

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**



**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROLADOR  
DIMENSIONAL APLICANDO PROCESAMIENTO DE IMÁGENES  
EN EL PROCESO DE CHANCADO DE LA PLANTA  
CONCENTRADORA VICTORIA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECATRÓNICO**

**PRESENTADA POR**

BACH. TOLENTINO CRISTOBAL JIMMY

BACH. ULFFE CANALES STEFANO

**ASESOR**

MAG. ING. PALOMARES ORIHUELA, RICARDO JOHN

**LIMA-PERÚ**

**2018**

## **DEDICATORIA**

*Dedicamos la presente tesis a nuestros padres, quienes con tanto esfuerzo han hecho de nosotros personas de bien para nuestra sociedad.*

*A Fabio tu eres la razón de lo que soy tu eres todas mis razones.*

*- Jimmy Tolentino  
Cristóbal*

*- Stefano Ulffe Canales*

## **AGRADECIMIENTOS**

Por su constante esmero a lo largo de nuestra carrera universitaria:

Dr. Elmer Córdova Zapata

Ex – Director de Escuela de Ingeniería Mecatrónica

Por su contribución técnica al ingeniero:

Miguel Herrera Quispe

Ex – Sub gerente de Mantenimiento

Compañía minera Volcan – Unidad Yauli

## RESUMEN

La presente tesis Diseño e implementación de un controlador dimensional aplicando procesamiento de imágenes en el proceso de chancado de la Planta Concentradora Victoria, se encuentra compuesto principalmente por el diseño electrónico de control de un sistema electro mecánico de potencia que posee un sistema de control automático utilizando procesamiento de imágenes para identificar el tamaño del mineral que ingresa a la chancadora y así controlar la apertura de la cámara de trituración y evitar atoramientos en el proceso de chancado de la Planta Victoria.

Se implementó de manera exitosa el sistema de control por procesamiento de imágenes mediante la programación en la plataforma de hardware libre Arduino, la captura de imágenes del mineral mediante una cámara web es procesada en el computador mediante técnicas de segmentación e identificación de bordes y aplicando el algoritmo matricial obtenemos el valor del tamaño del mineral, para luego ser decodificado por el sistema de potencia y controlar la apertura o cierre de la cámara de trituración de la chancadora. Fue posible simular y poner en funcionamiento la tesis desarrollada a menor escala y en tiempos de baja respuesta.

Como resultado de la tesis, se implementó un controlador dimensional para identificar tamaños de mineral que ingresan a la cámara de trituración de la chancadora y poder controlar la apertura y cierre de la cámara; esto permitirá disminuir y/o eliminar los atoramientos en el proceso de chancado de la Planta Victoria, generando mayor tonelaje tratado y aumentando la utilidad a la compañía minera Volcan S.A.A.

**Palabras Claves:** Minería, Proceso de chancado, Procesamiento de imágenes, Controlador.

## **ABSTRACT**

The present thesis Design and implementation of a dimensional controller applying image processing in the crushing process of the Victoria Concentrator Plant, is mainly composed of the electronic control design of an electro-mechanical power system that has a system of automatic control using image processing to identify the size of the ore that enters the crusher and thus control the opening of the crushing chamber and avoid jamming in the process of crushing the Victoria Plant.

The image processing control system was successfully implemented by programming on the Raspberry PI computer, the capture of mineral images by means of a web camera is processed on the computer by means of segmentation and edge identification techniques and by applying the matrix algorithm we obtain the value of the size of the ore, to be later decoded by the power system and to control the opening or closing of the crushing chamber of the crusher. It was possible to simulate and put into operation the thesis developed on a smaller scale and in times of low response.

As a result of the thesis, a dimensional controller was implemented to identify sizes of ore that enter the crusher chamber of the crusher and to control the opening and closing of the chamber; this will allow reducing and / or eliminating jams in the process of crushing the Victoria Plant, generating greater treated tonnage and increasing the utility to the mining company Volcan S.A.A.

