Design and development of a novel automated system for separating ferrous materials from construction waste (2020), publicada en la revista Construction and Building Materials.

Automatic separation of ferrous materials from municipal solid waste using machine learning algorithms (2020), publicado en la revista Computing and Environmental Science. Este artículo presenta un enfoque de aprendizaje automático para la separación automática de materiales ferrosos de residuos sólidos urbanos, utilizando una combinación de sensores y algoritmos de aprendizaje automático para identificar y separar los materiales ferrosos.

Survey on the use of machine learning techniques in waste management (2020), publicado en la revista Journal of Cleaner Production. Este artículo realiza una encuesta sobre el uso de técnicas de aprendizaje automático en la gestión de residuos, incluyendo la separación de residuos ferrosos.

Design and development of an intelligent system for separating ferrous materials from construction waste (2020), publicado en la revista Intelligent Manufacturing. Este artículo presenta un sistema inteligente de separación de residuos ferrosos en la industria de la construcción, que utiliza una combinación de técnicas de visión artificial e inteligencia artificial para identificar y separar los residuos ferrosos de otros materiales.

Parafraseo: de los antecedentes anteriores con el que más se refleja el proyecto es con el de 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.

2.2 Marco teórico

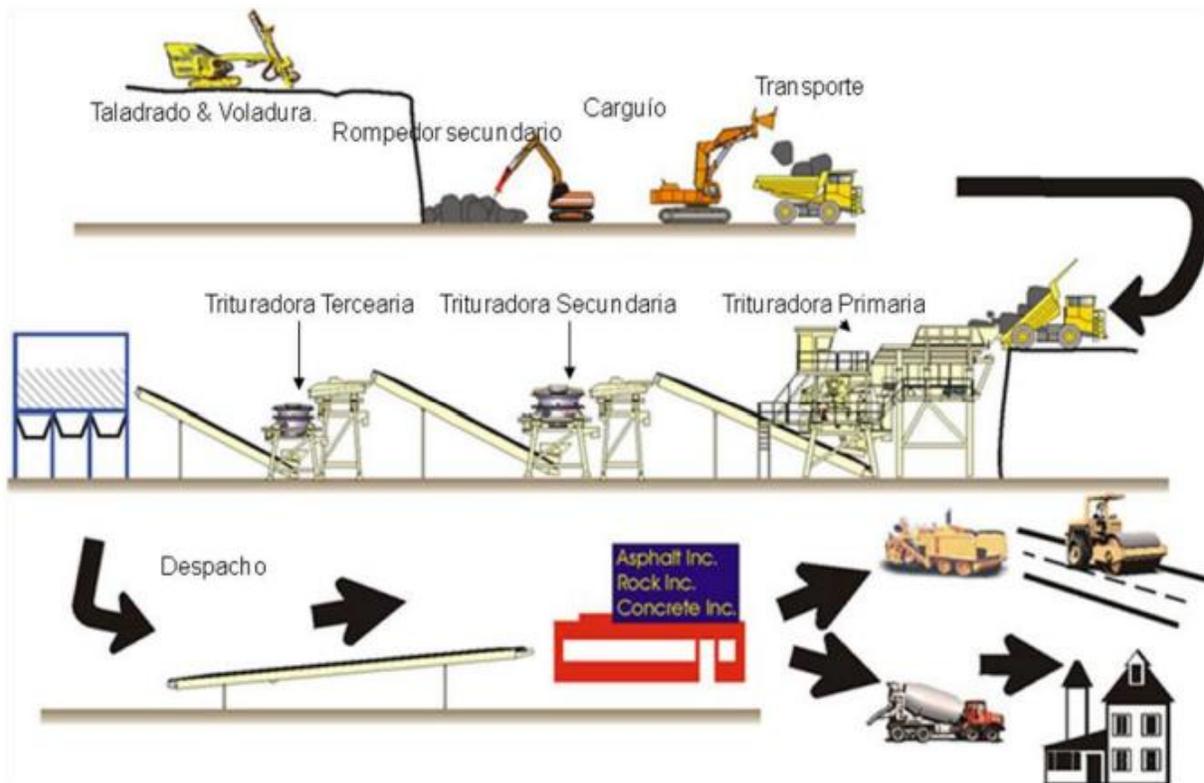
2.2.1 Proceso de trituración

La trituración consiste, normalmente, en partir la materia sólida en trozos pequeños y solo es transformación de la materia sin alterar su naturaleza lo más homogéneo posible.

Los equipos utilizan preferentemente las fuerzas de compresión y las de impacto o percusión. Los equipos se deben caracterizar por la dimensión del tamaño que admiten, por su robustez y por la capacidad para admitir o rechazar elementos o componentes no deseados mediante los sistemas apropiados.

Una vez que la piedra se extrae de la cantera o del río, generalmente se transporta a una trituradora primaria, que es una máquina diseñada para reducir el tamaño de rocas grandes en pedazos más pequeños. Las trituradoras de mandíbula o trituradoras de impacto se utilizan comúnmente para este propósito (Metso, 2008).

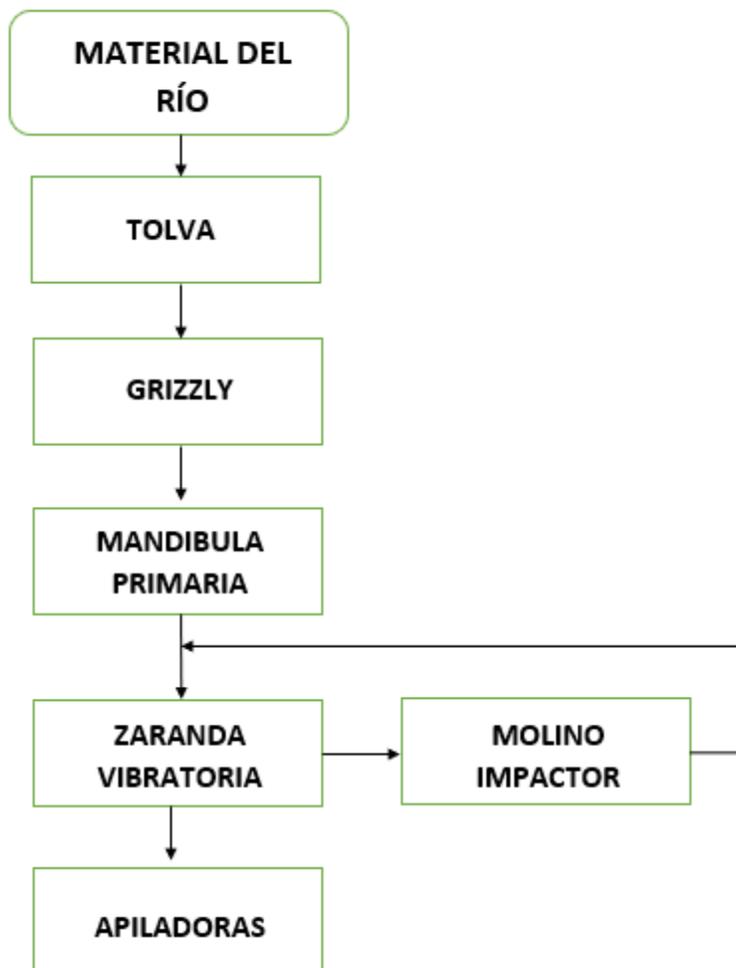
El proceso de producción de agregados de piedra generalmente involucra varias etapas, que incluyen extracción, trituración, cribado, lavado y almacenamiento.

Figura 1*Proceso de trituración**Nota.* Datos tomados de Metso (2008)

Proceso actual de línea 2. El proceso de trituración de la línea 2 como se representa en la figura consiste en un ciclo entre la banda principal, la zaranda vibratoria, molino impactor, banda de retorno y vuelve e inicia.

Figura 2

Proceso actual de línea 2



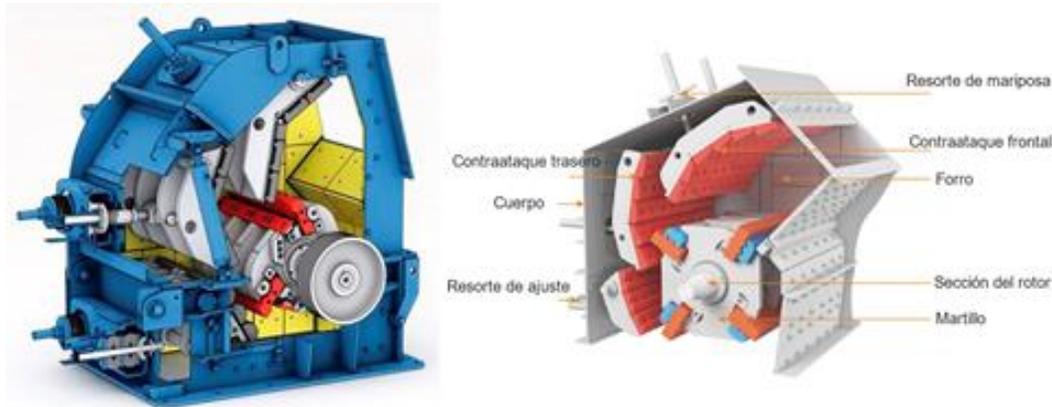
Molino impactor. Es una máquina diseñada para la trituración de rocas y minerales, de grandes dimensiones y dureza y abrasividad baja o media y también de materiales muy compactos y de grandes dimensiones, desde que puede garantizar altos rendimientos y una excelente cubricidad del triturado (Metso, 2008).

El tamaño máximo en alimentación ha sido diseñado en función de las dimensiones de la boca de alimentación. Las barras de impacto en acero al manganeso son muy resistentes al

desgaste y pueden ser de diferente tipo y tienen diferentes perfiles dependiendo de las necesidades y de la naturaleza del material procesado.

Figura 3

Molino impactor



Nota. Datos tomados de Metso (2008)

2.2.2 Sensores

Sensores inductivos: Los sensores de proximidad inductivos son dispositivos de estado sólido diseñados para detectar objetos metálicos a distancia, reaccionan cuando se acerca este objeto sin establecer contacto directo con él. Una ventaja importante es inherente a ambientes muy sucios, donde su funcionamiento no se ve afectado por la acumulación de contaminantes tales como polvo, grasa, aceite u hollín en la cara sensora (Soria, s.f).

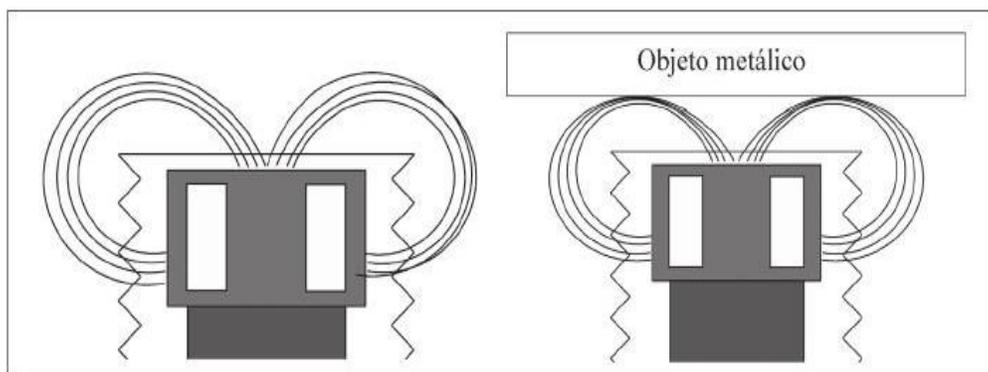
La parte principal de este sensor es una bobina por la que fluye corriente al-terna que genera un campo electromagnético y que a su vez es generada por un oscilador. Si un objeto metálico entra en el campo magnético, cambia la reacción de la bobina y por lo tanto también la amplitud de oscilación. Si se amplifica eléctrica-mente ese cambio, puede utilizarse como

magnitud de medición. Debido al efecto de histéresis, la conmutación que se obtiene al mover el objeto hacia el sensor es diferente de aquella que se obtiene alejándolo de él.

Principio de funcionamiento: Cuando se le aplica energía eléctrica al sensor, la etapa del oscilador inicia su función y consume una corriente constante y conocida, a una amplitud determinada. El campo electromagnético producido por la bobina del sensor se concentra por un anillo de ferrita. Ésta es la superficie activa del sensor o cara sensora. Si en la proximidad de la superficie activa se encuentra un objeto metálico ferroso, en éste se inducen corrientes parásitas. La pérdida de energía lleva a una disminución de corriente en el circuito oscilador y por lo tanto su amplitud decrece. Esta variación en el oscilador es evaluada y como producto de la variación se genera una señal de conmutación en el dispositivo de salida del sensor.

Figura 4

Sensor inductivo en modo de espera y en operación



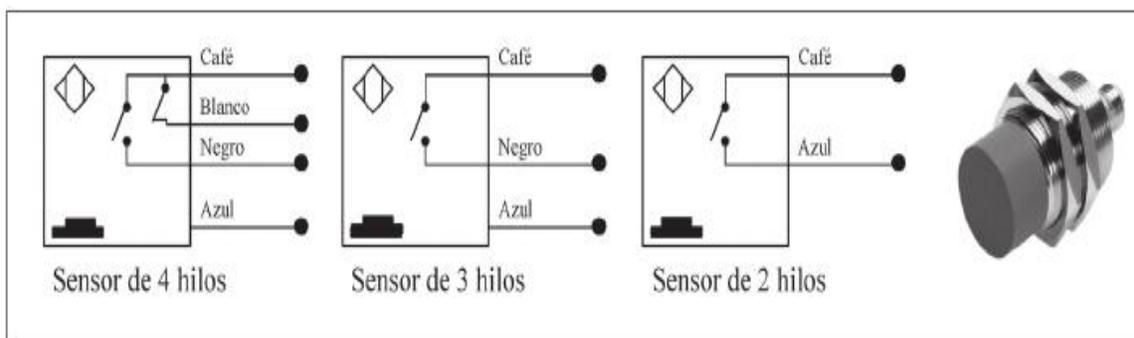
Nota. Datos tomados de Soria (s.f.)

