

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

**MINIMIZAR TIEMPOS MUERTOS EN LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE COBRE UTILIZANDO
ELECTROIMANES**

Trabajo de titulación para optar al Título
de TÉCNICO UNIVERSITARIO EN ELECTRÓNICA

Alumno:

Felipe Javier Alonso Mauna Jara

Profesor guía:

Ing. Sergio Riquelme Bravo

Profesor correferente:

Ing. José Llantén Álvarez

2024

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
Objetivos específicos:	2
CAPÍTULO 1: RETIRO DE PIEZAS FERROMAGNETICAS DURANTE EL PROCESAMIENTO DEL COBRE	4
1.1. ¿QUÉ ES EL COBRE?	4
1.1.1. El cobre en la actualidad	4
1.1.2. Usos del cobre	4
1.1.2.1. Industria eléctrica y electrónica	5
1.1.2.2. Hogar y construcción	5
1.1.3. Otras propiedades	5
1.2. MINERÍA DEL COBRE.....	6
1.3. PROCESO DE OBTENCIÓN DEL COBRE.....	6
1.3.1. Extracción del cobre	6
1.3.1.1. Extracción subterránea	7
1.3.1.2. Extracción a rajo abierto	7
1.4. CHANCADO.....	8
1.5. OTRAS ETAPAS.....	9
1.6. TRASLADO MATERIAL ROCOSO	9
1.7. ELECTROIMÁN	10
1.8. ELECTROIMÁN EN LA MINERÍA	11
1.9. DETECTOR DE METALES	13
1.10. RETIRO PIEZAS	13
2. CAPITULO 2: COMPONENTES Y DESARROLLO DEL PROYECTO	15
2.1. FUNCIÓN Y CONEXIÓN DE COMPONENTES	15
2.2. COMPONENTES DE PROYECTO	15
2.2.1. Motor DC 3-6v con caja reductora.....	16
2.2.2. Electroimán casero.....	16
2.2.3. Arduino UNO.....	17
2.2.4. Sensor ultrasónico HC-SR04	18
2.2.5. Banda transportadora principal y banda transportadora autolimpiante	19
2.3. CARACTERÍSTICAS DE CONSTRUCCIÓN DE UNA BANDA TRANSPORTADORA	20
2.4. USOS INDUSTRIALES.....	21
2.5. ELECTROIMÁN.....	22
2.6 APLICACIONES INDUSTRIALES	23
2.7. FUNCIONAMIENTO	23
2.8. BUZZER	24

3.	CAPITULO 3: DESARROLLO DE IMPLEMENTACIÓN Y COSTOS DEL PROYECTO	29
3.1	RESULTADOS DE IMPLEMENTACIÓN.....	29
3.1.1	Motor con caja reductora	29
3.1.2	Sistema de alimentación para bandas transportadoras.....	31
3.1.3	Sensores de altura y proximidad	32
3.2.	COSTOS DEL PROYECTO	35
3.2.1	Proveedores de componentes y materiales	35
3.2.2	Evaluación de costos por mano de obra.....	36
3.2.3	Costos finales del proyecto.....	37
	CONCLUSIONES.....	39
	BIBLIOGRAFÍA.....	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Ilustración de Chancador	8
Figura 1-2. Manual Chancado y transporte	8
Figura 1-3. Demostración traslado de rocas	9
Figura 1-4. Ilustración electroimán	10
Figura 1-5. Electroimanes en distintas posiciones	11
Figura 1-6. Electroimán en la minería	12
Figura 1-7. Electroimán atrayendo rocas	12
Figura 1-8. Detector de metales	13
Figura 2-1. Motor con caja reductora	16
Figura 2-2 Electroimán casero	17
Figura 2-3. Arduino uno	18
Figura 2-4. Sensor ultrasónico HC-SR04	19
Figura 2-5. Ilustración banda transportadora	20
Figura 2-6. Cinta tesa, trabajo inapropiado	21
Figura 2-7. Cinta flexible, trabajo apropiado	21
Figura 2-8. Cinta transportadora en minería	22
Figura 2-9. Separadores magnéticos sobre cinta	24
Figura 2-10. Separadores magnéticos sobre cinta	24
Figura 2-11. Ilustración de buzzer	25
Figura 2-12. Diagrama de flujo del sistema	26
Figura 3-1. Motor con caja reductora para banda principal	30
Figura 3-2 Motor con caja reductora para banda con electroimán	31
Figura 3-3 Sensor de altura HC-SR04	31
Figura 3-4 Sensor de proximidad HC-SR04	33
Figura 3-5. Sensor de proximidad HC-SR04	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1. Proveedores por componente y/o material.	35
Tabla 3-2. Costos por mano de obra aplicados al proyecto.	36
Tabla 3-3. Costos finales por cada componente y material.	37
Tabla 3-4. Costo final del proyecto desarrollado.	38

SIGLAS Y SIMBOLOGIAS

A. SIGLAS:

CEIM	: Centro de Entrenamiento Industrial y Minero.
SDIMA	: Sistemas e Ingeniería del Magnetismo.
CODELCO	: Corporación Nacional del Cobre de Chile.
DC	: Corriente continua (Direct Current).
RPM	: Revoluciones por Minuto.
USB	: Bus Universal en Serio (Universal Serial Bus).
VCC	: Voltaje en corriente continua.
GND	: Tierra (Ground).

B. SIMBOLOGÍA:

V	: Volt, unidad de medida de potencial eléctrico.
<i>mA</i>	: Mili Amperios.
cm	: Centímetro.
mm	: Mili-metro.
KHz	: Kilo-Hertz.
us	: Micro-segundos.

INTRODUCCIÓN

En la minería del cobre la primera etapa del proceso productivo es la extracción de las rocas de diferentes tamaños que vienen contaminadas principalmente por piezas metálicas. Con el fin de evitar que estas piezas lleguen al siguiente paso del proceso productivo, denominado como chancado, se utilizan detectores de metales que, como su nombre lo indica, cumplen la función de detectar el metal, ubicarlo y detener la cinta transportadora para proceder a retirarlo del proceso. No obstante, este paso significa retrasos en el proceso de chancado, por lo que la implementación de un electroimán puede ser una solución de limpieza automática que reemplace a los detectores de metales.

Este electroimán se sitúa sobre la cinta transportadora a una altura mínima que permitirá la recuperación de todas las piezas ferromagnéticas que puedan encontrarse entre el material rocoso que circula por la cinta transportadora.

La implementación del electroimán significa una solución a los tiempos muertos producidos no solo por las detenciones de la cinta transportadora, sino que también por el tiempo que les toma los operadores retirar los contaminantes de forma manual durante la línea de producción. No obstante, la instalación del electroimán requiere además la instalación de un sensor de detección de altura que cumpla con detectar rocas de sobre tamaño que pudiese causar daño tanto al electroimán como al chancador, actuando, por lo tanto, como una medida de protección del sistema de recuperación de metales.

Objetivo general:

Implementar un circuito para activar un electroimán que disminuya los tiempos muertos en el retiro de elementos ferromagnéticos en la línea de producción.

Objetivos específicos:

1. Instalar un dispositivo que sea capaz de retirar el material ferromagnético sin detener la cinta transportadora, eliminando los tiempos muertos de descarga manual de material ferromagnético.
2. Combinar el uso del electroimán junto con el detector de metales para optimizar los tiempos muertos en la cinta transportadora.
3. Determinar las variables necesarias para la instalación del sensor de altura en la cinta transportadora.
4. Realizar pruebas utilizando materiales que simulan el comportamiento de elementos ferromagnéticos durante el proceso de extracción, para evaluar la efectividad del circuito en condiciones similares a las reales de producción.

CAPÍTULO 1: RETIRO DE PIEZAS FERROMAGNÉTICAS DURANTE EL PROCESAMIENTO
DEL COBRE

CAPÍTULO 1: RETIRO DE PIEZAS FERROMAGNETICAS DURANTE EL PROCESAMIENTO DEL COBRE

En este capítulo se presentará la idea a la cual va dirigido este proyecto. Se dará a conocer la historia del cobre y algunos aspectos relevantes a la minería, posteriormente se hablará del electroimán y retiro de piezas ferromagnéticas.