**Key Word:** mining, crushing process, image treatment, controller

## ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	3
RESUMEN.....	4
ABSTRACT .....	5
INTRODUCCIÓN.....	7
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	12
1.1 Problematización .....	12
1.2 Problema General.....	14
1.3 Objetivo.....	15
1.4 Justificación .....	16
1.5 Alcances y Limitaciones de la Investigación.....	16
1.6 Matriz de Consistencia.....	17
CAPÍTULO II: MARCO TEORICO.....	19
2.1 Antecedentes de la Investigación.....	19
2.2 Bases Teóricas .....	23
CAPÍTULO III: DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL SISTEMA .....	50
3.1 Características Previas .....	50
3.2 Diseño mecánico .....	51
3.3 Diseño e implementación electrónica .....	69
CAPÍTULO IV: PRUEBAS Y RESULTADOS .....	112
4.1 Pruebas de funcionamiento.....	112
CONCLUSIONES .....	119
OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES.....	120
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	121
ANEXOS.....	123

# INTRODUCCIÓN

La minería formal en el Perú tiene actualmente 50 años contribuyendo al desarrollo y crecimiento económico del país, En el último año la minería aportó el 10% del producto bruto interno (PBI), generando mayores divisas e ingresos fiscales por impuestos y creando puesto de empleo directo e indirectamente; de acuerdo a la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía el incremento del 15% de las exportaciones mineras significaría una expansión del 2.1% del PBI.

En el 2015 la renta minera bruta era del 6.4% de acuerdo a lo señalado en la figura 1 por el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN). Se observa un crecimiento anual del 20% en la exportación minera. Sabiendo que el negocio de minería genera grandes utilidades al sector público y privado, la industria ha ido evolucionando para mejorar sus procesos, disminuyendo costos operativos mediante la aplicación de nuevas tecnologías.

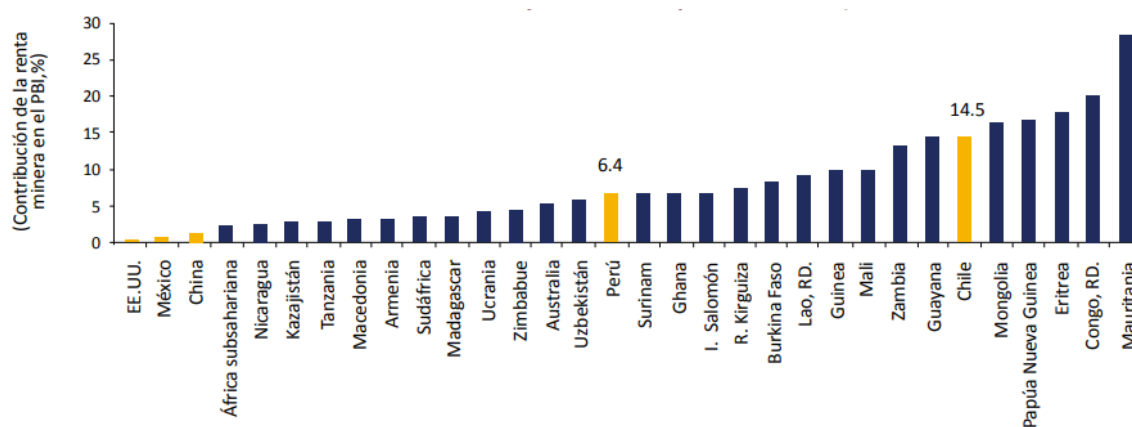


Figura 1. Estadística Contribución de Países al PBI - OSINERGMIN

Fuente: [http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro\\_documental/Institucional/Estudios\\_Economicos/Libros/Osinergmin-Industria-Mineria-Peru-20anos.pdf](http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Industria-Mineria-Peru-20anos.pdf)

El concepto de minería está definido como una de las actividades más antiguas de la humanidad que comprende de un conjunto de técnicas para la extracción de minerales y otras materias de la corteza terrestre, estos minerales y otros materiales de la corteza terrestre que explota la minería están acumulados en el

sub suelo y en el suelo en forma de yacimientos. Con el pasar de los años la minería se ha convertido en una actividad económica primaria en varios países según se han ido descubriendo yacimientos de diferentes tipos de minerales; el proceso requiere de varias etapas para poder obtener el producto final según se observa en la figura 2. Esta actividad consta de 07 etapas:

- a) Prospección
- b) Exploración
- c) Desarrollo del proyecto
- d) Operación de la mina
- e) Transporte del mineral
- f) Beneficio del mineral
- g) Cierre efectivo de la mina