Símbolo: El símbolo que representa un sensor inductivo en un diagrama eléctrico (Fig. 2.2.4) puede tener las tres posibles configuraciones: de dos, tres y cuatro hilos. Éstos se pueden

utilizar en un diagrama de conexiones eléctricas, solo se tiene que respetar la polarización de los cables especificada anteriormente.

Figura 5

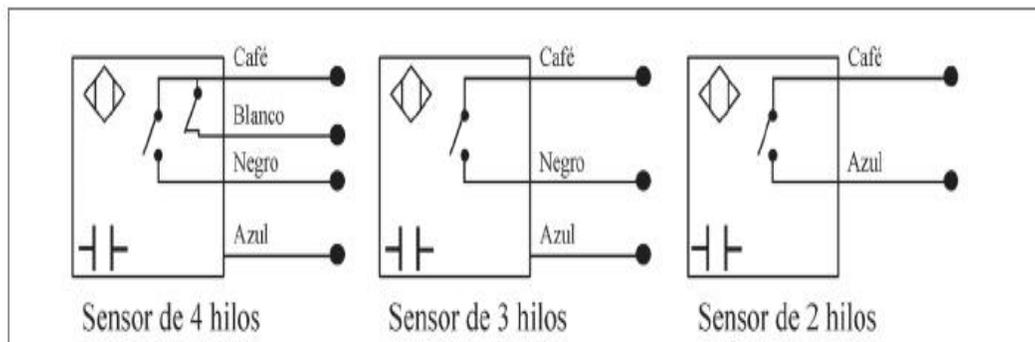
Símbolo del sensor inductivo y sensor inductivo festo



Nota. Datos tomados de Soria (s.f.)

Sensores capacitivos: Los sensores capacitivos detectan objetos metálicos y no metálicos, sólidos y líquidos, sin embargo, es preferible utilizar sensores inductivos en las aplicaciones con objetos metálicos por su confiabilidad. Los sensores de proximidad capacitivos reaccionan a alteraciones en campos electrostáticos, bajo el principio de funcionamiento del capacitor, considerando que cualquier objeto en la naturaleza cuenta con una constante dieléctrica determinada (Soria, s.f.).

Símbolo: El símbolo que representa un sensor capacitivo en un diagrama eléctrico es mostrado en la Fig. 7-41 y puede tener las tres posibles configuraciones: de dos, tres y cuatro hilos, y se pueden utilizar en un diagrama de conexiones eléctricas. Los colores de los cables se mantienen al estándar, que ya fue especificado anteriormente.

Figura 6*Símbolo del sensor capacitivo*

Nota. Datos tomados de Soria (s.f.)

2.2.3 Separadores magnéticos

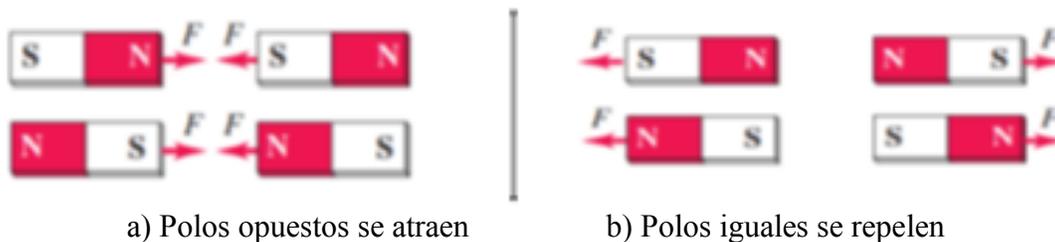
Se trata del imán permanente o electroimán que lleva incorporado una estructura de cinta transportadora en la que el metal una vez es captado por parte del imán, es separado y expulsado. El separador magnético es típicamente montado o suspendido sobre una banda transportadora que se encarga de trasladar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

- Imán permanente

Un imán permanente es un objeto capaz de mantener el estado de magnetización durante un largo período de tiempo. El producto está hecho de ferro magnetos, que pueden consistir en hierro, acero, hierro fundido, níquel, cobalto, aleaciones individuales de metales de tierras raras. Existen minerales naturales (magnetitas), que también se utilizan como materia prima para la producción de imanes permanentes.

Figura 7

Representación de un imán permanente

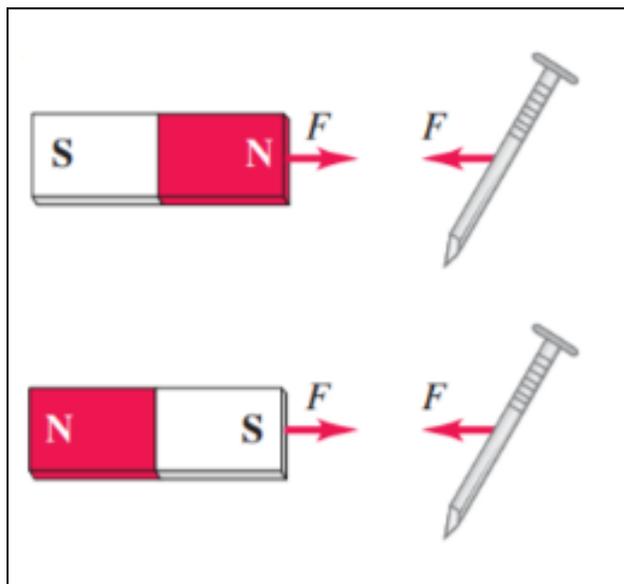


Nota. Datos tomados de Zemansky & Freedman (2009)

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 (Zemansky & Freedman, 2009).

Figura 8

Imán y objeto ferromagnético



Nota. Datos tomados de Zemansky & Freedman (2009)

- Electroimán

Un electroimán es un tipo de imán en el que el campo magnético se produce mediante el flujo de una corriente eléctrica, desapareciendo en cuanto cesa dicha corriente. Los electroimanes generalmente consisten en un gran número de espiras de alambre, muy próximas entre sí que crean el campo magnético. Las espiras de alambre a menudo se enrollan alrededor de un núcleo magnético hecho de un material ferromagnético o ferromagnético, como el hierro; el núcleo magnético concentra el flujo magnético y hace un imán más potente (Nave, 2012).

La principal ventaja del electroimán sobre un imán permanente, es que el campo magnético se puede cambiar de forma rápida mediante el control de la cantidad de corriente eléctrica en el devanado. Sin embargo, a diferencia de un imán permanente, un electroimán requiere de una fuente de alimentación para mantener los campos.

Figura 9

Representación de electroimán



Nota. Datos tomados de Nave (2012)

- Cálculos para diseño de electroimán

En el diseño del electroimán se hace uso de las siguientes ecuaciones para corroborar si las dimensiones y características de un electroimán son ideales para su trabajo:

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) (Chapman, 2012).

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

F: Fuerza (N)

A: área de la sección del núcleo (m²)

B: densidad de flujo magnéticos (T)

μ_0 : permeabilidad del espacio libre (aire), su valor es $\mu_0 = 4\pi * 10^{-7}$.

La fuerza en esta fórmula es el peso del material que requiere levantar el electroimán.

Despejando tenemos la densidad de flujo:

$$B = \sqrt{\frac{2 * F * \mu_0}{A}} \quad (1)$$

Flujo magnético (ϕ):

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 Pulido, 2013)

$$\phi = B * A \quad (2)$$

ϕ : flujo (W_b)

- 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) (IES Valle de Aller, s. f.)

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.

$$R = \frac{l_n}{\mu_R * \mu_o * A} \quad (3)$$

Intensidad de corriente que se necesita

$$\Phi = \frac{N * I}{2 * \mu_o} = \frac{N * I}{R}$$

luego despejando la corriente tenemos:

$$I = \frac{\Phi * R}{N} \quad (4)$$

Intensidad de campo magnético (H):

Siempre que exista un flujo magnético (Φ) en un cuerpo se debe a la presencia de una intensidad de campo magnético H, la unidad es el Henrio (Wildi, 2007)

Intensidad de campo magnético

$$H = \frac{B}{\mu} \quad (5)$$

μ : permeabilidad magnética del material (Wb/A*m)

B: inducción magnética (T)

H: intensidad de campo magnético (A/m)

Permeabilidad relativa (***ur***):

La permeabilidad relativa es una medida útil para comparar la capacidad de magnetización de los materiales. La unidad de medida es (B/H) (Chapman, 2012). La permeabilidad del espacio libre (aire) se denomina μ_0 , y su valor es $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ (Wildi, 2007).

$$\mu = \mu_r * \mu_0$$

Fuerza magnetomotriz (***Fmm***):

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

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

$$F = N * I \quad (6)$$

- Separadores magnéticos de acuerdo al tipo de instalación

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 (Eriez, s.f.).

Figura 10

Separador electromagnético inclinado

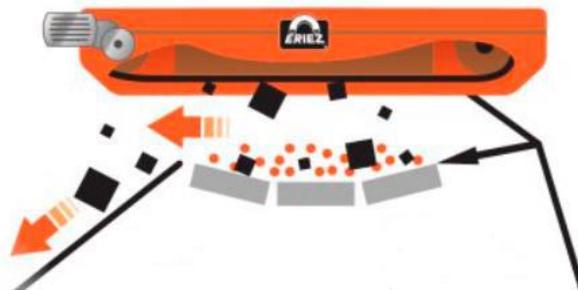


Nota. Datos tomados de Eriez (s.f.)

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, s. f.-a).

Figura 11

Separador electromagnético Cross-Belt



Nota. Datos tomados de Eriez (s.f.)

2.2.4 Controlador

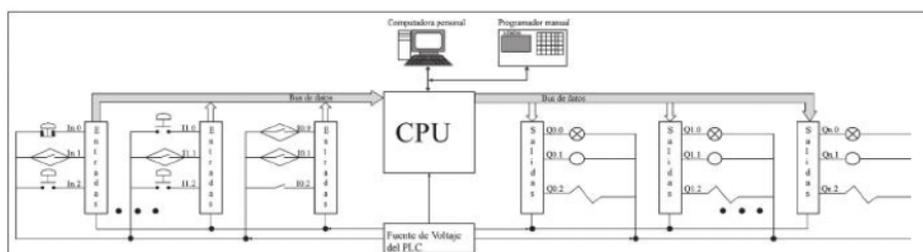
El avance tecnológico ha propiciado el desarrollo de equipos que facilitan el trabajo en todas las actividades, así como de equipos más inteligentes en todas las áreas, y los sistemas automáticos no han sido la excepción. Este desarrollo tecnológico trajo consigo el controlador lógico programable, PLC por sus siglas en inglés, el cual se ha convertido en la línea que marca la diferencia entre los sistemas automáticos industriales con base en relevadores y los sistemas actuales. Un sistema de control industrial automático trabaja con una secuencia de instrucciones lógicas generadas mediante un programador manual o una computadora, secuencia que se almacena en la memoria del PLC para trabajar en forma independiente (Soria, s.f.).

- Estructura interna de un PLC

Se basa en cinco partes fundamentales: de inicio, la parte fundamental del controlador es el CPU; después la fuente de voltaje necesaria para encender todos los dispositivos; módulos de entrada, módulos de salida ambos módulos actúan como interfase entre el controlador y el mundo real—; bus de datos por donde fluye la información y el programador externo que puede estar a cargo de una computadora personal o un programador manual.

Figura 12

Estructura de un PLC modular



Nota. Datos tomados de Soria (s.f.)

- Tipos de programación

Podría decirse que el flujo de información en el PLC es a partir de las entradas, donde se colecta la información, posteriormente pasa al CPU en donde es procesada, lo que causa una actualización de parámetros y funciones, y de acuerdo con las instrucciones que se le hayan programado al controlador va a ocasionar una actualización de los dispositivos de salida. Para poder programar un PLC desde una computadora personal se requiere tener el programa o software del PLC, el cual no es genérico y cada marca tiene su propio software. El programa es el conjunto de instrucciones cargadas previamente en el controlador y con las cuales el PLC va a tomar decisiones. La programación de los controladores puede realizarse mediante varios formatos o tipos de programación como la programación por instrucciones, funciones lógicas y lógica de contactos; cualquiera de estas técnicas que se utilice soluciona los problemas de automatización. El tiempo que tarda el controlador en captar el estado de las entradas, ejecutar las operaciones dadas en el programa y actualizar el estado de las salidas se le llama tiempo de SCAN.

Figura 13

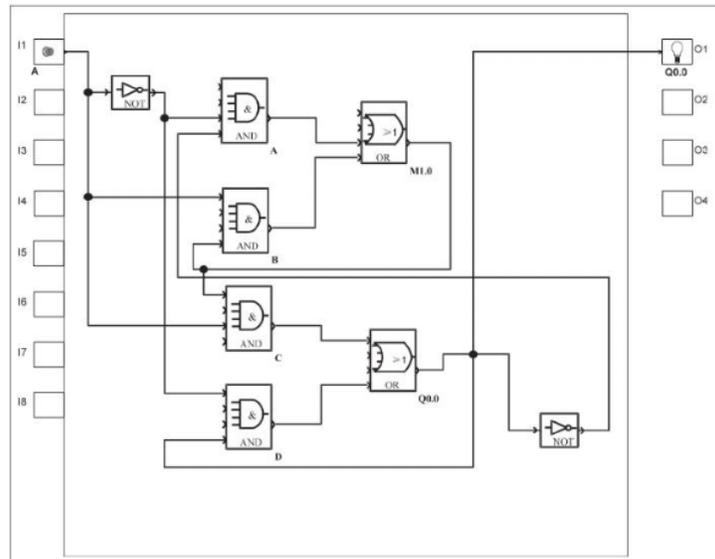
Programa de un PLC estructurado mediante instrucciones

Programa de encendido y apagado de una salida con un botón	
Network 1	
Estado 1 y 2 del proceso	
LDN	I0.0
AN	Q0.0
LD	I0.0
A	M1.0
OLD	
=	M1.0
Network 2	
Estado 2 y 3 del proceso	
LD	I0.0
A	M1.0
LDN	I0.0
A	Q0.0
OLD	
=	Q0.0

Nota. Datos tomados de Soria (s.f.)