1.1. ¿QUÉ ES EL COBRE?

El cobre es un elemento metálico de color rojizo que se encuentra al interior de la tierra. Una de las características más importantes que tiene el cobre es ser un gran conductor de electricidad, por lo que está presente de muchas formas en el día a día, siendo utilizado para fabricar cables, producir monedas así también en tuberías de plata (Codelco Chile, 2018).

1.1.1. El cobre en la actualidad

Este mineral es importante por el rol protagónico que juega en la economía del país. “Cuando el precio del cobre es mayor en los mercados internacionales y Codelco obtiene resultados anuales positivos, el aporte a las arcas fiscales resulta muy significativo” (Codelco, Chile, 2018).

1.1.2. Usos del cobre

El cobre es ampliamente utilizado en diversas actividades de la vida cotidiana pero también en la parte industrial, algunos de sus usos y que son importantes de destacar tenemos los siguientes:

1.1.2.1. Industria eléctrica y electrónica

El cobre es utilizado tanto en las comunicaciones como el transporte, dentro de los que se puede nombrar: **celulares**: son cerca de 600 mil toneladas de cobre a nivel mundial que permiten formar parte de los circuitos y baterías. En **cables eléctricos**, al tener como propiedad ser un excelente conductor se utiliza principalmente en la mayoría de las conexiones cableadas logrando con ello entregar energía a los electrodomésticos que son indispensables en los diferentes hogares. También en **electrónica** se utiliza como aislantes o conductores en artefactos electrónicos. En **computadores** siendo utilizado el cobre en la fabricación de sus principales componentes como: tarjetas de circuitos impresos que permiten llevar las fuentes de energía a las diversas partes de este tipo de equipamiento. Finalmente, en transporte formando parte de los motores y sistemas electrónicos de automóviles, aviones, trenes, barcos y otros (Codelco, Chile, 2018).

1.1.2.2. Hogar y construcción

No podemos dejar de lado que el cobre también se ha incorporado a los hogares formando parte de utensilios de cocina, así como además en los sistemas de calefacción y refrigeración, en donde éstos son en base a tubos ranurados de cobre que logran por las características propias transferir adecuadamente el calor y el flujo de refrigerante mucho más rápido (Codelco, Chile, 2018).

1.1.3. Otras propiedades

Además, posee otras propiedades que lo convierten en un elemento imprescindible para la vida cotidiana de las personas, siendo utilizado como un antibacteriano, no pierde sus propiedades mecánicas “y es fácil de reciclar” (Codelco, Chile, 2018).

1.2. MINERÍA DEL COBRE

En la minería del cobre el primer proceso es la extracción. Tal como su nombre lo indica, en este procedimiento se extrae el cobre de la Tierra, siendo el objetivo principal, sacar el mineral del macizo rocoso para llevarlo de forma segura a la planta donde será separado de otros minerales obteniendo el cobre más puro. El mismo que después se vende en el mercado internacional (Codelco, Chile, 2018).

1.3. PROCESO DE OBTENCIÓN DEL COBRE

El proceso productivo del cobre en sí consiste en una serie de procedimientos que se realizan para alcanzar un cobre de alta concentración, lo que se traduce a un cobre libre de la mayor cantidad de impurezas (Codelco, Chile, 2018). Para conocer en detalle este proceso se logra identificar las siguientes etapas:

- **Perforación:** Consiste en hacer hendiduras en la tierra en las que más adelante se pondrán explosivos.
- **Tronaduras:** Los explosivos puestos en los hoyos son detonados a control remoto para fragmentar el macizo rocoso.
- **Carguío:** Mediante palas equipos de gran tonelaje se cargan los camiones que llevarán el material recolectado a las plantas de procesamiento del cobre.
- **Transporte:** Los camiones, trenes o correas transportadoras llevan las rocas a su lugar de destino para continuar con el proceso productivo.

1.3.1. Extracción del cobre

En esta etapa se logra acceder al mineral rojo a través de la utilización de explosivos, siendo uno de los objetivos extraerlo y llevarlo a la planta donde será separado de otros minerales.

Para acceder a este mineral se necesita realizar dos tipos de extracción: Subterránea y a Rajo abierto.

1.3.1.1. Extracción subterránea

La extracción subterránea se realiza cuando el yacimiento de cobre tiene una cubierta estéril muy espesa, lo que significa que es necesario, por tanto, hacer labores subterráneas como túneles, galerías, rampas, etc. para acceder al mineral y llegar a lo más profundo.

Al interior de la tierra se construye una obra ingenieril de gran envergadura que contiene las diferentes zonas necesarias para la extracción, como son las áreas de producción, servicios, ventilación, transporte, etc. (Codelco Chile, 2018).

Este proceso de extracción se basa en el derrumbe mediante explosivos de grandes porciones rocosas, cuyos fragmentos, por efecto de la gravedad, caen en embudos contruidos especialmente para la recolección del material (Codelco Chile, 2018).

1.3.1.2. Extracción a rajo abierto

Este tipo de extracción se realiza cuando la zona en la que se encuentra el yacimiento presenta las condiciones necesarias para extraer el mineral desde la superficie. No se requiere construir túneles y galerías bajo tierra, el trabajo se desarrolla en amplias superficies "a cielo abierto", por lo que no es extraño encontrar camiones y máquinas gigantes (Codelco Chile, 2018).

1.4. CHANCADO

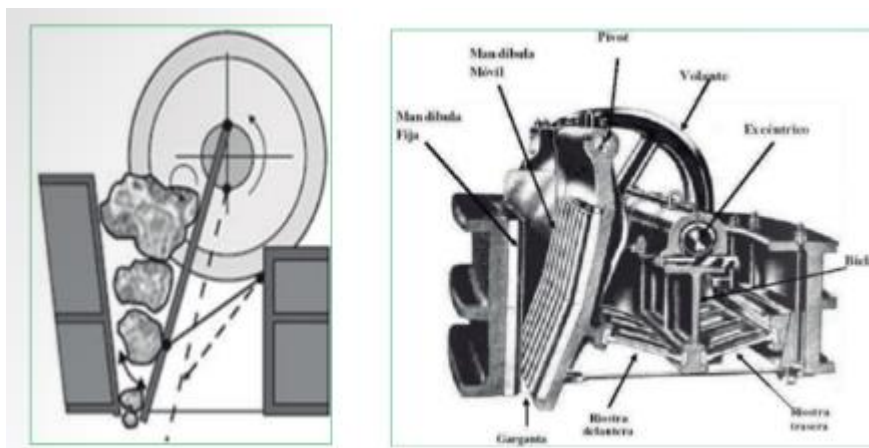
En este proceso se logra la reducción de las rocas que llegan a la planta igualando su tamaño para que a partir de estos fragmentos de roca puedan ser tratados en las posteriores etapas del proceso productivo.

Durante esta etapa a través de la utilización de equipos especializados como son los chancadores (Figura 1-1 y 1-2) se logra demoler las rocas hasta lograr el tamaño deseado pasando por tres niveles de chancado: etapa primaria (8 pulgadas), etapa secundaria (3 pulgadas) y etapa terciaria (1/2 pulgada) (Codelco Chile, 2018).