Figura 14

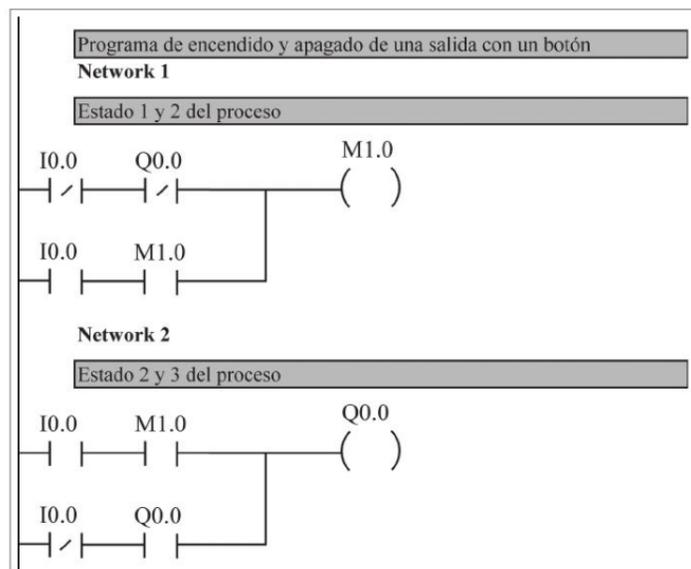
Programa de un PLC estructurado mediante funciones lógicas



Nota. Datos tomados de Soria (s.f.)

Figura 15

Programa de un PLC estructurado mediante diagrama escalera



Nota. Datos tomados de Soria (s.f.)

2.3 Marco conceptual

- Hierro silicioso

Se escoge este material para el núcleo del electroimán debido a sus características. Su permeabilidad relativa es de $\mu_r=7000$ (Universidad Nacional de la Plata, 2023).

- 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.

- 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, s. f.).

- Banda transportadora

Una cinta transportadora, banda transportadora, transportador de banda o cintas francas es un sistema de transporte continuo formado por una banda continua que se mueve entre dos tambores.

Por lo general, la banda es arrastrada por la fricción de sus tambores, que a la vez este es accionado por su motor. Esta fricción es la resultante de la aplicación de una tensión a la banda

transportadora, habitualmente mediante un mecanismo tensor por husillo o tornillo tensor. El otro tambor suele girar libre, sin ningún tipo de accionamiento, y su función es servir de retorno a la banda. La banda es soportada por rodillos entre los dos tambores. Denominados rodillos de soporte.

Debido al movimiento de la banda el material depositado sobre la banda es transportado hacia el tambor de accionamiento donde la banda gira y da la vuelta en sentido contrario. En esta zona el material depositado sobre la banda es vertido fuera de la misma debido a la acción de la gravedad y/o de la inercia (Siscode, s. f.). Las cintas transportadoras se usan principalmente para transportar materiales granulados, agrícolas e industriales, tales como cereales, carbón, minerales, etcétera

2.4 Marco legal

En toda actividad en la cual se desarrollan interacciones se requiere de normas que regulen el comportamiento de los sujetos que intervienen en ella. Estas normas interaccionan permanentemente y regulan los deberes y derechos que toda sociedad organizada establece para sus miembros.

Ley 1581 de 2012. Reconoce y protege el derecho que tienen todas las personas a conocer, actualizar y rectificar las informaciones que se hayan recogido sobre ellas en bases de datos o archivos que sean susceptibles de tratamiento por entidades de naturaleza pública o privada.

Norma ISO 9001. Determina los requisitos para un Sistema de Gestión de la Calidad (SGC), que pueden utilizarse para su aplicación interna por las organizaciones, sin

importar si el producto o servicio lo brinda una organización pública o empresa privadas, cualquiera que sea su tamaño, para su certificación o con fines contractuales.

Resolución 2400 de 1979. Título VII de la electricidad, alterna, continua y estática.

Determina que el diseño de una máquina debe garantizar que la zona de peligro se encuentre ubicada de forma que sea inaccesible para el trabajador o, de no ser ello posible, que cuente con los medios de protección necesarios para que se elimine o, al menos, se minimice dicho peligro antes de que el operario de la máquina pueda acceder a la zona mencionada.

Norma técnica colombiana NTC 2050. basada en el National Electrical Code (NEC) cuyo objeto es la salvaguardia de las personas y de los bienes contra los riesgos que pueden surgir por el uso de la electricidad.

Norma técnica colombiana NTC 3475. Electrotecnia. Tableros eléctricos. Estos requisitos cubren tableros para control y protección de circuitos de alumbrado eléctrico, derivación de circuitos ramales y circuitos de potencia, incluyendo los tableros alimentadores de distribución. También contemplan unidades diseñadas específicamente para ensamble de tableros.

Capítulo 3. Diseño metodológico

3.1 Tipo de investigación

La investigación del proyecto es del tipo experimental con enfoque cuantitativo ya que se va a hacer uso de datos numéricos para la realización del proyecto como es el diseño y simulación.

Una acepción particular de experimento, armónica con un sentido científico del término, se refiere a un estudio en el que se manipulan intencionalmente una o más variables independientes (supuestas causas-antecedentes), para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos-consecuentes), dentro de una situación de control para el investigador (Hernández, Fernández & Baptista, 2010).

Para el desarrollo del proyecto se debe llevar en orden los objetivos específicos haciendo uso de teoría y las fórmulas presentada en el marco teórico y marco conceptual expuesto pues brinda los datos necesarios para su ejecución.

En cuanto a la simulación se debe contar con el software, los datos previamente obtenidos y la experiencia del director para que los resultados sean satisfactorios y veraces.

3.2 Fuentes de información

3.2.1 Fuentes de información primaria

Libros de automatización industrial de biblioteca.

Libros de diseño de ingeniería mecánica.

Catálogos de equipos.

Bases de datos.

3.2.2 Fuentes de información secundaria

Libros diseño de electroimanes industriales.

Artículos sobre automatización industrial.

Consultas en la Web.

Trabajos anteriores sobre diseño y simulación de la automatización de separadores de residuos ferrosos.

3.3 Técnicas y procedimientos para la recolección de información

Las técnicas que se utilizarán para el desarrollo del proyecto serán: el análisis de las referencias bibliografías, proyectos de grado y artículos de investigación, consultas académicas a los profesores del programa de automatización industrial de la universidad Francisco de Paula Santander.

Capítulo 4. Desarrollo del proyecto

4.1 Fases de la investigación

En el diseño del agitador de líquidos se emplearon las cuatro fases siguientes:

4.1.1 Objetivo 1. Diseñar el sistema de detección y captura de elementos ferrosos a través de cálculos y catálogos de ingeniería, para eliminar el paso de residuos ferrosos hacia el molino

Teniendo en cuenta la solicitud de la empresa, e información de diversos libros consultados, se definió los parámetros para el diseño del electroimán y se determinó la longitud, ancho y alto para el diseño del separador de residuos ferrosos.

Revisando los diferentes catálogos de ingeniería para sensores se selecciona el sensor que me va a dar la señal para iniciar el sistema una vez seleccionado el sensor se procede a determinar las dimensiones de la estructura donde va a trabajar este y se determina también la ubicación tanto de los sensores como del separador de residuos en la banda principal.

4.1.2 Objetivo 2. Diseñar el sistema eléctrico de control que va a manejar el sistema de separación de residuos ferrosos, utilizando instrumentación avanzada

En base al sistema de control actual que posee la línea de trituración y consultando catálogos de PLC y comparando marcas y referencias se seleccionó el PLC que se va a utilizar como controlador de la automatización del sistema de separación de residuos ferrosos y se actualizó el diseño del tablero de control de la línea de trituración.

4.1.3 Objetivo 3. Simular el sistema eléctrico de control en de software avanzado de simulación, Para generar un prototipo del sistema de separación de residuos ferrosos en la planta

Con el sistema eléctrico de control ya actualizado y con el PLC seleccionado se procedió a simular la automatización del sistema de separación de residuos ferrosos, haciendo uso del software que el PLC lo requiere. Obteniendo así un prototipo del sistema de separación de residuos ferrosos.

Capítulo 5. Parámetros de diseño y selección de instrumentación del sistema de detección y captura de elementos ferrosos

Debido a que el proceso de extracción de residuos ferrosos actualmente se viene realizando de forma manual y se depositan en una caneca; Revisando dicha caneca nos encontramos con piezas de diferentes formas y tamaños.

En la siguiente tabla se presenta las piezas que más se han extraído de la banda principal de la línea 2 y la frecuencia con que se han extraído de dicha banda.

Tabla 1

Comparativo de elementos extraídos manualmente

Ítem	Elemento	Imagen	Frecuencia
1	Trozos ferrosos		Baja
2	Dientes de cargadores		Media-alta
3	Diento de retroexcavadora		Alta

Ítem	Elemento	Imagen	Frecuencia
4	Secciones de viga y rieles		Media - alta

Como se evidencia en la tabla las piezas más grandes y que con más frecuencia se han extraído han sido los dientes de cargadores y de retroexcavadoras que tienen un peso en promedio de 12kg.

Figura 16

Peso de diente de retroexcavadora extraído de la banda principal de la línea 2



Para los cálculos se asumirá que la carga que levante el electroimán sea de 15 kg.

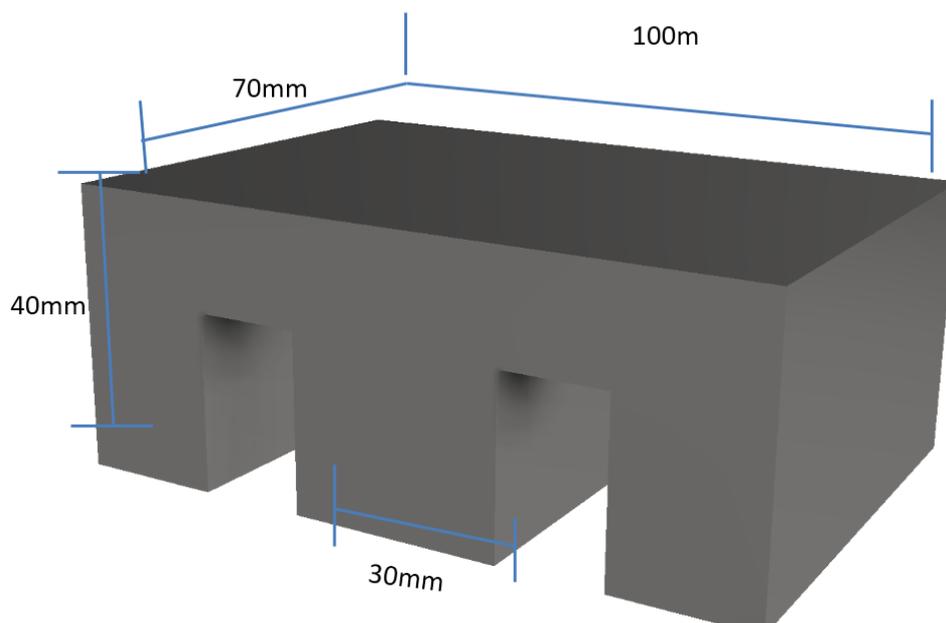
En base a los datos anteriores procedemos a calcular el electroimán que vamos a utilizar como separador de residuos ferrosos.

5.1 Cálculos para el diseño del electroimán

Parámetros de diseño:

Figura 17

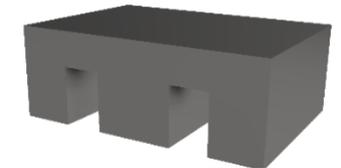
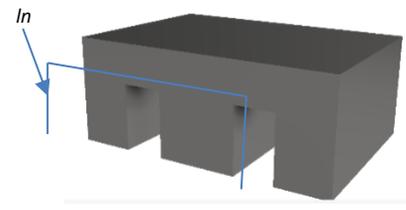
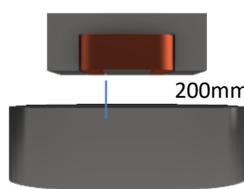
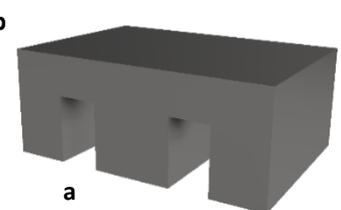
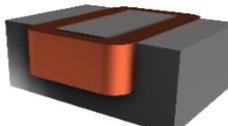
Dimensiones del núcleo del electroimán



Para el cálculo del electroimán se tendrá en cuenta como parámetro principal el devanado primario y el núcleo de hierro de un transformador de horno microondas cuyos valores son:

Tabla 2

Parámetros del electroimán

Parámetro	Valor	Representación
μ_R Núcleo (núcleo de hierro)	$\mu_R = 7000$	
Permeabilidad del aire	$\mu_o = 4\pi * 10^{-7}$	
Longitud del circuito	$l_n = 0.180m$	
Longitud en el aire (espacio vacío)	$l_n = 0.20m$	
Área del núcleo = $a*b = (0.03m * 0.07m)$	$0.0021 m^2$	
Espiras	$N = 2620$	

Como la carga más grande que se tomó para separar con el electroimán es de 15 kg podemos iniciar calculando la densidad de flujo a través de la fuerza de atracción del electroimán. Para ellos usamos la ecuación (1).

$$B = \sqrt{\frac{2 * F * \mu_0}{A}} \quad (1)$$

De aquí tenemos que:

$$B = 0,42 \text{ T}$$

Un imán permanente comercial para banda transportadora tiene una densidad de flujo magnético de 0.2 T (Eriez, s.f.).

Una vez calculada la densidad de flujo podemos calcular el flujo magnético haciendo uso de la ecuación (2).

$$\phi = B * A \quad (2)$$

$$\phi = 0,000882 \text{ wb}$$

Ahora podemos calcular las reluctancias presentes en este este circuito, las cuales sumadas tenemos una reluctancia total. Para ellos usamos la ecuación (3).

$$R = \frac{l_n}{\mu_R * \mu_0 * A} \quad (3)$$

La primera en ser calculada es la reluctancia en el núcleo R_n 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 del aire que es la reluctancia en el vacío, es decir, en la separación entre el electroimán y la pieza a levantar.