Fuente: Codelco Chile, 2018. Proceso Chancado

Figura 1-1. Ilustración de Chancador



Fuente: Manual Chancado y transporte. CEIM

Figura 1-2. Manual Chancado y transporte

1.5. OTRAS ETAPAS

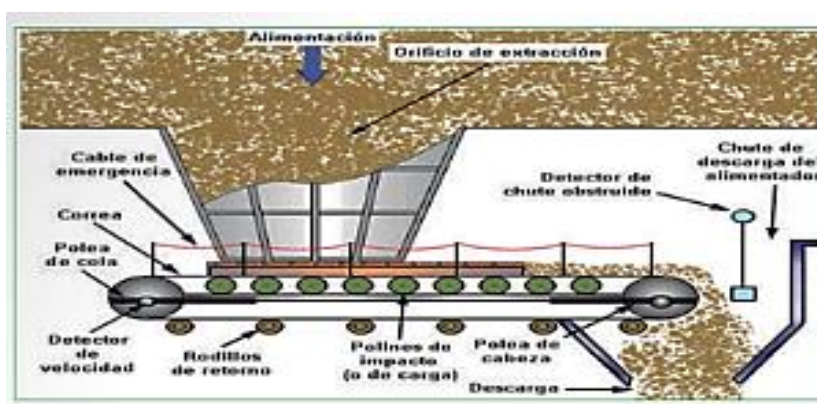
Si bien el proceso de obtención del cobre y que ha sido detallado anteriormente permite entregar información que será utilizada en el trabajo que se va a desarrollar, se necesita nombrar al menos estas etapas que finalmente entregan un cobre de alta pureza, estas etapas son: molienda y flotación.

El proceso de molienda se realiza utilizando grandes equipos giratorios o molinos de forma cilíndrica. El mineral proveniente del chancado se coloca dentro de estos aparatos y se les agrega agua y los reactivos necesarios para realizar la siguiente etapa del proceso productivo, la Flotación.

La Flotación se define como un proceso físico-químico de tensión superficial que separa los minerales sulfurados del metal de otros minerales. Durante este proceso, el mineral molido se adhiere superficialmente a burbujas de aire previamente insufladas, lo que determina la separación del mineral en interés.

1.6. TRASLADO MATERIAL ROCOSO

Previo al chancado es necesario trasladar el material rocoso a través de correas transportadoras, como puede verse en la figura 1-3, sin restos metálicos que puedan dañar el equipo y sin que se produzcan los tiempos muertos que significan el retiro de forma manual de estos restos, por tanto, utilizar un electroimán autolimpiante que complemente además la función del detector de metales logrará el traslado de material libre de contaminante ferroso de un punto a otro en la línea de producción evitando la detención de la cinta repetidas veces.



Fuente: Manual Chancado y transporte. CEIM

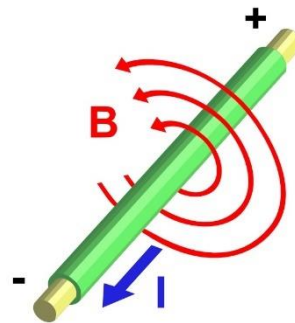
Figura 1-3. Demostración traslado de roca

1.7. ELECTROIMÁN

Según Lifeder (2019), un electroimán “es un dispositivo que produce magnetismo a partir de la corriente eléctrica. Si la corriente eléctrica cesa, entonces también desaparece el campo magnético”.

Para Lifeder (2019), “una ventaja de los electroimanes es que el campo magnético puede establecerse, aumentarse, disminuirse o quitarse por medio del control de la corriente eléctrica”, lo que se probará en el estudio presentado.

Por otra parte, es interesante además indicar que, en los materiales ferromagnético, existen los momentos magnéticos que se pueden alinear y formar estas regiones denominadas “dominios magnéticos”. Cuando un campo externo es aplicado, estos dominios se alinean (Lifeder, F. 2019).



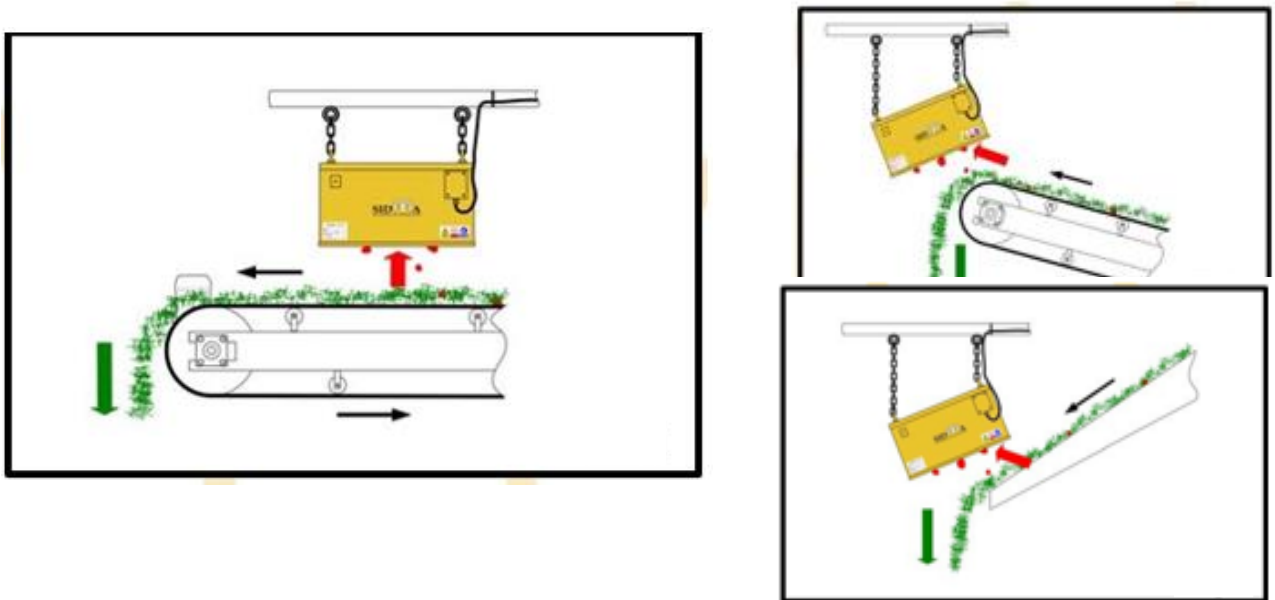
Fuente: Wikimedia Commons. Campo magnético producido por un cable recto.

Figura 1-4. Ilustración electroimán

El electroimán (Figura 1-4), en síntesis, “consiste en una bobina insertada en un núcleo de hierro, que al ser alimentada con energía eléctrica produce una fuerza magnética capaz de atraer y retener las piezas férricas que se aproximan a su campo magnético” (Ibercassel, consultado el 07.06.22). La fuerza de atracción, así como su distancia de actuación, es muy superior, siendo utilizados principalmente para granulometrías elevadas o alturas de trabajo importantes.

Cuando se corta la alimentación eléctrica del electroimán las piezas metálicas adheridas a él se desprenden por sí solas.

Así como se ilustra en la Figura 1-5, la instalación del electroimán es en una posición de suspensión sobre una cinta transportadora paralelos a la misma, permitiendo de esta forma que funcionen de acuerdo con lo que se requiere.



Fuente: SIDMA, 2018. Electroimán

Figura 1-5. Electroimanes en distintas posiciones

1.8. ELECTROIMÁN EN LA MINERÍA

En los procesos de la minería es inevitable que fragmentos de piezas metálicas pasen dentro del chancador.

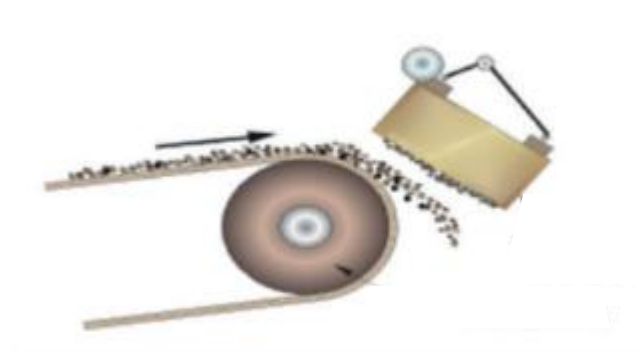
Estos metales representan un peligro en este proceso por el daño que le provoquen a los equipos, por lo tanto, la única forma de retirar estos fragmentos de hierro es utilizando un electroimán, el cual se debe suspender encima de la polea de cabeza y correa de traspaso.

A medida que el mineral rocoso va pasando, la función del electroimán es atraer y retener el material magnético contenido en el mineral (Figura 1-6 y 1-7). No obstante, cada cierto tiempo cuando la correa esté detenida, el electroimán se mueve a su posición normal y se limpia apagando el suministro de energía al imán y permitiendo que el material retenido entre en un recipiente adecuado para su remoción (CEIM, 2020).



Fuente: Electroimán Eriez, 2018. Electroimán

Figura 1-6. Electroimán en la minería



Fuente: CEIM. Electroimán de alimentador de correas.

Figura 1-7. Electroimán atrayendo rocas

1.9. DETECTOR DE METALES

La utilización de detectores de metales, los que se ven ilustrados en la Figura 1-8, permite la identificación de la presencia de metales, en el caso particular que se encuentren entre las rocas que son trasladadas por las cintas transportadoras hacia el proceso de chancado dando una protección adicional a los chancadores secundarios para aquellos materiales inchancables que no hayan sido atrapados por el electroimán.



Fuente: RTS. 2020. Detector de metales

Figura 1-8. Detector de metales

1.10. RETIRO PIEZAS

En un dispositivo óptimo, es esencial contar con un buen diseño que permita el retiro de las piezas contaminantes sin detener la correa transportadora, utilizando materiales y procedimientos que mejoren la lógica funcional del sistema.

Para montar este equipo se requiere cumplir las siguientes etapas:

1. Calcular la potencia que debe tener el electroimán para saber los kilos que es capaz de levantar a cierta altura.
2. Elegir la ubicación y la forma de anclaje del electroimán autolimpiante.
3. Realizar un estudio para la ubicación de sensores de detección altura y metales.
4. Disponer los espacios para los receptáculos que reciba el material ferromagnético.
5. Desarrollar la lógica de control.

CAPÍTULO 2: COMPONENTES Y DESARROLLO DEL PROYECTO

2. COMPONENTES Y DESARROLLO DEL PROYECTO

En este capítulo se presentarán las características de los componentes que se utilizarán para desarrollar la prueba de concepto y podrán ser vistas las conexiones de cada componente, así como también su función específica en el desarrollo de la solución escogida.

En esta parte del informe se mostrará la presentación de los componentes junto a su ubicación física y su función en dicho prototipo, además de algunas consideraciones para la aplicación de la idea un prototipo funcional.

2.1. FUNCIÓN Y CONEXIÓN DE COMPONENTES

Para el desarrollo de un prototipo funcional que pueda demostrar la idea de la propuesta escogida, se utilizaran componentes que se mostraran a continuación.

Dichos componentes requieren de algunas adaptaciones para ser montados y así cumplir su cometido y aportar al correcto funcionamiento de dicho prototipo. Las adaptaciones en este caso no fueron más que modificaciones de cableado.

2.2. COMPONENTES DE PROYECTO

Para conformar las distintas partes del proyecto, se utilizarán variados componentes electrónicos. Estos tendrán su función específica para desarrollar la solución elegida y así mejorar la automatización del proceso de extracción de elementos ferromagnéticos.

2.2.1. Motor DC 3-6v con caja reductora

Estos motores DC (Figura 2-1) cumplirán la tarea de hacer funcionar la cinta transportadora y así transportar las rocas y metales. El modelo de dichos motores incluye una caja reductora para poder adaptarla a la velocidad ideal de la cinta transportadora. Se alimenta con voltajes entre el rango de 3 a 6 volts, tiene una velocidad angular nominal de 125 RPM, consumiendo un máximo de 150mA.

Sus dimensiones con la caja reductora son de 2,4cm de largo, 4cm de ancho y de 6,5cm de altura.

Posee dos terminales, los cuales son el pin de alimentación y el pin de tierra.



Fuente: <https://n9.cl/rmz5l>

Figura 2-1. Motor con caja reductora

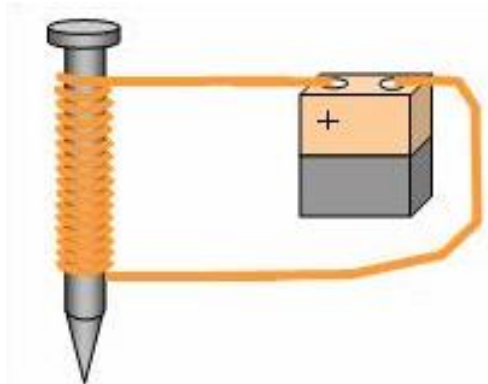
2.2.2. Electroimán casero

Este electroimán casero está conformado por una pila para alimentarlo, clavo de hierro largo y alambre de cobre esmaltado (Figura 2-2). Se usa este alambre de cobre esmaltado porque tiene una resistencia baja, esto significa que la corriente le es fácil fluir por él. Además, el alambre de cobre se le puede dar fácilmente forma para hacer una bobina.

Al conectar los dos extremos del cobre a la pila y al acercar el clavo enrollado con el alambre de cobre esmaltado a objetos de fierro, son atraídos por el clavo.

Esto es debido a que la corriente eléctrica de la pila crea un campo magnético alrededor del clavo, si se desconecta cualquier extremo del alambre se desvanece ese campo.

El campo magnético generado por el alambre esmaltado por el que pasa corriente se puede potenciar al tener el alambre en forma de espiral, aumentando el recorrido de la corriente y por lo tanto potenciando el campo magnético.



Fuente: <https://n9.cl/6fx2o>

Figura 2-2 Electroimán casero

2.2.3. Arduino UNO

Arduino es una plataforma de desarrollo basada en una placa electrónica de hardware libre que incorpora un microcontrolador re-programable y una serie de pines hembras (Figura 2-3). Estos permiten establecer conexiones entre la tarjeta de desarrollo y los diferentes sensores y actuadores. En cuanto a los valores de voltaje para su alimentación, estos están en el rango de 7 a 12 Volts. También puede ser alimentada vía USB, el cual entrega un voltaje de 5 Volts.

El lenguaje de código utilizado para su programación es una combinación de lenguaje C y lenguaje C++. Esta tarjeta estará encargada de controlar todo lo referente al sistema de alerta, tal como sensores, buzzer y luces de indicaciones.



Fuente: <https://n9.cl/lss2u>

Figura 2-3. Arduino UNO

2.2.4. Sensor ultrasónico HC-SR04

El sensor HC-SR04 está equipado con un emisor de pulsos ultrasónicos, un receptor de estos y un circuito de control (Figura 2-4). Gracias a estos pulsos se pueden medir distancias que están en el rango de 2 a 400cm y dichas mediciones pueden variar en un máximo de 3 mm debido a la precisión del sensor.

Respecto a la conexión, el HC-SR04 trae cuatro pines. El pin de energización o VCC, el que se debe conectar a una tensión de 5 Volts. Posteriormente se encuentra el pin Trigger, en el que se debe colocar, a través de la tarjeta de desarrollo que comanda al sensor, una entrada de tiempo. Dicha entrada de tiempo le permitirá al mismo, enviar un pulso con una duración nominal mínima de diez microsegundos ($10 \mu\text{s}$). El pulso es enviado con una frecuencia de trabajo de 40 KHz, a la velocidad del sonido, la cual corresponde a 340 metros por segundo.

A continuación, se ubica el pin Echo. En este pin de salida, se puede observar el tiempo que transcurre desde que se lanza el pulso ultrasónico, hasta que retorna al sensor. Finalmente se visualiza el pin GND, en el que se debe conectar la tierra de la alimentación.

Para medir distancia se debe aplicar una conversión matemática, ya que al conocer el tiempo que demora el pulso y la velocidad de este, se puede calcular la distancia recorrida por el mismo.

En la propuesta elegida, este sensor tendrá la función de detectar si hay alguna roca de sobre tamaño así protegiendo el electroimán.



Fuente: <https://n9.cl/zdq3i>

Figura 2-4. Sensor ultrasónico HC-SR04

2.2.5. Banda transportadora principal y banda transportadora autolimpiante

Las bandas y rodillos transportadoras son elementos auxiliares de las instalaciones industriales, cuyo objetivo es el de recibir un producto de forma continua para conducirlo a otro punto. Son mecanismos que funcionan solos, intercalados en las líneas de proceso y que no requieren generalmente de ningún operario que manipule directamente sobre ellos de forma continua. Un ejemplo de banda transportadora puede verse ilustrado en la Figura 2-5.