Tabla 3

Reluctancias presentes en el circuito

Reluctancia Núcleo	Reluctancia Aire	Reluctancia Total
9744.2 (A*#vueltas/ W_b)	75788068.1 (A*#vueltas/ W_b)	75797812.3 (A*#vueltas/ W_b)

Con estos valores ya podemos calcular la corriente en el campo magnético. Usando la ecuación (4).

$$I = \frac{\Phi * R}{N} \quad (4)$$

$$I = 25.52 \text{ A}$$

Ahora procedemos a calcular la intensidad del campo magnético usando la ecuación (5).

$$H = \frac{B}{\mu} \quad (5)$$

$$\mu = \mu_r * \mu_o = 0.008796459$$

luego la intensidad en el campo magnético es:

$$H = 43,75 \text{ A} * \text{espira/vuelta}$$

Para finalizar calculamos la fuerza magnetomotriz utilizando la ecuación (6).

$$F = N * I \quad (6)$$

Luego la fuerza magnetomotriz es:

$$F = 66862.4 A * vuelta$$

Con los datos obtenidos podemos asegurar que el electroimán es lo suficientemente fuerte para levantar una masa de 15 kg y cumple con las condiciones requeridas para el separador electromagnético.

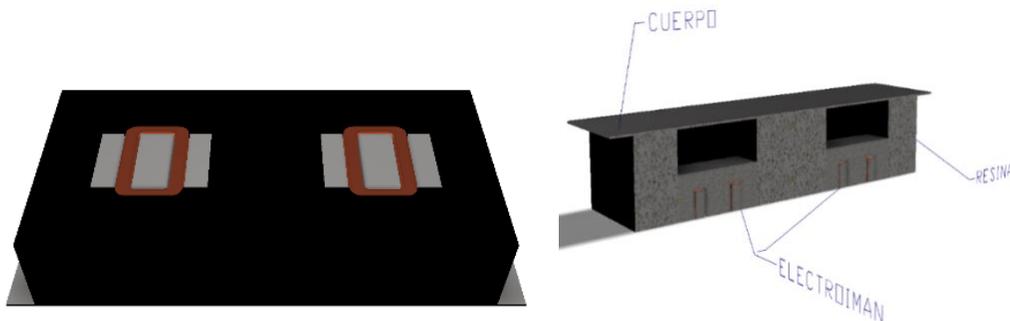
5.2 Diseño del separador electromagnético

Para el diseño del separador de residuos ferrosos vamos a utilizar dos electroimanes con las condiciones previamente calculadas e instalados en paralelo. Y van a estar instalados en su respectiva base como se aprecia en la figura y en el apéndice B.

El separador está compuesto de tres partes: cuerpo, resina y electroimanes. El cuerpo del separador va a ser fabricado en chapa metálica de 1/8" de espesor y es un paralelepípedo rectangular, la resina es de tipo epóxica y recubre los electroimanes para protegerlos del polvo y la humedad. En el apéndice B se detalla las dimensiones del separador electromagnético.

Figura 18

Separador de residuos ferrosos



5.3 Selección del sensor de activación del sistema

Para la selección del sensor se buscó un sensor de proximidad inductivo pues diseñados para detectar objetos metálicos a distancia y su ventaja importante es que es inherente a ambientes muy sucios, donde su funcionamiento no se ve afectado por la acumulación de contaminantes tales como polvo. Soria (s.f.), lo primordial que se buscó de este sensor fue que tuviera alto rango de distancia entre el sensor y el elemento ferroso buscando con esto que no se vea afectado el sensor por el material que pasa por la banda pues si queda muy cerca se puede dañar. Buscando en la web y en catálogos de sensores se llegó a la conclusión de usar un sensor de la marca telemecanique quien tiene un rango máximo de distancia de 60 mm. Dicho sensor es de la referencia XS8D1A1PAM12 en el apéndice C. se encuentran las características y dimensiones del sensor.

Figura 19

Sensor de proximidad inductivo telemecanique XS8D1A1PAM12.



Nota. Datos tomados de Soria (s.f.)

Para el diseño se van a usar 4 sensores de este tipo, 2 en el inicio de la banda transportadora para activar el separador electromagnético y 2 finalizando la banda transportadora

como seguridad por si el separador no logra atrapar una pieza de mayor masa.

Los 2 del final me deben cumplir la siguiente condición: apagar la zaranda para cortar la alimentación hacia el molino impactor y apagar la tolva de alimentación al instante para que no me alimente la banda principal y no me siga llenando la zaranda y después de 10 segundos me debe apagar la banda principal para que no se me atore el material que viene de la banda de retorno proveniente del molino impactor.

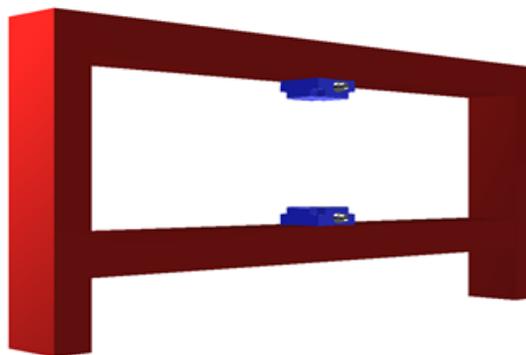
5.4 Ubicación del sistema de separación de residuos ferrosos

Soporte de los sensores de activación del sistema de detección (ver apéndice D):

El soporte va fabricado en tubo estructural de 3" x 1-1/2" calibre 18 y los sensores van a estar montados en el soporte como lo indica la figura.

Figura 20

Montaje de los sensores en el soporte

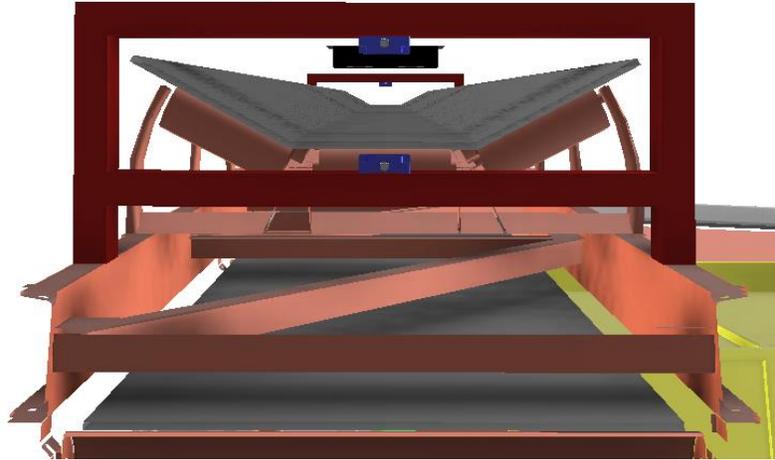


Nota. Datos tomados de Soria (s.f.)

Tanto los sensores como el separador electromagnético van a ir ubicados en la banda transportadora como lo indican las siguientes figuras:

Figura 21

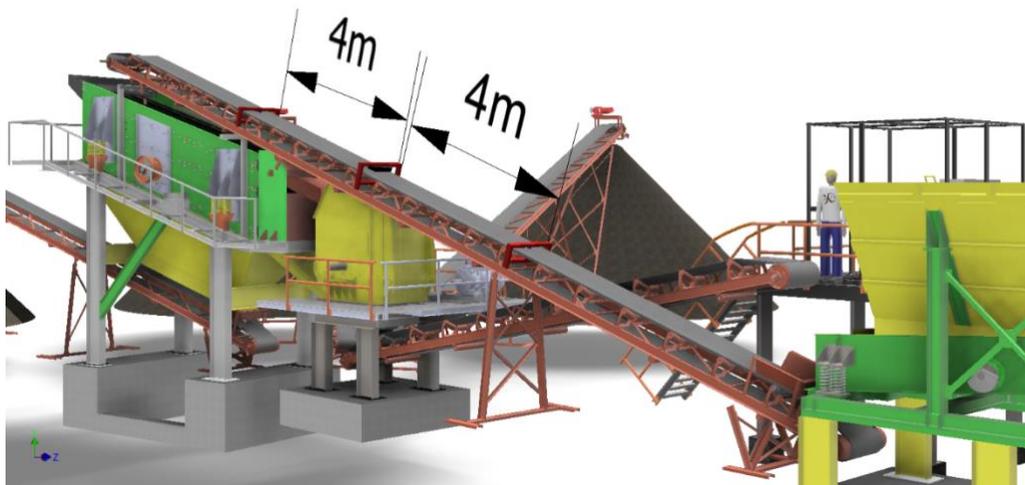
Montaje de los sensores en la banda transportadora vista frontal de sensores



Nota. Datos tomados de Soria (s.f.)

Figura 22

Montaje de los sensores en la banda transportadora vista perspectiva de sensores y separador electromagnético



Nota. Datos tomados de Soria (s.f.)

Capítulo 6. Diseño del sistema eléctrico de control

El sistema eléctrico de control actualmente está compuesto de la siguiente manera:

Las apiladoras de salidas 1-2-3 (bandas transportadoras de descarga del material clasificado) cada una tiene un contactor para su accionamiento y un guarda motor para la protección del circuito. La banda de retorno y la banda principal también son accionadas por contactor y protegidas con guarda motor. Tanto el molino impactor, como la zaranda y la tolva de alimentación usan arrancador suave porque tienen motores de mayor capacidad y son protegidas con breaker totalizador.

En el apéndice E se puede apreciar detalladamente el esquema de control de la línea 2 de trituración.

Como el proceso de trituración es un ciclo, para la automatización del separador de residuos ferrosos del transportador principal de la LINEA 2 vamos a utilizar un PLC que me va a controlar la activación el separador electromagnético por un periodo de 10 minutos y si el separador no logra atrapar una pieza de mayor masa o no funciona, me va a apagar la zaranda y la tolva de alimentación al instante para cortar la alimentación hacia el molino impactor y para que no se alimente la banda principal; después de 10 segundos se debe apagar la banda principal para que no se tasque el material que viene de la banda de retorno proveniente del molino impactor.

Para este caso se estudió el uso de una de las dos marcas de PLC más comerciales como es el caso del SIEMENS y SCHNEIDER ELECTRIC.

En la tabla 3, encontramos un cuadro comparativo respecto a estas dos marcas y las referencias que se tuvieron en cuenta para la selección del controlador.

Tabla 4*Cuadro comparativo de PLC'S*

Marca	Lenguaje de programación	Cable de programación	Software de programación	Tipos de salidas	Alimentación eléctrica	Tipo de montaje	Aplicación
Siemens logo v8	Ladder (Pc) Fup (Pantalla Y Pc)	USB-6ED1057- 1AA01-0BA0	Logo SOFT.	Digital	VAC: 240V	RAIL TIPO DIN	Gama media baja
Schneider electric Sr2a101fu	Ladder (PC y Pantalla)	USB 2.0	Zeliosoft2.0	Digital	VAC: 110V- 240V	RAIL TIPO DIN	Gama media baja

De la marca SIEMENES está la referencia LOGO V8 que es un PLC robusto de uso pesado y se puede programar desde su pantalla, pero el lenguaje de programación desde aquí es el lenguaje FUP (diagrama de funciones) y es un lenguaje más complejo para el caso de un fallo de emergencia y no se cuenta con computador en el área. Éste PLC también se puede programar a través del software LOGO un software robusto y complejo de utilizar además el cable de datos es especial por lo que se debe tener mucho cuidado de su uso y mantenerlo en un lugar seguro.

Figura 23

PLC Siemens Logo V8



Nota. Datos tomados de Catalogo Siemens (2023)

Por otro lado, de la marca SCHNEIDER ELECTRIC tenemos la referencia SR2A101FU que también cuenta con pantalla; la programación de este PLC por este medio es por lenguaje Ladder, mucho más cómodo para trabajar desde allí. Este PLC se programa únicamente por lenguaje Ladder a través del software ZELIO SOFT2 un software ligero, de fácil acceso y de fácil manejo. En este PLC el cable de datos es un cable comercial para puerto USB 2.0.

Figura 24

PLC Schneider electric SR2A101FU



Nota. Datos tomados de Catalogo Shneider Electric (2023)

Cómo el trabajo al que va a ser sometido el PLC no es un trabajo riguroso, pues va a trabajar cortos periodos de tiempo de las 8 hr de la jornada, entonces se busca una referencia que sea de fácil acceso, bajo costo y que cumpla con las condiciones para la automatización, por esta razón se opta por el PLC SR2A101FU de SCHNEIDER ELECTRIC, otra razón para usar tanto la marca como la referencia es por preferencias de la empresa pues la instrumentación actual que tiene el tablero usa esta marca.

Luego el sistema eléctrico de control queda cómo se representa en el apéndice F, donde entra en funcionamiento el PLC y a sus salidas van a ir conectados:

El separador de residuos ferrosos, la banda principal, la zaranda y la tolva; pero como la zaranda y la tolva se deben apagar al mismo instante se usa la misma salida para ambos quedando una salida disponible para otro proyecto sencillo.

Capítulo 7. Simulación del sistema eléctrico de control en software avanzado de simulación

Con el PLC seleccionado y teniendo conocimiento de su respectivo software procedemos a simular la situación a controlar, que es la siguiente:

Se desea controlar la activación por un periodo de 10 min el separador de residuos ferrosos y encender una lampara indicadora en el tablero, a través de dos sensores inductivos de proximidad telemecanique XS8D1A1PAM12 que tienen una distancia de detección nominal de 60 mm.

Por otro lado, en caso de que el separador de residuos ferrosos no pueda agarrar un elemento de mayor masa que la de su diseño o no funcione se desea controlar también la desactivación de la zaranda y la tolva de alimentación al instante que sea detectado el elemento. También se desea desactivar la banda principal luego de 10 s de la detección que es el tiempo en que transcurre el apagado de la zaranda para que no haya represión de material en la banda principal por el material proveniente de la banda de retorno este control se hace también con 2 sensores de la misma referencia.

Para la programación y simulación se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

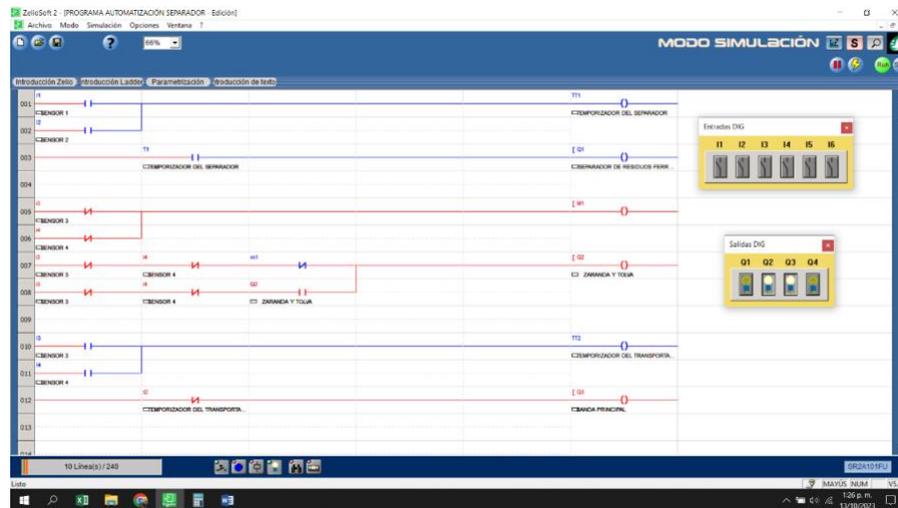
- I1: Entrada 1 (sensor 1)
- I2: Entrada 2 (sensor 2)
- I3: Entrada 3 (sensor 3)
- I4: Entrada 4 (sensor 4)

- Q1: Salida 1 (separador de residuos ferrosos)
- Q2: Salida 2 (zaranda y tolva de alimentación)
- Q3: Salida 3 (transportador principal)
- TT1: Temporizador del separador de residuos ferrosos.
- TT2: Temporizador del transportador principal.
- Los sensores 1 o 2 me activan el separador de residuos ferrosos
- Los sensores 3 o 4 me desactivan la zaranda y la tolva de alimentación y activan el temporizador que va a desactivar el transportador principal.
- El temporizador debe programarse para apagar el transportador principal de pues de transcurridos 10s.

En la figura se observa la simulación de la automatización antes de activarse los sensores, por ende, las salidas Q2 y Q3 están activas.

Figura 25

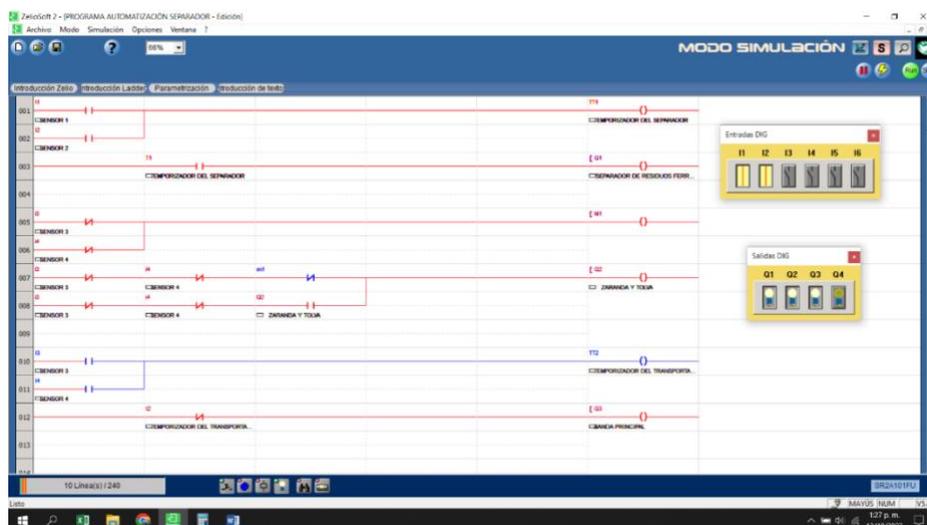
Simulación con sensores desactivados



En la siguiente figura se observa la simulación de la automatización una vez activados los sensores 1 y 2, aquí se puede observar la activación del separador de residuos ferrosos.

Figura 26

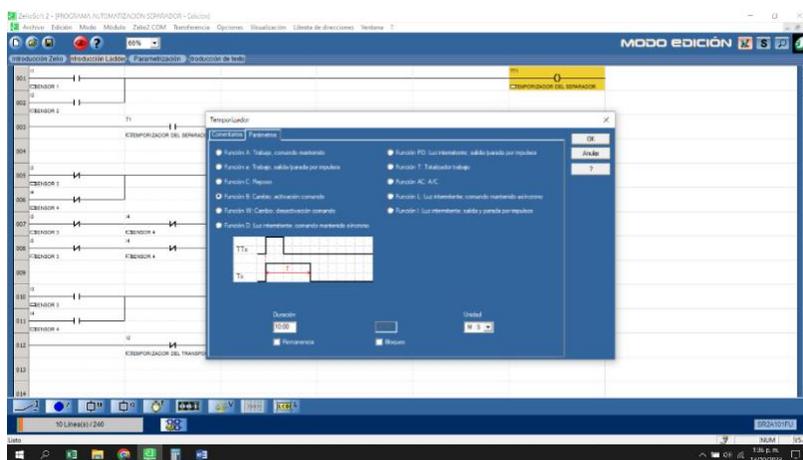
Simulación con sensores 1 y 2 activados



El temporizador para la desactivación del separador de residuos ferrosos se configuró de la siguiente forma:

Figura 27

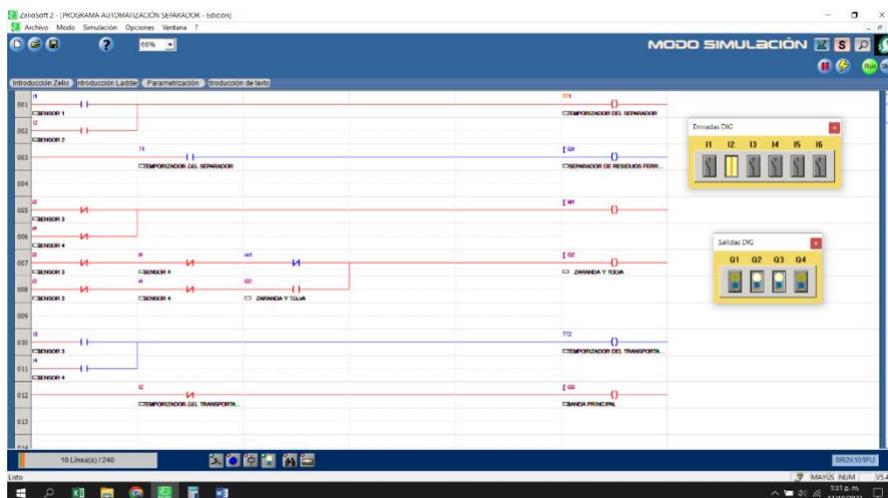
Configuración del temporizador del separador de residuos ferrosos



Nota. Datos tomados de Soria (s.f.)

Figura 28

Simulación con temporizador del separador de residuos ferrosos haciendo su función

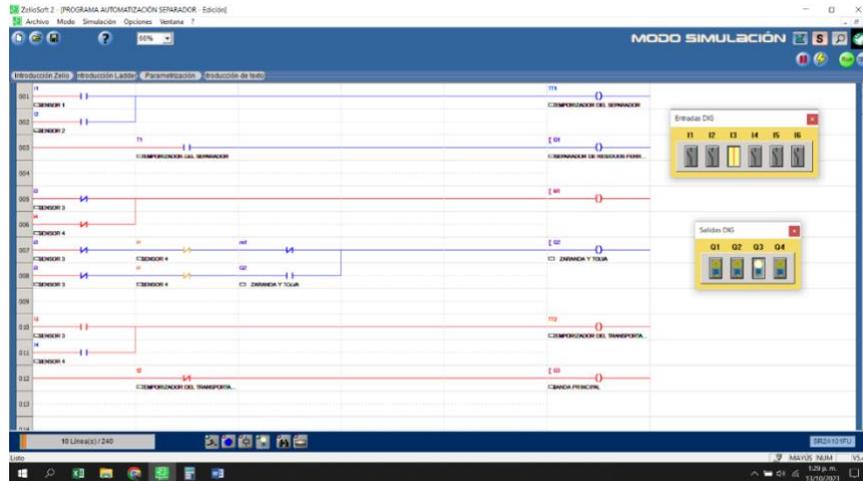


Nota. Datos tomados de Soria (s.f.)

Ahora se activan los sensores 3 y 4 para simular el apagado inmediato de la salida Q2.

Figura 29

Simulación con sensores 3 y 4 activados

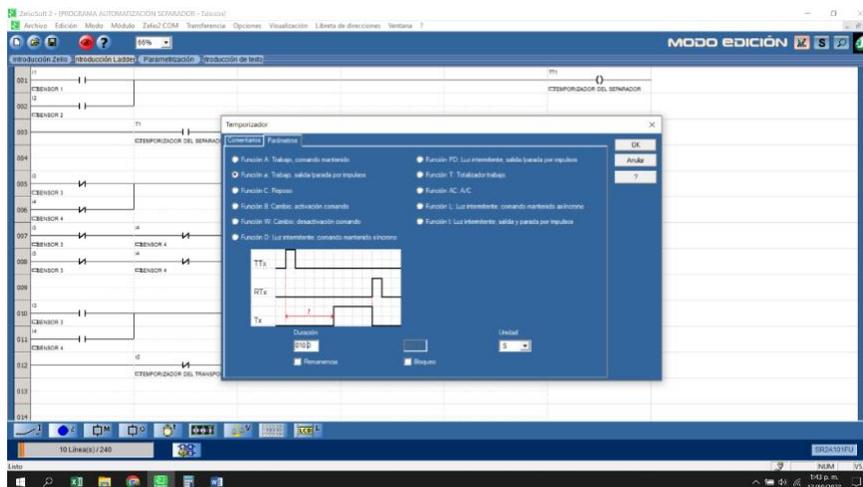


El temporizador de desactivación del transportador principal se configuró de la siguiente

forma:

Figura 30

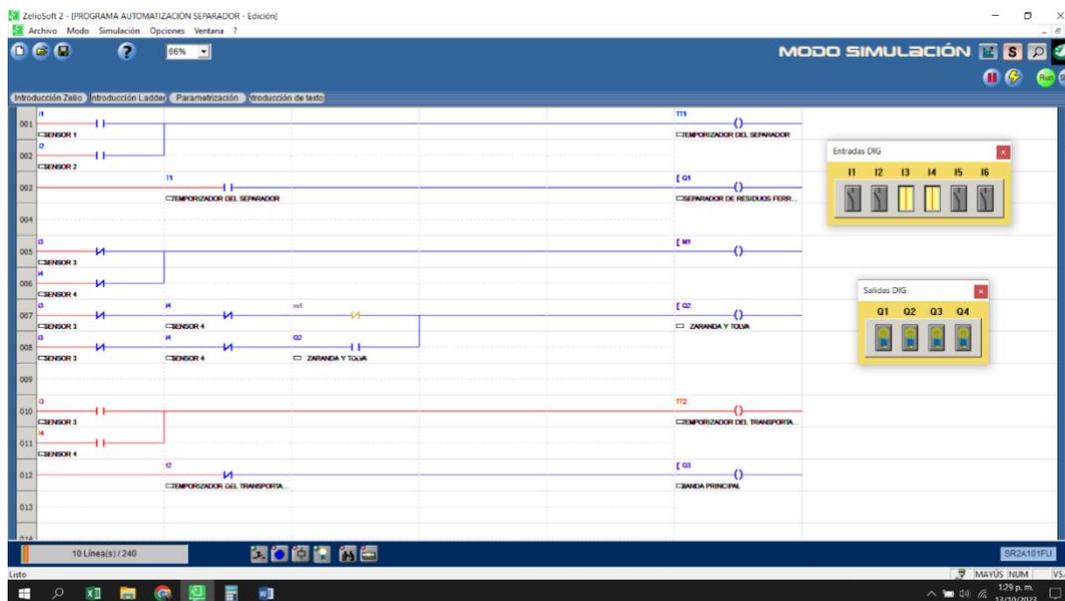
Configuración del temporizador del transportador principal



En esta figura se evidencia la activación del temporizador y posterior desactivación del transportador principal cerrando el ciclo de la automatización.

Figura 31

Simulación con temporizador activado



En el apéndice G se encuentra la simulación completa de la automatización para la separación de residuos ferrosos del transportador principal.

Capítulo 8. Conclusiones

Una vez realizado los cálculos para el diseño del electroimán del presente proyecto, se cuenta con la información necesaria y suficiente que permite llegar a la conclusión de que los cálculos realizados para el diseño del electroimán confirman que los materiales que lo componen cumplen con lo requerido para su funcionamiento dejando en claro que los parámetros de diseño son los correctos. Uno de los resultados principales de este estudio es su flujo magnético, pues el calculado es de 0.42T y un imán permanente comercial para banda transportadora es de 0.2 T. (Eriez, s.f.).

Hay que hacer hincapié, como objeto de este proyecto que la selección y utilización del sistema de detección concluimos que es idóneo pues cuenta con la suficiente distancia de detección evitando así el contacto cuasi directo del sensor con el material.

Se logró elaborar y plantear el objetivo propuesto de la realización de la simulación. En ella se logra observar cómo será el comportamiento y funcionamiento de la automatización antes de su puesta en marcha, por lo tanto, se aprueba el modelo.

El objetivo guía del presente proyecto era crear un diseño y simulación de un separador de residuos ferrosos. Este objetivo se pudo cumplir a partir del desarrollo del proyecto. Que incluso consiguió ampliar las perspectivas para su funcionamiento, logrando así desarrollar, el final de este trabajo de grado. Un sistema capaz de ser utilizado por empresas que utilicen bandas transportadoras en sus procesos, no solo de trituración, sino donde se vea afectado la entrada de elementos ferrosos en su proceso productivo.

Capítulo 9. Recomendaciones

Dentro de un proyecto tan ambicioso como lo fue éste, siempre se desea que haya una mejora continua del mismo; por lo tanto, se recomienda a los lectores que tengan interés en el proyecto, la complementación del sistema con un presupuesto bien detallado y con su respectivo estudio de factibilidad, y aún más recomendable sería la implementación en el proceso productivo, para hacer comparaciones entre los resultados arrojados por la simulación y el caso real.

Se recomienda a la empresa SYTTRAC S.A.S que, en caso de ser implementado el sistema, realizar capacitación al personal acerca del uso de este sistema dentro del espacio de trabajo con la finalidad de familiarizarse y crear una rutina de trabajo.