Las cintas o bandas transportadoras se usan extensivamente para transportar materiales agrícolas e industriales, tales como granos, carbón, etc. A menudo, para cargar o descargar buques cargueros o camiones, se utilizan en embotelladoras, en industrias farmacéuticas, en los aeropuertos para la organización y distribución de equipaje, etc.

El funcionamiento de las bandas transportadoras está familiarizado con la teoría y los fundamentos de la transmisión por correa. Un análisis general de las bandas transportadoras permite determinar que la transmisión por correa provee una base para el diseño de las mismas y transportadores elevadores.



Fuente: <https://n9.cl/l8c69>

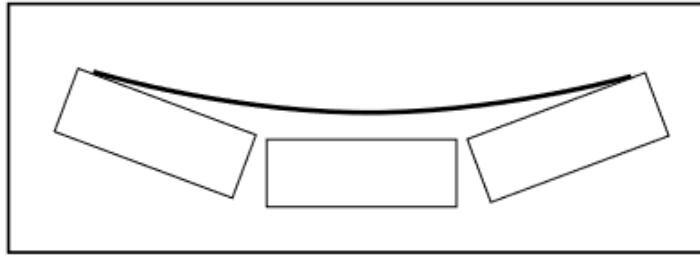
Figura 2-5. Ilustración banda transportadora

2.3. CARACTERÍSTICAS DE CONSTRUCCIÓN DE UNA BANDA TRANSPORTADORA

Una banda transportadora es un medio de transporte de material de un punto de inicio a un punto de llegada. Para efectuar el trabajo de un punto a otro, la correa requiere potencia. La potencia es proporcionada por un tambor motriz o una polea de conducción. El torque del motor se transforma en fuerza tangencial o también llamada tensión efectiva.

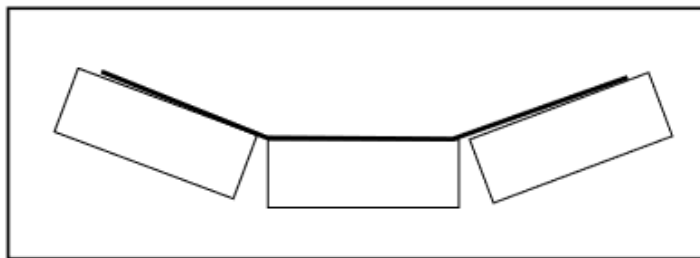
- La tensión requerida por la correa para mover el material de un punto a otro es la suma de lo siguiente
- La tensión que debe vencer la fricción de la correa y de los componentes en contacto con ella
- La tensión que debe vencer la fricción de la carga.

El diseño de la cinta debe ser respetado y chequeado, de tal manera que se pueda evitar fallas en la tensión de la correa como se observa en la Figura 2-6, y tenga un funcionamiento efectivo como se observa en la Figura 2-7. Para cada material a transportar existen valores de referencia establecidos, así como métodos para el cálculo de estos.



Fuente: <https://n9.cl/rvfwy>

Figura 2-6. Cinta tiesa, trabajo inapropiado



Fuente: <https://n9.cl/rvfwy>

Figura 2-7. Cinta flexible, trabajo apropiado

2.4. USOS INDUSTRIALES

Los principales usos de las bandas transportadores se dan en minería, construcción, en la industria alimenticia, etc. Para este caso se dará el uso en la minería, en donde usualmente las bandas transportadoras lucen como en la Figura 2-8.

La mano de obra en el transporte de material de un punto a otro puede ser muy costosa. Inclusive no sería eficiente debido a que normalmente las cuevas o sitios mineros se encuentran en sitios a los que el ingreso es complicado. Para zonas mineras una banda transportadora puede atravesar pasos inclinados y extenderse por millas de terreno con curvas horizontales y verticales sin ningún problema.



Fuente: <https://n9.cl/e8xzi>

Figura 2-8. Cinta transportadora en minería

2.5. 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 se usan en muchas situaciones en las que se necesita un campo magnético variable rápida o fácilmente. Muchas de estas aplicaciones implican la deflexión de haces de partículas cargadas, como en los casos del tubo de rayos catódicos y el espectrómetro de masa.

Los electroimanes se usan en los motores eléctricos para producir un campo magnético rotatorio y en los motores lineales para producir un campo magnético itinerante que impulse la armadura. Aunque la plata es el mejor conductor de la electricidad, el cobre es usado más a menudo, debido a su relativo bajo costo, y a veces se emplea aluminio para reducir el peso.

2.6 APLICACIONES INDUSTRIALES

Las aplicaciones industriales que puede tener un electroimán de este tipo dependen del cliente, en este se supuso la necesidad de levantar plazas metálicas continuamente, debido a la dificultad en el transporte de este tipo de material el electroimán se convierte en un elemento indispensable en la cadena de producción.

El diseño que se tiene pensado es en incluir el electroimán a otra banda transportadora por dentro para que esta puede facilitar la limpieza de elementos ferromagnéticos sin necesidad de detener la banda transportadora.

La automatización de un proceso como este, incrementa las ganancias del cliente, ya que aumenta la productividad y disminuye los riesgos intrínsecos de un proceso de transporte no automatizado

2.7. FUNCIONAMIENTO

La pieza ferromagnética que circula por la cinta transportadora, al entrar en el campo magnético generado por el electroimán, es atraída y asciende hasta la cinta que rodea al electroimán.

Los nervios de esta cinta arrastran a las piezas férricas hasta sacarlas del campo magnético generado por el electroimán en donde se desprenden libremente.

El montaje de estos separadores puede realizarse de forma transversal sobre la cinta transportadora o de forma longitudinal en cabeza de cinta (Figura 2-9 y 2-10).

La elección del separador ideal y el montaje más adecuado va a depender de diversos factores:

- Tipo de producto
- Velocidad y caudal del transporte
- Granulometría
- Dimensiones del material magnético.



Fuente: <https://n9.cl/v3yea>

Figura 2-9. Separadores magnéticos sobre cinta



Fuente: <https://n9.cl/v3yea>

Figura 2-10. Separadores magnéticos sobre cinta

2.8. BUZZER

Un buzzer o zumbador (Figura 2-11) es un transductor electroacústico que produce un sonido o zumbido continuo o intermitente de un mismo tono. Sirve como mecanismo de

señalización o aviso y se utiliza en múltiples sistemas, como electrodomésticos, incluidos los despertadores.

Inicialmente este dispositivo está basado en un sistema electromecánico que era similar a una campana eléctrica, pero sin el badajo metálicos, el cual imitaba el sonido de una campana.