Se sugiere también la limpieza constante del separador de residuos ferrosos para que, por exceso de material atrapado, no se empiece a pasar residuos hacia la zaranda y ocasione paradas constantes.

Referencias

- Aguilera, I., Félix Beltrán, O., Monjaraz, J., Cortés, F., Pavón, L., Silva, E. & Raggi, S. (2014). *Automatización de banda transportadora con retroalimentación visual*. [Tesis de grado, Universidad Autónoma de Puebla]. Repositorio institucional UAP.
http://iiis.org/CDs2014/CD2014SCI/CISCI_2014/PapersPdf/CA415LV.pdf
- Álvarez, M. (2013). *Electroimanes*. Editorial Club Universitario.
- Barrera, M., Correa, J., Echeverri, S., Martínez, J., Martínez, C. & Darío, R. (2016). *Banda transportadora con electroimán*. [Tesis de grado, Universidad Pontificia Bolivariana. Bogotá]. Repositorio institucional UPB.
<https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/3138/Banda%20transportadora.pdf>
- Catalogo Shneider Electric. (2023). *PLC Schneider electric SR2A101FU*.
<https://www.se.com/co/es/product/SR2A101FU/rele-zelio-6-entradas-4-salidas-sin-reloj-240v-ac-con-display/>
- Catalogo Siemens. (2023). *PLC Siemens Logo V8*. <https://www.viaindustrial.com/plc-siemens-logo-v8-plc-s-v8-siemens/pp/P137208/>
- Chapman, S. (2012). *Maquinas eléctricas quinta edición*. Mc Graw Hill.
- Construction and Building Materials. (2020). *Design and development of a novel automated system for separating ferrous materials from construction waste*. CBM.
- Eland Cables. (s. f.). *AWG chart and the metric system*. <https://www.elandcables.com/the-cable->

lab/faqs/faq-what-is-the-conversion-between-awg-and-the-metric-system

Eriez. (s.f.). *Eriez—Suspended Electromagnets*.

<https://www.eriez.com/NA/EN/Products/Magnetic-Separation/Electromagnets/Suspended-Electromagnets.htm>

Eriez. (s.f.). *Global Leader in Separation Technologies*. <https://www.eriez.com/>

European Union's Horizon. (2020). *Automatic Separation of Ferrous Materials from Municipal Solid Waste*.

https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2017/581913/EPRS_STU%282017%29581913_EN.pdf

Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación* (6 ed.). McGraw Hill.

IES Valle de Aller. (s.f.). *Electromagnetismo. Conceptos básicos*. <https://docplayer.es/9310014-Fmm-fuerza-magnetomotriz-en-amperio-vuelta-av-n-numero-de-espira-i-intensidad-de-corriente-a.html>

Intelligent Manufacturing. (2020). *Design and development of an intelligent system for separating ferrous materials from construction waste*.

https://www.researchgate.net/publication/285582354_Design_and_Development_of_Smart_Waste_Sorting_System

Journal of Cleaner Production. (2018). *A review on the separation of ferrous materials from waste streams*. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2023/su/d3su00034f>

Journal of Cleaner Production. (2020). *A survey on the use of machine learning techniques in waste management*.

https://www.researchgate.net/publication/342566730_A_Survey_on_Efficient_Waste_Management_using_Machine_Learning

Metso. (2008). *Manual de trituración y cribado Metso*.

<https://www.finning.com/content/dam/finning/es/Documents/PDF/Metso-crushing-and-screening-solutions.pdf>

Nave, C. R. (2012). *Hyperphysics, Electromagnet*.

https://www.hep.phy.cam.ac.uk/~hp341/JohnRose2014_Ferromagnetism.pdf

Siscode. (s.f.). *Codificación, impresión digital de etiquetas y packaging*. <https://siscode.com/>

Soria, S. (s.f.). *Sistemas Automáticos industriales de eventos discretos*.

<https://doku.pub/documents/sistemas-automaticos-industriales-de-eventos-discretos-1-pdf-715r5z8j5mqk>

Universidad Nacional de la Plata. (2023). *Campos magnéticos*.

<https://catedra.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/sispot/Libros%202007/libros/cme/vol-07/6ape16/cm-a16b.htm>

Universidade de São Paulo. (2020). *Automação do Processo de Separação de Resíduos*

Ferrosos. http://www.ablp.org.br/wp-content/uploads/2022/07/edicao_0086.pdf

University of Cape Town. (2021). *Design and Development of an Automated System for the*

Separation of Ferrous Waste. <https://ebe.uct.ac.za/epse/publications/conference-papers>

Villamagua, F. & Escandón, O. (2021). *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.* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio institucional UPS.

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21659/1/UPS-CT009512.pdf>

Waste Management. (2020). *Separation of ferrous materials from municipal solid waste: A review.*

https://www.researchgate.net/publication/263992943_Separation_of_Ferrous_Materials_from_Municipal_Solid_waste_Incineration_Bottom_Ash

Wildi, T. (2007). *Maquinas eléctricas y sistemas de potencia.* Pearson Educación.

Zemansky, S. & Freedman, Y. (2009). *Física universitaria con física moderna.*

<https://biblioteca.uazuay.edu.ec/buscar/item/62305>

Apéndices

Apéndice A. Acuerdo de confidencialidad con la empresa Syttrac SAS

Acuerdo de confidencialidad y no divulgación (ADC)

Las partes:

SYTTRAC SUMINISTROS Y TRANSPORTE DE TRITURADOS AC SAS

KM 1 VIA EL ZULIA CORNEJO VEREDA LAS PIEDRAS

CORNEJO

(DIVULGADOR)

y

LUIS EDWIN CHAUSTRE SILVA

CLL 22ª #20ª-63

CÚCUTA

(RECEPTOR)

1. Objeto del acuerdo

El DIVULGADOR tiene la intención de revelar información (Información Confidencial) al RECEPTOR con el propósito de Diseñar y simular la automatización para la separación de residuos ferrosos del transportador principal de la línea 2. El objeto del acuerdo de confidencialidad es fijar las condiciones bajo las cuales las partes comunicarán y mantendrán la confidencialidad de la información en cualquier forma posible (oral, escrita o gráfica).

2. Información confidencial

La Información Confidencial a ser que incluye el acuerdo es la siguiente:

- *Listado de costos de piezas de desgaste de las máquinas.*
- *Listado de costos de mantenimientos correctivos.*
- *Aportes económicos e intelectuales en la ejecución del proyecto.*

3. Obligaciones de confidencialidad

El RECEPTOR reconoce que la información al a que se hace referencia en la cláusula anterior y que es transmitida en el marco de la colaboración y/o proyecto tiene carácter confidencial, y acepta no divulgarla y mantener la más estricta confidencialidad. El RECEPTOR no podrá reproducir, modificar, o

divulgar a terceros la información objeto del presente acuerdo, sin autorización previa y escrita del DIVULGADOR.

4. Obligaciones de secreto y seguridad

El RECEPTOR se compromete a mantener segura la Información Confidencial y a no revelarla a ningún tercero [salvo a sus empleados y asesores profesionales que necesitan conocerla para el propósito, que saben que tienen un deber de confianza con el DIVULGADOR y que están obligados por obligaciones equivalentes a las de la cláusula 3 anterior y esta cláusula 4].

5. Excepciones al acuerdo

Los compromisos de las cláusulas 3 y 4 se aplican a toda la información revelada por el DIVULGADOR, independientemente de la forma en que se revele o registre, pero no se aplicará en los siguientes casos:

- a) Información es de dominio público en el momento de divulgación al RECEPTOR o después, siempre que no se haya infringido el acuerdo o
- b) Información que ya es conocida por el RECEPTOR con anterioridad a la firma del presente acuerdo
- c) Cuando la legislación o un mandato judicial exija su divulgación. El RECEPTOR comunicará al DIVULGADOR la situación y hará lo posible por garantizar un tratamiento confidencial a la información.
- d) Cuando el RECEPTOR reciba una autorización expresa del DIVULGADOR para la comunicación pública de la información.

6. Restitución y destrucción de la información confidencial

El RECEPTOR, a petición del DIVULGADOR, devolverá todas las copias y registros de la Información Confidencial al DIVULGADOR, o en su caso, la destruirá. El RECEPTOR no retendrá ninguna copia o registro de la Información Confidencial.

7. Propiedad intelectual

Ni el presente Acuerdo ni el suministro de ninguna información concede al RECEPTOR ninguna licencia, interés o derecho con respecto a ningún derecho de propiedad intelectual del DIVULGADOR, excepto el derecho a copiar la Información Confidencial para el propósito del acuerdo. Los derechos de propiedad intelectual de la información divulgada bajo el acuerdo pertenecen al DIVULGADOR.

8. Duración del acuerdo

El acuerdo de confidencialidad entra en vigor a partir de la fecha de su firma.

9. Ley aplicable

El presente Acuerdo se rige por las leyes de **Colombia** y debe interpretarse de conformidad con ellas. Los tribunales situados en **Colombia** tendrán jurisdicción no exclusiva para conocer de cualquier controversia que haya surgido o pueda surgir de este Acuerdo o en relación con él.

10. Modificaciones del acuerdo

El presente Acuerdo establece el acuerdo completo entre las partes en lo que respecta a la divulgación de información confidencial. Cualquier adición o modificación a este Acuerdo debe hacerse por escrito y ser firmada por ambas partes.

11. Consideraciones finales

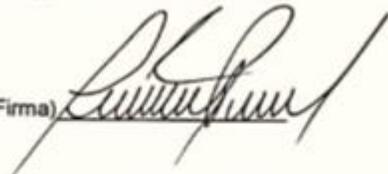
Si alguna de las disposiciones del presente Acuerdo se considera inaplicable, el resto se aplicará lo más plenamente posible y la(s) disposición(es) inaplicable(s) se considerará(n) modificada(s) en la medida necesaria para permitir la aplicación del Acuerdo en su conjunto.

Y en prueba de conformidad y aceptación de lo establecido, ambas Partes firman este acuerdo y aceptan voluntariamente los derechos y obligaciones que en él se establecen, en el lugar y fecha abajo indicados.

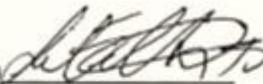
Divulgador de la información

Receptor de la información

(Firma)



(Firma)



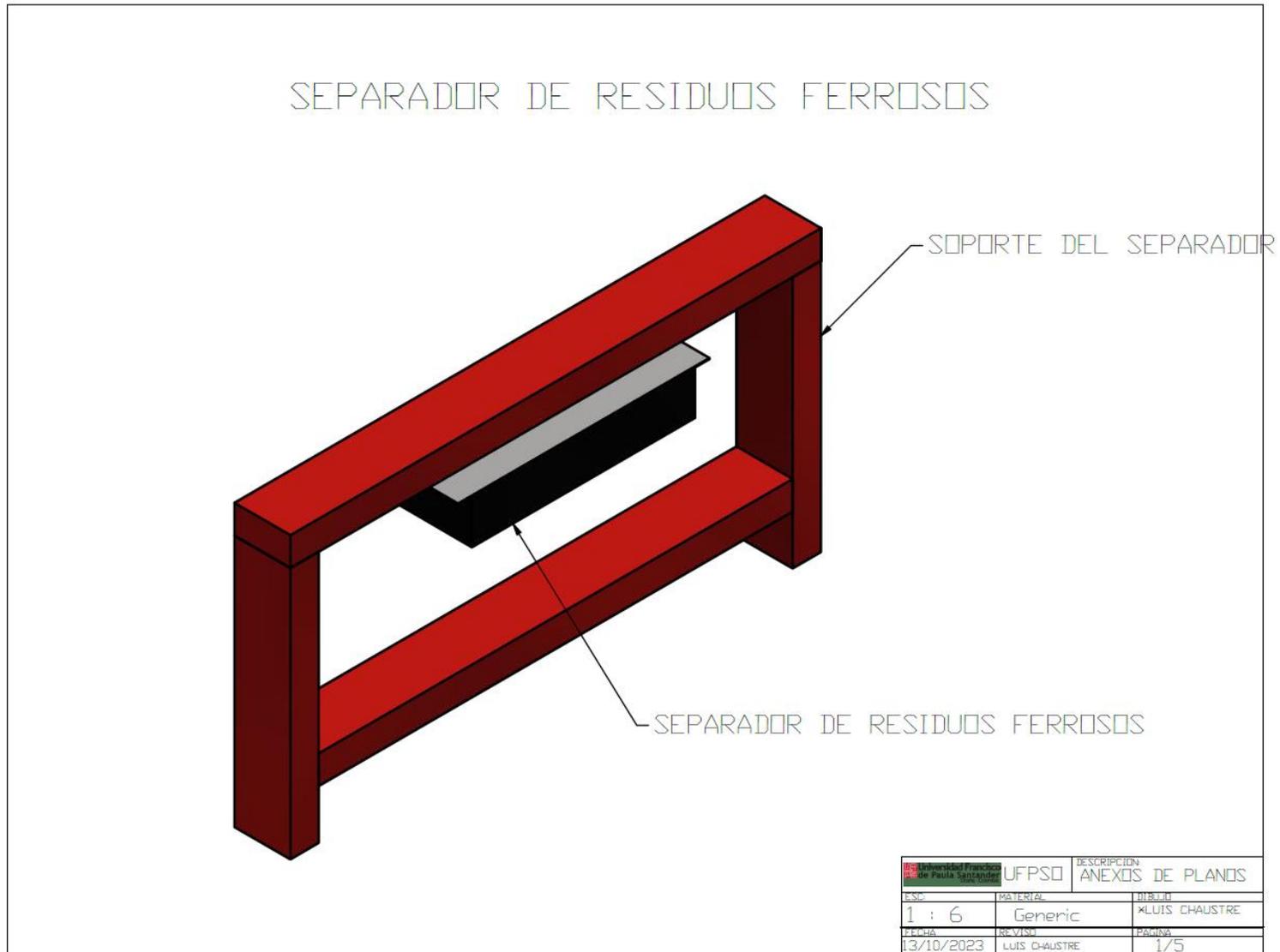
Nombre: **JUAN PABLO AREVALO ESPINEL**

Nombre: **LUIS EDWIN CHAUSTRE SILVA**

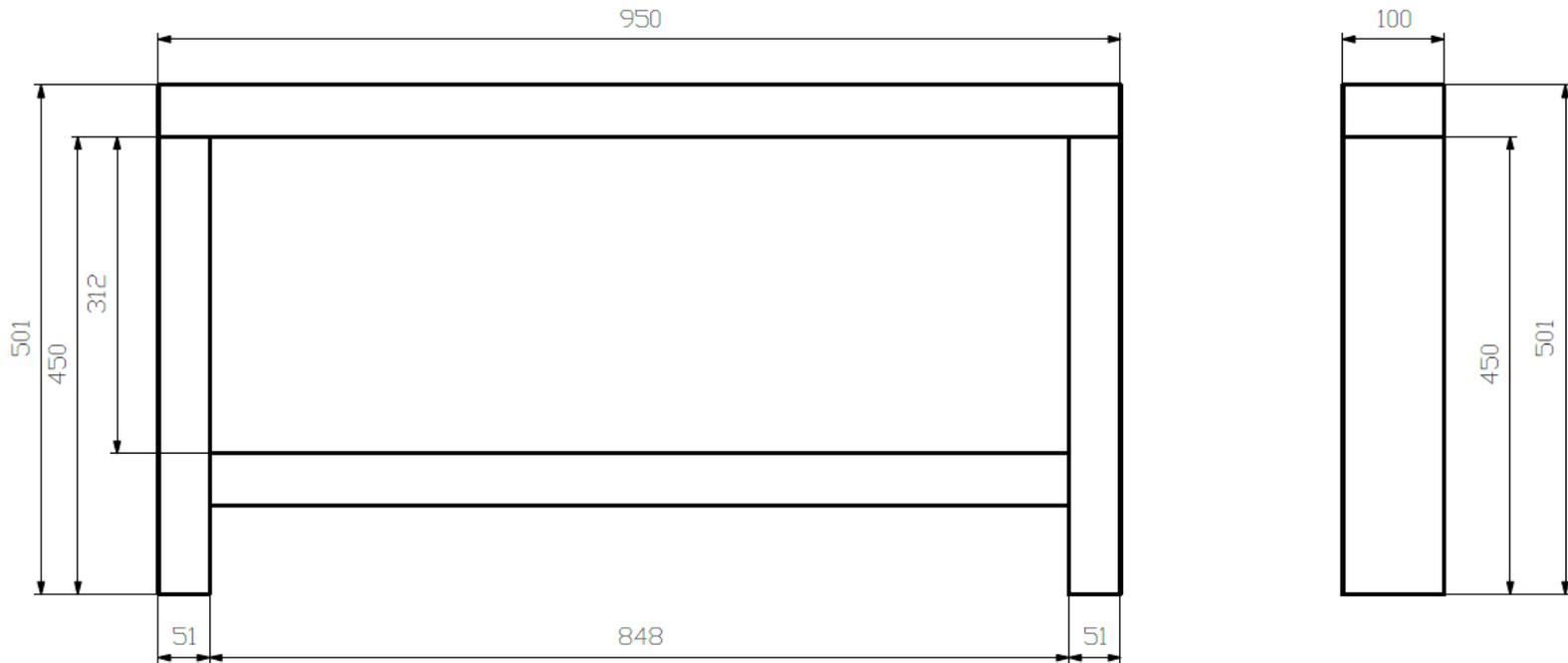
Fecha: **12-09-2023**

Fecha: **12-09-2023**

Apéndice B. Separación de residuos ferrosos



SOPORTE DEL SEPARADOR DE RESIDUOS FERROSOS

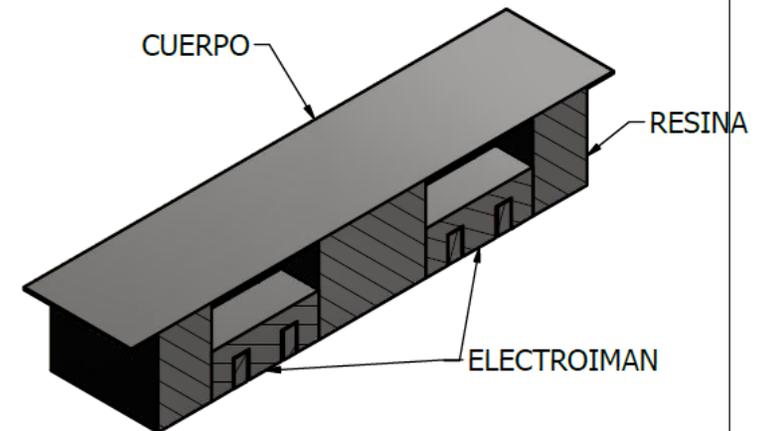
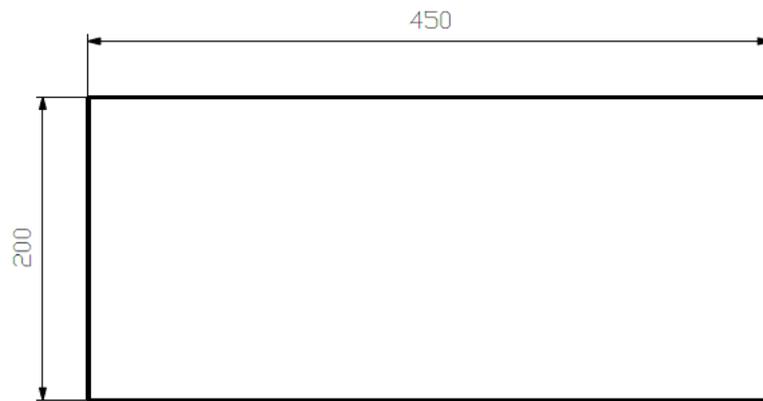
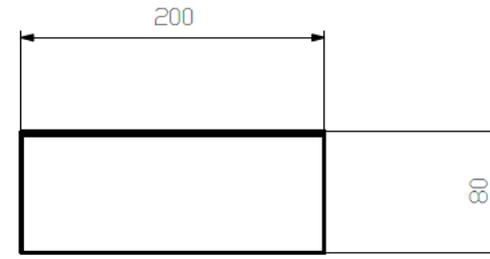
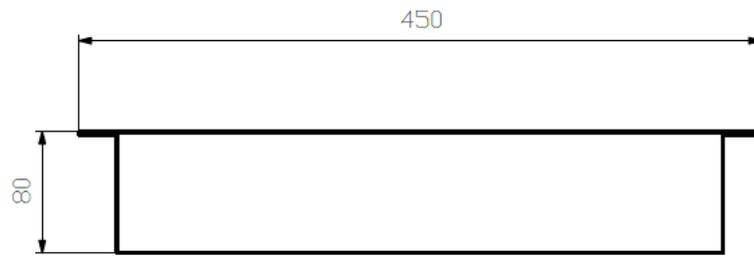


NOTA:

- FABRICADO EN TUBO DE ACERO ESTRUCTURAL DE 100X 50 DE 1/8 DE ESPESOR

		UFPSO DESCRIPCION: ANEXOS DE PLANOS
ESCALA:	MATERIAL:	DIBUJADO:
1 : 6	Generic	XLUIS CHAUSTRE
FECHA:	REVISOR:	PAGINA:
13/10/2023	LUIS CHAUSTRE	2/5

SEPARADOR DE RESIDUOS FERROSOS



NOTA:

- CUERPO FABRICADO EN CHAPA METALICA DE 1/8" DE ESPESOR
- ELECTROIMAN DE ACUERDO A LOS CACULOS.

UNIVERSIDAD FRANCISCA DE PAULA SANTANDER		DESCRIPCION
UFPSSO	UFPSSO	ANEXOS DE PLANOS
ESC.	MATERIAL	DISEÑO
1 : 4	Acero inoxidable	LUIS CHAUSTRE
FECHA	REVISI	PAGINA
13/10/2023	LUIS CHAUSTRE	3/5

Apéndice C. Product data sheet characteristics

Product data sheet Characteristics

XS8D1A1PAM12

Inductive proximity sensors XS, inductive sensor XS8 80x80x26, PBT, Sn60mm, 12...24 VDC, M12



Main

Range of product	Telemecanique Inductive proximity sensors XS
Series name	General purpose
Sensor type	Inductive proximity sensor
Device application	-
Sensor name	XS8
Sensor design	Flat form 80 x 80 x 26
Size	26 mm
Body type	Fixed
Detector flush mounting acceptance	Non flush mountable
Material	Plastic
Enclosure material	PBT
Type of output signal	Discrete
Wiring technique	3-wire
[Sn] nominal sensing distance	40 Mm flush mountable 60 mm non flush mountable
Discrete output function	1 NO
Output circuit type	DC
Discrete output type	PNP
Electrical connection	Male connector M12, 4 pins
[Us] rated supply voltage	12...24 V DC with reverse polarity protection
Switching capacity in mA	<= 200 mA DC with overload and short-circuit protection
IP degree of protection	IP67 double insulation conforming to IEC 60529

Complementary

Detection face	Frontal
Front material	PBT
Fine adjustment zone	20...40 Mm flush mountable 20...60 mm non flush mountable
Differential travel	1...15% of Sr
Supply voltage limits	10...36 V DC
Maximum residual current	1.5 mA open state
Switching frequency	<= 150 Hz
Maximum voltage drop	<2 V (closed)
Current consumption	<= 10 mA no-load
Maximum delay first up	10 ms
Maximum delay response	0.3 ms
Maximum delay recovery	6 ms
Marking	CE
Depth	26 mm
Height	80 mm
Width	80 mm
Net weight	0.34 kg

The information provided in this documentation contains general descriptions and/or technical characteristics of the performance of the products contained herein. This information is provided for informational purposes only and does not constitute an offer or a contract. It is the duty of any such user or integrator to perform the appropriate and complete risk analysis, evaluation and testing of the products with respect to the relevant specific application or use thereof. Neither TMS Holding nor any of its affiliates or subsidiaries shall be responsible or liable for misuse of the information contained herein.

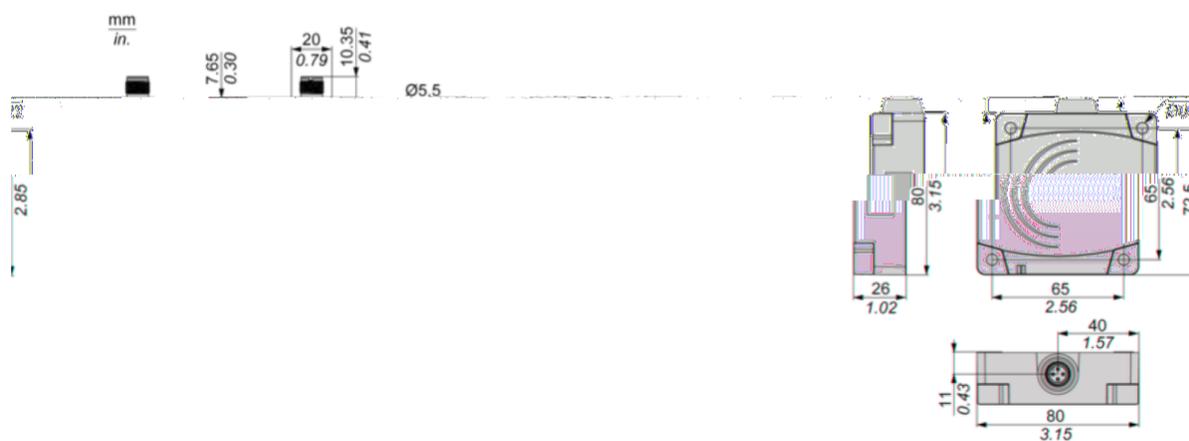
Environment

Product certifications	CSA UL Ecolab
Ambient air temperature for operation	-25...70 °C
Ambient air temperature for storage	-40...85 °C
Vibration resistance	25 gn amplitude = +/- 2 mm (f = 10...55 Hz) conforming to IEC 60068-2-64

Product data sheet
Dimensions Drawings

XS8D1A1PAM12

Dimensions



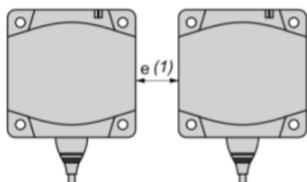
Product data sheet
Mounting and Clearance

XS8D1A1PAM12

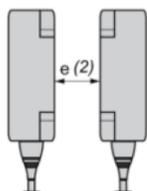
Setting-up

Minimum Mounting Distances (mm)

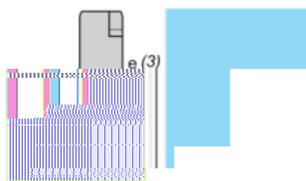
Side by Side



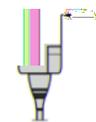
Face to Face



Facing a Metal Object



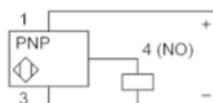
	e (1)	e (2)	e (3)
ted	200	400	40
ounted	600	not recommended	