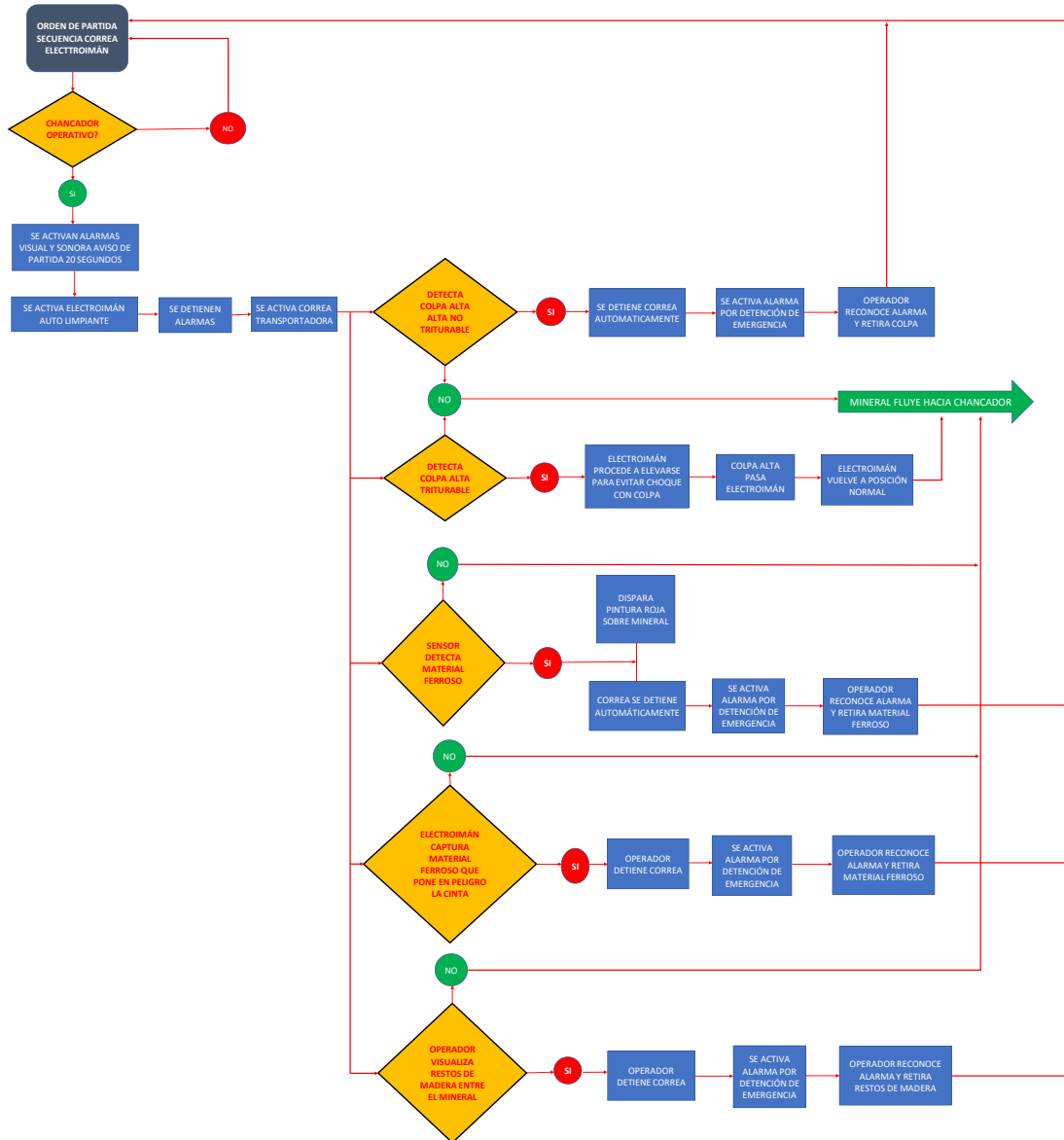
Su construcción consta de dos elementos, un electroimán o disco piezoeléctrico y una lámina metálica de acero o metal. El zumbador puede ser conectado a circuitos integrados especiales para así lograr distintos tonos.

Para este proyecto el zumbador cumplirá la función que indicará por medio de su sonido el comienzo de la banda transportadora.



Fuente: <https://n9.cl/8fg17h>

Figura 2-11. Ilustración de Buzzer



Fuente: Diagrama creado por el alumno

Figura 2-12. Diagrama de flujo del sistema

En el diagrama adjunto en la figura 2-12, se representa la idea del funcionamiento en el sistema.

El diagrama de flujos comienza con la orden de partida de la secuencia en la correa del electroimán, viendo primero si el chancador está operativo para triturar las rocas, en el caso que no esté operativo se tiene que llevar a cabo nuevamente la secuencia de partida en la correa del electroimán. Si está operativo para triturar las rocas el chancador se dará aviso mediante unas alarmas visuales y sonoras durante 20 segundos la partida, se activa el electroimán autolimpiante, pasados los 20 segundos se detienen las alarmas y se activa el movimiento de la correa transportadora principal. Si se detecta una colpa alta alta no triturable se detendrá la correa principal automáticamente, activándose de esta forma una alarma indicando la detención de emergencia, por este motivo el operador de turno debe reconocer esta alarma de

emergencia y retirar la colpa haciendo uso de una grúa o garra mecánica. Una vez el operador retira la colpa se vuelve a dar la secuencia de orden de partida en la correa electroimán. Si no es detectada ninguna colpa o impedimento, el mineral fluye hacia el chancador.

Si se detecta una colpa alta triturable, el electroimán procede a elevarse para evitar un choque con la colpa, una vez la colpa alta pasa por el electroimán, este vuelve a su posición pasando sin problemas la colpa hacia el chancador. En el caso que no sea detectada ninguna colpa alta, el electroimán permanecerá en su posición, yendo hacia el chancador las rocas y el mineral.

El sensor detecta un material ferroso, una pistola dispara una pintura roja sobre el mineral indicando en que parte se encuentra el material ferroso, deteniendo a su vez la correa automáticamente, encendiéndose la alarma de detención de emergencia. El operador debe reconocer la alarma y retirar el material ferroso para volver a dar inicio nuevamente la secuencia de orden de partida principal.

Si el electroimán captura un material ferroso que pone en peligro la cinta, el operador deberá detener la correa activando la alarma de detención de emergencia, a su vez el operador debe reconocer la alarma y retirar el material ferroso dando inicio a la secuencia de orden de partida principal. En el caso que el material ferroso capturado por el electroimán no dañe la cinta se ira por la banda del electroimán en dirección al chute limpiando automáticamente la banda del electroimán.

En situaciones el operador deberá estar atento si visualiza restos de maderas entre el mineral ya que estos no son atraídos por el electroimán y pueden causar daños al chancador, antes de que eso ocurra el operador deberá detener la correa activándose la alarma de detención de emergencia para que el operador retire los restos de madera de la banda principal para dar inicio a la secuencia de orden de partida de la banda principal. Si no se detectan restos de maderas la banda seguirá transportando el mineral y material rocoso al chancador.

CAPÍTULO 3: DESARROLLO DE IMPLEMENTACIÓN Y COSTOS DEL PROYECTO

3. DESARROLLO DE IMPLEMENTACIÓN Y COSTOS DEL PROYECTO

En este capítulo se muestran los resultados del armado e implementación de una maqueta, enseñando el funcionamiento de las partes del proyecto según lo esperado o no. Luego se comentan algunas consideraciones realizadas para adaptar la solución escogida al prototipo.

Finalmente se detallan los costos asociados a la realización de este trabajo de título tales como los valores asociados a los componentes utilizados, valor aproximado de la mano de obra y las horas de dedicación.

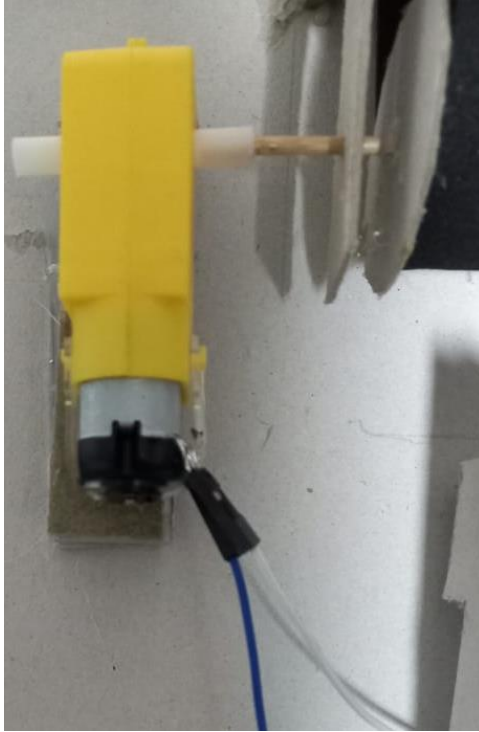
3.1 RESULTADOS DE IMPLEMENTACIÓN

La implementación se diseñó para permitir el control por parte de un operador y garantizar un funcionamiento autónomo. En conjunto, estas funciones son cruciales para la operación efectiva del proyecto. Como se detalló en el capítulo 2, el proyecto incorpora motores responsables de operar las bandas transportadoras, los cuales cuentan con cajas reductoras para ajustar la velocidad de la banda. Además, se integran sensores ultrasónicos HC-SR04 en diversas posiciones y alturas para salvaguardar el electroimán situado en la segunda banda transportadora. Los LEDs están estratégicamente ubicados para proporcionar al operador información visual sobre los diferentes procesos del sistema.