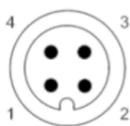
Flush moun
Not flush m

Wiring Schemes

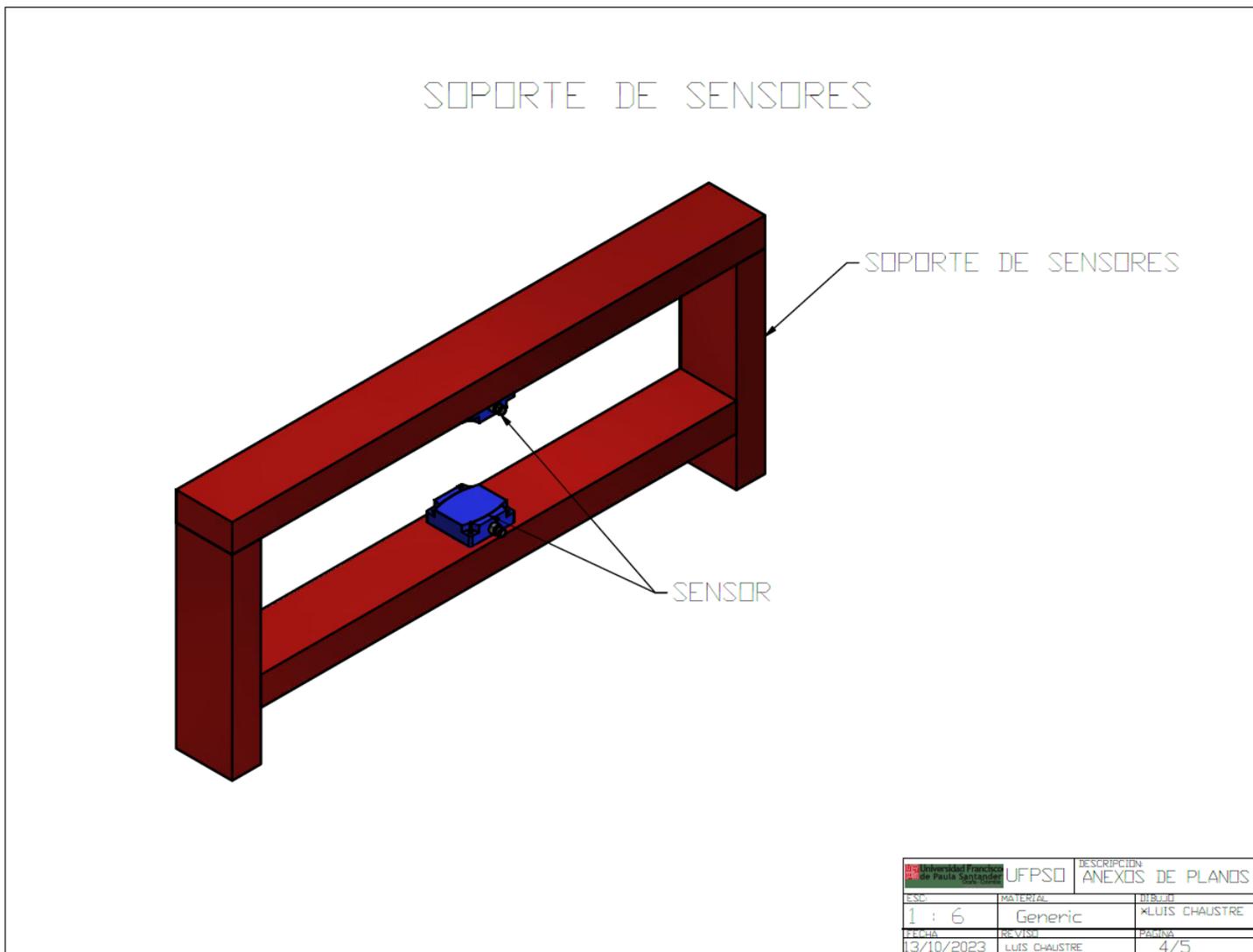
PNP

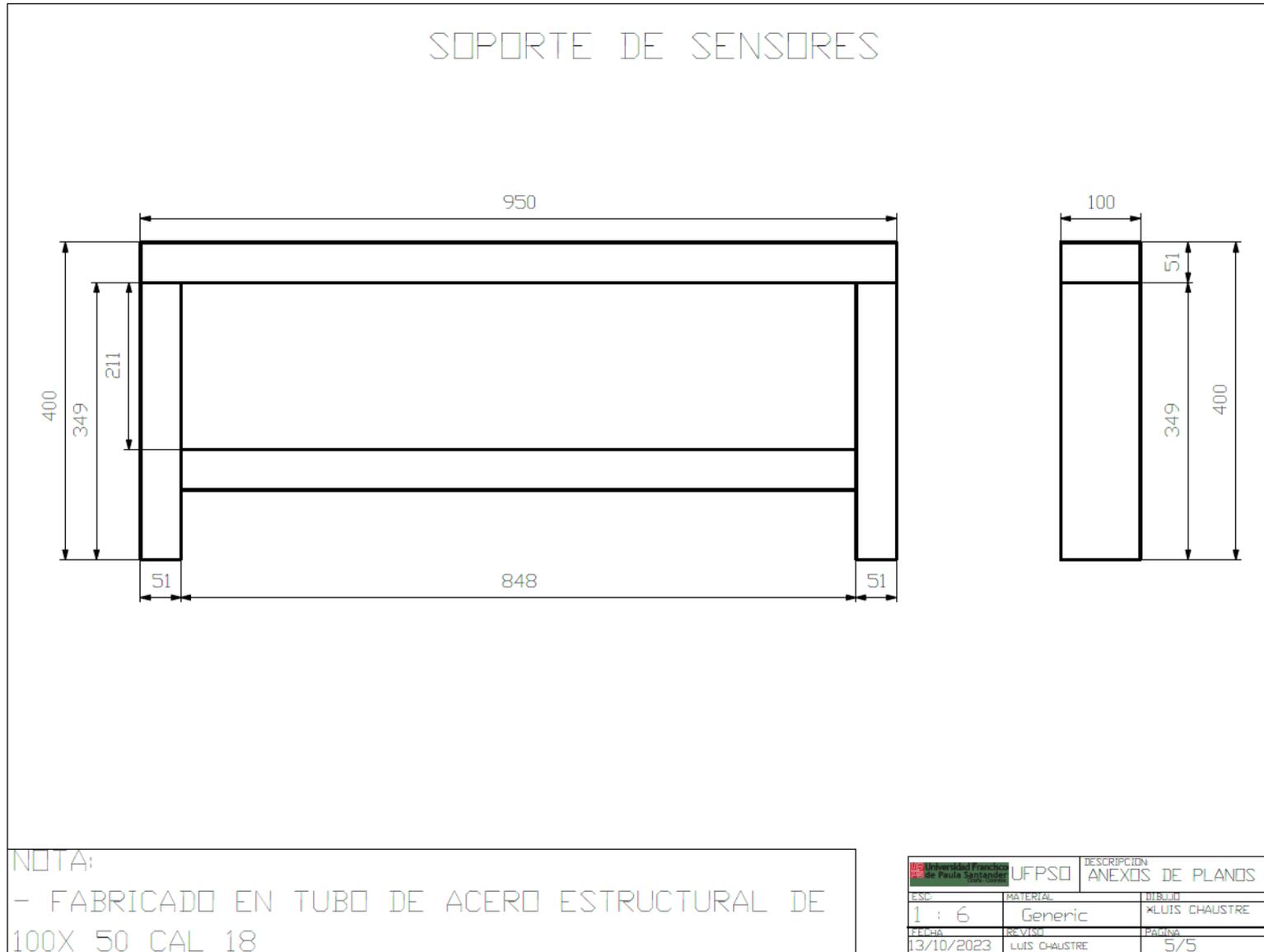


M12

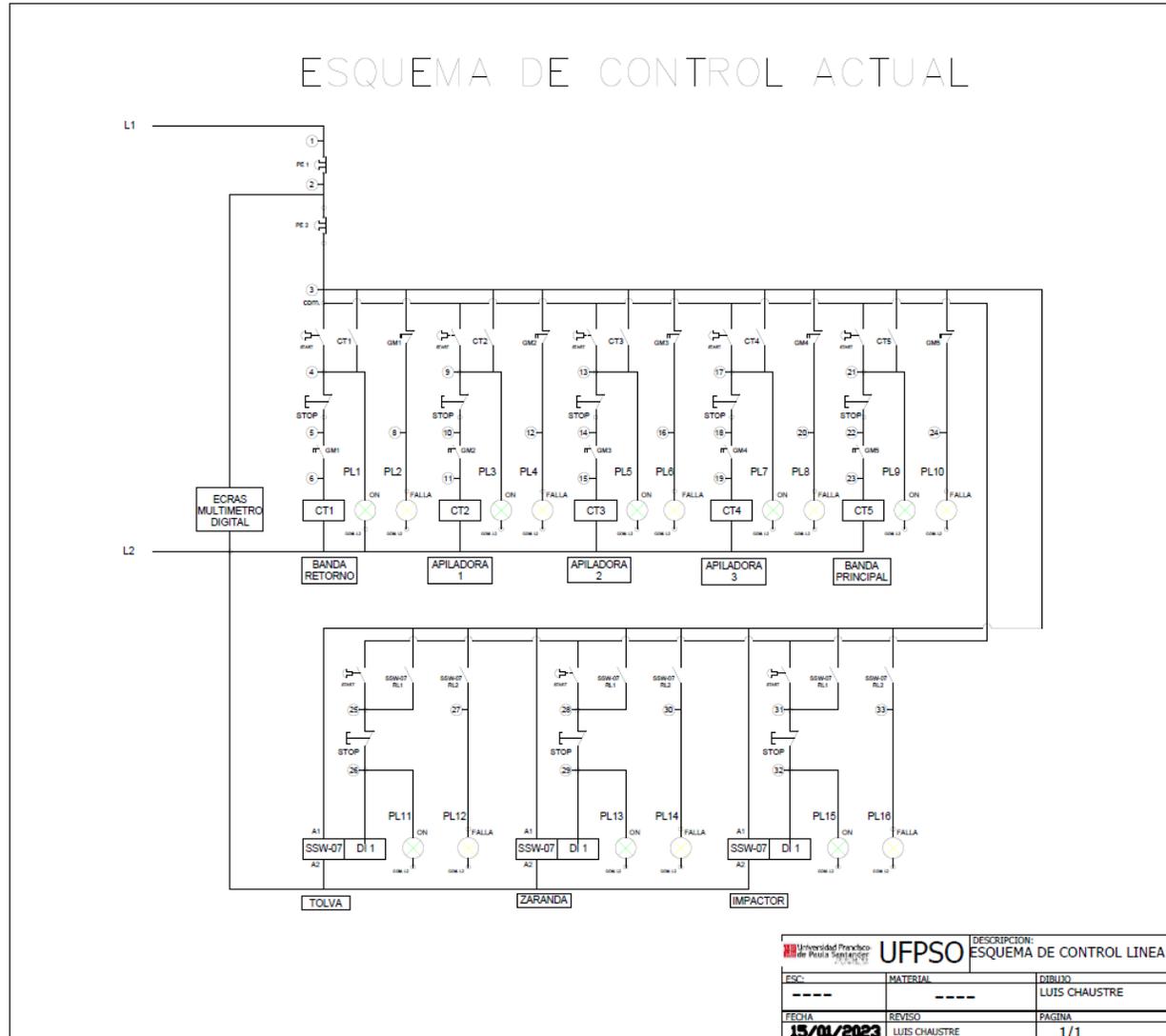


Apéndice D. Soporte de sensores

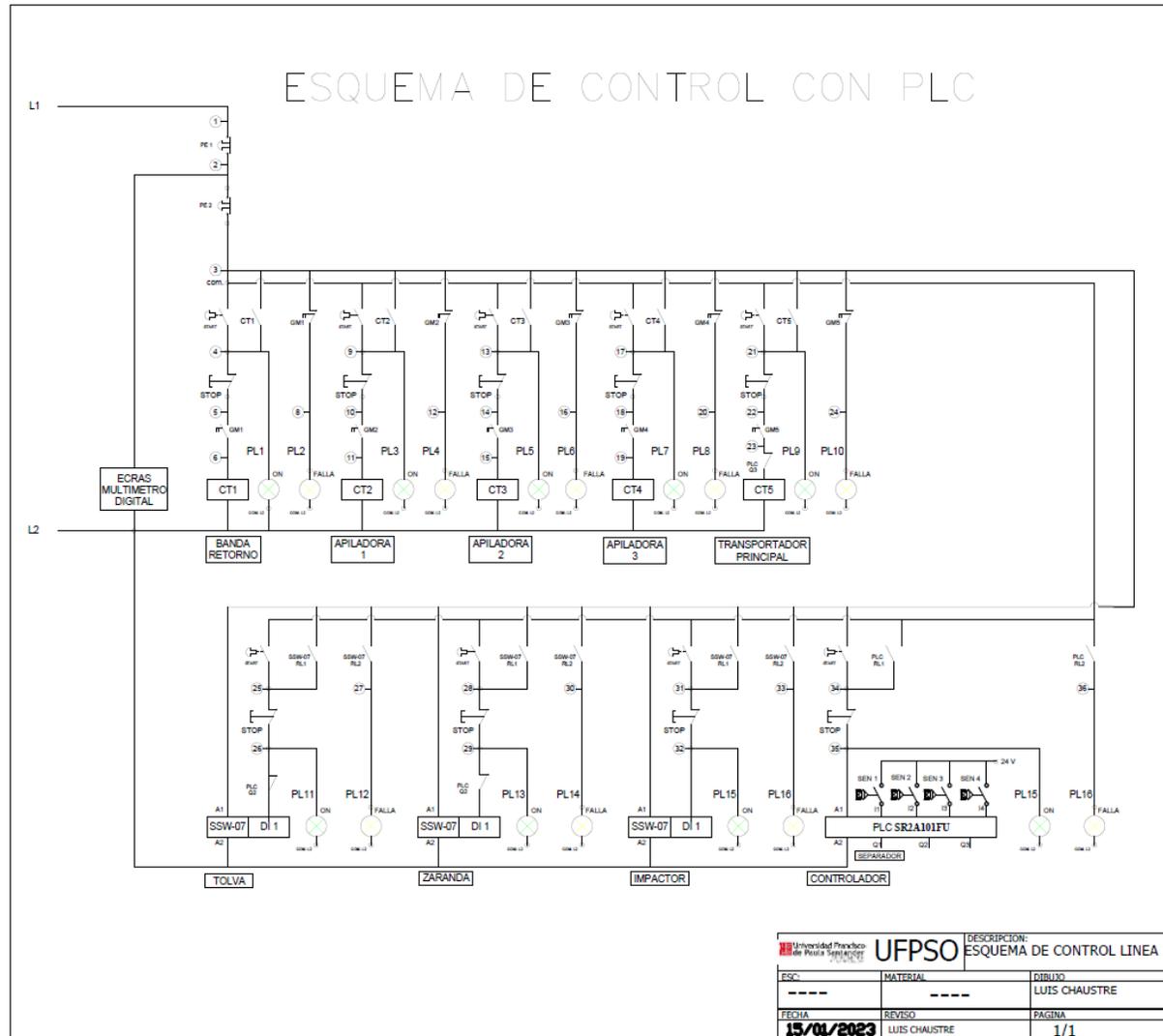




Apéndice E. Esquema de control actual



Apéndice F. Esquema de control con PLC



Apéndice G. Software

En el siguiente Link se puede acceder al software:

https://drive.google.com/file/d/112nUpMsa30EEf3PgjKwKy17Sr0m19S2a/view?usp=drive_link