A continuación, se presentarán los resultados obtenidos tras la implementación y análisis de cada una de las mencionadas componentes.

3.1.1 Motor con caja reductora

Como se ha dicho en capítulos anteriores, el motor con caja reductora provoca el movimiento de la banda transportadora principal y la banda transportadora que incluye el electroimán, está pensado que las bandas transportadoras tengan interruptores que el operador deberá activar o desactivar, tanto para iniciar el sistema como para detenerlo por cualquier percance que pueda ocurrir y este pueda dañar la banda transportadora que incluye el electroimán.

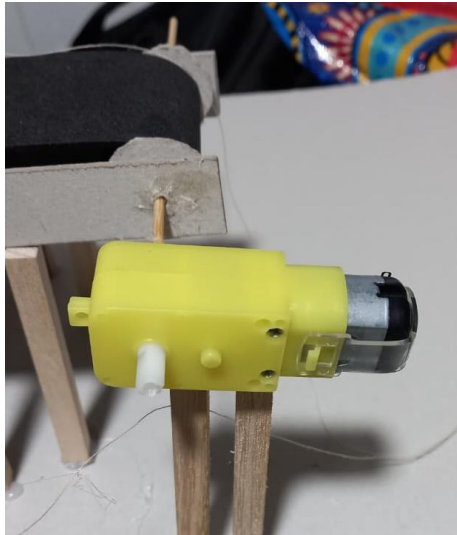


Fuente: Fotografía tomada por el alumno

Figura 3-1. Motor con caja reductora para banda principal

Como se ve en la figura 3-1, se muestra el motor con caja reductora el cual hará funcionar la banda transportadora principal, transportando los elementos ferromagnéticos, rocas y maderas, como sería en la minería. Los cables azules y blanco que se muestra en la imagen provienen de la alimentación del motor que serían unas pilas.

Aunque el aspecto no es igual a como es en la minería, se trató de adaptarlo e implementarlo en una maqueta.

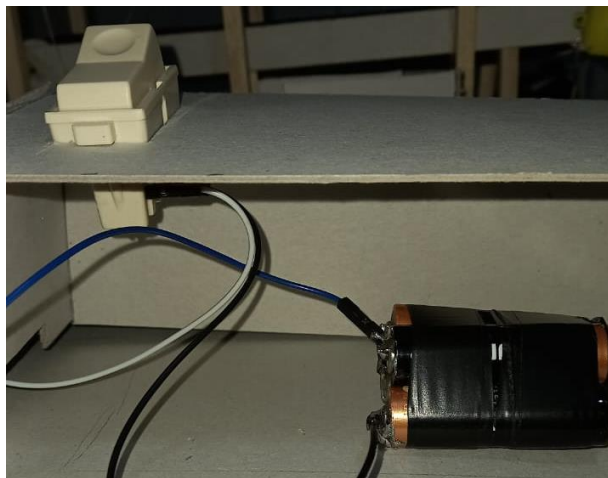


Fuente: Fotografía tomada por el alumno

Figura 3-2. Motor con caja reductora para banda con electroimán

En esta figura 3-2. Se muestra el motor con caja reductora que va con la banda transportadora que incluye el electroimán. Lo importante de esta banda transportadora es que con la activación de un sensor ultrasónico el motor se eleva con esta banda transportadora.

3.1.2 Sistema de alimentación para bandas transportadoras



Fuente: Fotografía tomada por el alumno

Figura 3-3. Pilas para alimentar la banda transportadora principal

La figura 3-2 muestra la alimentación de 6v que tienen ambas bandas transportadoras incluyendo el interruptor para iniciar o detener el sistema manejado por el operador, por si ocurriera algún percance que pueda dañar la banda transportadora con electroimán, este posible percance lo indica un led que se activa por un sensor a una cierta altura protegiendo la segunda banda transportadora.

3.1.3 Sensores de altura y proximidad

Para lograr que cada uno de los tres sensores ultrasónicos mida de forma correcta, estos debieron ser colocados en una posición exacta y con su correspondiente altura. Un sensor por sí solo no posee la forma física para poder sostenerse así mismo en posición vertical, lo cual trajo como consecuencia la adaptación de un encaje específico para ajustarse a la implementación de esta maqueta.

Primero se tomaron las medidas pertinentes de los sensores ultrasónicos, acto seguido, se plasmaron las medidas en piezas, las que fueron adaptadas para encajar el sensor en dicha posición.

Luego de presentado el sensor en su correspondiente posición y altura, se realizó la calibración correspondiente, ubicando su rango de medición en lo ancho de la banda principal.

Como se indicó en el punto 2.2.4 del capítulo 2, cada sensor posee cuatro pines, para lo cual se realizó el cableado de cada pin en cuestión, utilizando la realización de conexiones con cables extendidos. La extensión se hizo posible gracias a la utilización de cables jumper.

En la figura 3-3, se mostrará la implementación de dicho sensor y luego en la figura 3-4, se podrá ver los tres sensores en sus correspondientes posiciones.



Fuente: Fotografía tomada por el alumno

Figura 3-4. Sensor de altura HC-SR04



Fuente: Fotografía tomada por el alumno

Figura 3-5. Sensor de proximidad HC-SR04

Estos sensores se activan dependiendo de su función determinada, ya sea por altura como se ve en la figura 3-3, que estará unos centímetros más alto que los sensores de proximidad. Esto será como una medida de protección a la banda transportadora con electroimán, porque si el objeto es muy grande no le dará tiempo o por temas de rango de altura no subirá más, por lo que este sensor de altura detendrá la banda transportadora principal. Cuando este sensor de altura se active y detenga la banda principal, el operador deberá dar aviso para retirar el objeto de gran tamaño.

Una vez el objeto sea retirado el operador volverá a dar inicio al sistema volviendo a funcionar hasta que vuelva a detectar el sensor de altura.

Los sensores de proximidad están puestos a los lados de la banda transportadora con electroimán, su función es que una vez sea detectado el primer sensor de proximidad hará subir la banda transportadora con electroimán hasta una cierta altura determinada, hasta que el objeto rocoso cruce la banda transportadora con electroimán, cuando el objeto rocoso sea detectado por el otro sensor de proximidad, esto hará que la banda transportadora con electroimán vuelva a su posición inicial hasta que algún objeto sea detectado por el primer sensor de proximidad.

Si el objeto detectado es un elemento ferromagnético, este se verá atraído por el electroimán y se irá por la banda transportadora que está arriba llevándose fuera de la banda principal, para no producir problemas o atollos en el chancador.

Para saber que sensor estará activado o cual estará dando su funcionamiento se pondrán unos leds para indicar al operador como estará operando. Porque si se activa el primer sensor de proximidad para subir la banda transportadora con electroimán, se encenderá un led para dar aviso al operador, y cuando se active el segundo sensor de proximidad se encenderá otro led que indica que la banda transportadora con electroimán estar bajando.

Por lo tanto, si el sensor de altura es activado también se enciende un led que avisa la detención de la banda transportadora principal.

Todo esto es controlado por una programación que estará en la placa de desarrollo Arduino uno. El programa está indicado en anexo al final del documento.

3.2. COSTOS DEL PROYECTO

En esta sección se exponen los valores de costo asociados a los componentes y a los materiales utilizados en la realización de este trabajo de título, además de los recursos humanos empleados.

3.2.1 Proveedores de componentes y materiales

Para este proyecto no se realizaron mayores cotizaciones de componentes, sin embargo, se efectuó una comparación entre algunas opciones de proveedores, para luego escoger la opción más conveniente. Las comparaciones llevadas a cabo pueden verse en la Tabla 3-1.

Tabla 3-1. Proveedores por componente y/o material.

Componente/Material	Costo (CLP)	Costo (USD)	Proveedor cotizado
Arduino UNO	\$8.000	\$8,88	Afel
	\$8.255	\$9,15	Mercado Libre
Motor DC con caja reductora	\$2.900	\$3,22	Mercado Libre
Alambre de cobre esmaltado 0.5 Mm 20mts	\$24.990	\$27,74	Mercado Libre
Batería 9v	\$4.290	\$4,76	Mercado Libre
Sensor Ultrasónico HC-SR04	\$2.300	\$2,55	Afel
	\$3.590	\$3,98	Mercado Libre
Leds 5mm pack 15Unidades	\$1.000	\$1,11	Mercado Libre
Led 1 Unidad	\$70	\$0,078	Global Electrónica
Cuchillo cartonero	\$1.590	\$1,76	Librería Marie
Hoja de cuchillo isofit	\$1.390	\$1,54	Librería Marie
Pliego cartón piedra 1,2mm 55x77cm	\$1.090	\$1,21	Librería Marie
Palo de maqueta 8x8MM 50cm 3Un.	\$1.690	\$1,88	Lápiz López
Palo de maqueta 6x6MM 50cm 3Un.	\$990	\$1,12	Lápiz López
Goma eva pliego 40x60	\$1.090	\$1,23	Lápiz López
Tubo Conduit 16mm	\$1.490	\$1,68	Easy

Fuente: Tabla creada por el alumno

3.2.2 Evaluación de costos por mano de obra

Si bien el proyecto fue desarrollado y construido con componentes y materiales para desarrollarlo en maqueta, esta idea viene principalmente del trabajo de minería por lo que se investigó y se obtuvo información lo más real y actualizada posible de los costos en la mano de obra.

Como resultado se obtuvo que los costos de la mano de obra llevada al trabajo de minería, insumos, gastos generales y utilidades, tiene un costo de \$7.000.000 CLP equivalentes a \$7,910 USD a la fecha 7/08/2022 por un total de 6 meses que equivalen a 4380 horas trabajadas, tomando como referencia la minera división el teniente.

Viendo que para poder realizar el cálculo del costo por hora-hombre de este proyecto, se obtuvo que, en promedio para un técnico en electrónica de nivel universitario, gana al mes un promedio de \$638.000 CLP equivalentes a 19,02 UF a la fecha 8/08/2022 por un total de 180 horas trabajadas.

Para realizar el cálculo del costo por hora-hombre de este proyecto, se utiliza el valor mencionado anteriormente. Es necesario realizar un aproximado de las horas que se trabajaron para desarrollar este proyecto, llegando a una estimación de 120 horas trabajadas durante el semestre académico, las que abarcan el diseño del prototipo y la confección de la maqueta. En la tabla 3-2 se presentan los costos por mano de obra para este proyecto en concreto.

Tabla 3-2. Costos por mano de obra aplicados al proyecto.

Horas dedicadas	Costo hora-hombre (CLP)	Costo hora-hombre (UF)	Costo total por mano de obra (CLP)	Costo total por mano de obra (UF)
120	\$4.253	0,13	\$510.360	15,21

Fuente: Tabla creada por el alumno.

3.2.3 Costos finales del proyecto

Ahora se procederá a exponer los componentes adquiridos en los proveedores seleccionados con su valor final en la tabla 3-3. En el caso de algunos de los artículos se encargó una cantidad mayor al número utilizado en el proyecto en sí, esto debido a que se prefirió tener más unidades de dichos componentes en caso de posibles incidencias de fallas.

Tabla 3-3. Costos finales por cada componente y material.

Componente/Material	Proveedor Seleccionado	Costo por unidad (CLP)	Cantidad adquirida	Costo final (CLP)
Arduino UNO	Afel	\$8.000	1	\$8.000
Motor DC con caja reductora	Mercado Libre	\$2.900	6	\$17.400
Alambre de cobre esmaltado 0.5mm	Mercado Libre	\$24.990	1	\$24.990
Batería 9v	Mercado Libre	\$4.290	1	\$4.290
Sensor Ultrasónico HC-SR04	Afel	\$2.300	6	\$13.800
Leds 5mm pack 15Unidades	Mercado Libre	\$1.000	15	\$1.000
Led 1 Unidad	Mercado Libre	\$70	1	\$70
Cuchillo cartonero	Librería Marie	\$1.590	1	\$1.590
Hoja de cuchillo Isofit	Librería Marie	\$1.390	1	\$1.390
Pliero cartón piedra 1,2mm 55x77cm	Librería Marie	\$1.090	4	\$4.360
Palo de maqueta 8x8MM 50cm 3Un.	Lápiz López	\$1.690	2	\$3.380
Palo de maqueta 6x6MM 50cm 3Un.	Lápiz López	\$990	1	\$990
Goma eva pliego 40x60	Lápiz López	\$1.090	2	\$2.180
Tubo Conduit 16mm	Easy	\$1.490	1	\$1.490
			Costo total	\$84.930

Fuente: Tabla creada por el alumno.

Si se utilizan todos los valores obtenidos hasta ahora, ya sea costo por mano de obra y costo final de los componentes implementados en el proyecto (Tabla 3-3), se logra calcular el valor final del costo de este proyecto. En la tabla 3-4 se muestran los valores y el costo final de este proyecto.

Tabla 3-4. Costo final del proyecto desarrollado.

Costo total de componentes y materiales (CLP)	Costo total de mano de obra (CLP)	Costo final de proyecto
\$84.930	\$510.360	\$595.290

Fuente: Tabla creada por el alumno.

El valor final se dispara debido al precio de la mano de obra estimado con los datos anteriormente especificados y la cantidad de horas trabajadas en el proyecto, pero no es un valor realista sino, una proyección de cuánto costaría este proyecto si fuera desarrollado por un técnico en electrónica de empleabilidad. Este proyecto puede ser realizado por un técnico con menos experiencia, los valores son solo una referencia.

CONCLUSIONES

Al inicio del proyecto, el objetivo era abordar la necesidad de reducir los tiempos muertos en las líneas de producción de la minería del cobre mediante la implementación de un electroimán. Este dispositivo tenía como propósito disminuir las paradas de la cinta transportadora y agilizar el proceso de retirada manual de contaminantes por parte de los operadores, operando a una micro escala.

Durante la ejecución del proyecto, se introdujo el uso de un sensor de detección de altura junto con el electroimán, destinado a identificar rocas de gran tamaño que podrían dañar el electroimán, actuando como una medida de protección para el sistema de recuperación de metales.

A pesar de los logros, se enfrentaron complicaciones en relación con la selección y el funcionamiento de los componentes. Se concluyó que el tipo de cableado utilizado podría no ser el más adecuado, afectando la respuesta de algunos componentes. Asimismo, se observaron dificultades asociadas a la elección de materiales, ya que, aunque eran esenciales para la construcción, su resistencia al movimiento sobre las bandas transportadoras resultó deficiente. Además, se identificaron complicaciones en el ensamblaje de la estructura para sostener el electroimán, especialmente en los movimientos de subida o bajada, debido al peso combinado del electroimán y el motor sobre la cinta transportadora. Estas observaciones proporcionan áreas de mejora para futuras implementaciones y destacan la importancia de la selección adecuada de componentes y materiales.

BIBLIOGRAFÍA

1. Codelco Educa. (2018). Minería del futuro. Recuperado de: <https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/edic/base/port/inicio.html>
2. Codelco Educa. (2018). "Extracción Subterránea". Recuperado de: <https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/edic/base/port/extraccion.html#:~:text=EXTRACCI%C3%93N%20SUBTERR%C3%81NEA%3A%20EI%20cobre%20profundo,llegar%20a%20la%20roca%20mineralizada.>
3. Codelco Educa. (2018). "Chancado". Recuperado de: <https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/edic/base/port/chancado.html>
4. Ibercassel. (2022). "Electroimán Industrial". Recuperado de: <https://www.ibercassel.com/iman-es-industriales/electroiman-industrial/>
5. Lifeder. (2019). "Electroimán". Recuperado de: <https://www.lifeder.com/electroiman/>
6. SIDMA, 2018. Electroimán. https://nanopdf.com/download/electroiman-5b1c5c0d3b611_pdf