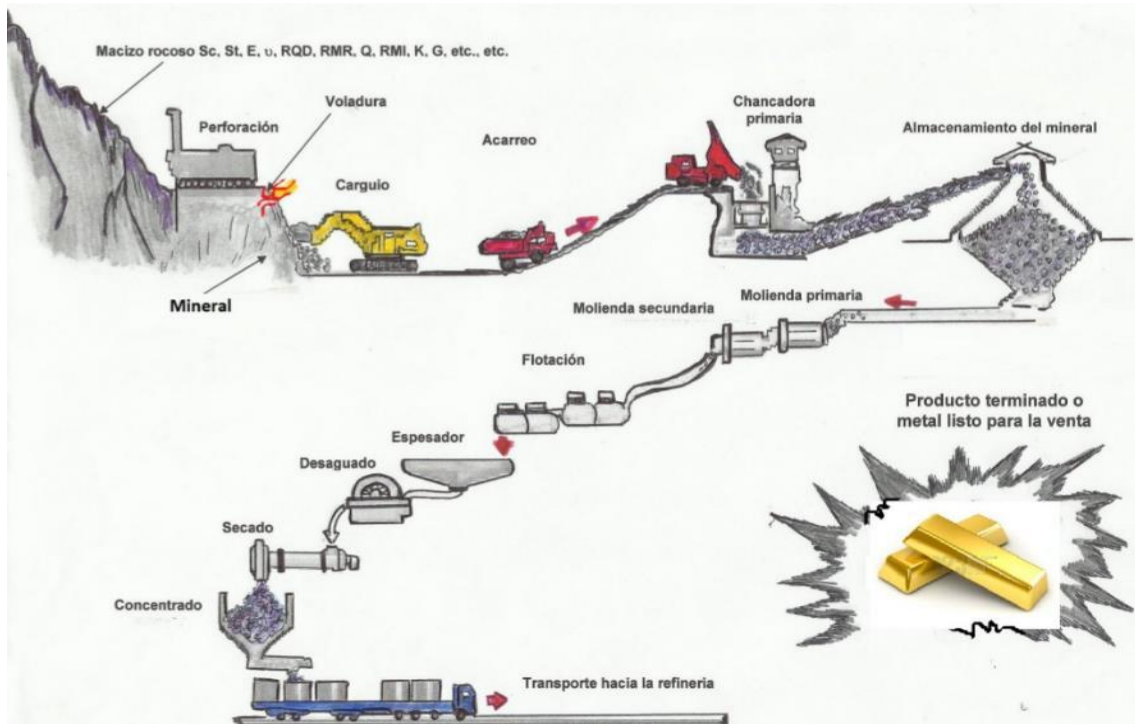


Figura 2. Proceso de obtención de minerales

Fuente: Universidad Nacional del Centro – Facultad de Ingeniería de Minas

El proceso de chancado en la industria minera es muy importante ya que es la variable que determinara el valor bruto de tonelaje tratado, los demás procesos dependerán mucho del proceso de chancado para poder realizar el tratamiento



metalúrgico y químico para poder obtener el metal precioso final. Los equipos estarán diseñados en relación a la capacidad de mineral triturado en el proceso de chancado. Hoy en día se requiere todo el tiempo necesario que pudiese haber para realizar el proceso de chancado, es decir contar con toda la disponibilidad posible de los equipos para triturar todo el mineral disponible hasta cierto tamaño de granulometría. En la Planta Victoria la granulometría en el proceso de chancado no es totalmente controlado por lo que se generan atoramientos en la cámara de trituración de la chancadora generando el principal problema que es las paradas imprevistas, exposición al personal a tener que desatorar la cámara de trituración, las horas que deja de producir el concentrado.

La visión artificial es la adquisición automática de imágenes sin contacto y su análisis también automático con el fin de extraer la información necesaria para controlar un proceso o una actividad. La visión artificial se basa en el procesamiento digital de imágenes, de este se extraen principalmente tres pasos, procesamiento de bajo nivel, procesamiento de nivel intermedio, procesamiento de alto nivel.

El procesamiento de bajo nivel consiste en el mejoramiento de la imagen, donde se optimiza la imagen para facilitar el procesamiento posterior, aquí se realizan pasos como la disminución o eliminación del ruido, además de enfatizar las características.

El procesamiento de nivel medio está enfocado a realzar los bordes y a segmentar los objetos que se encuentran en la imagen, por segmentar se entiende en separar los objetos del fondo donde se encuentran, el resultado óptimo es obtener el fondo en color blanco y los objetos de interés queden con color negro. Finalmente, el procesamiento de alto nivel consiste en tomar una imagen ya segmentada y codificarla con alguna técnica, la cual se compara con un código ya escrito en el programa que realiza el trabajo de reconocimiento de objetos y que representa el objeto que se está buscando. Para la tesis fue necesario contar con información obtenida del proceso de la Planta Concentradora con cuya autorización fue aprobada por la superintendencia y jefatura de mantenimiento y operaciones de la empresa.

La tesis se encuentra dividida en cuatro (04) capítulos, un (01) anexo y las referencias bibliográficas, tal como se muestran la siguiente gráfica.

La estructura de la tesis corresponde a la resolución secuencial del problema de diseño e implementación de un controlador dimensional aplicando procesamiento de imágenes para el proceso de chancado de la Planta Victoria. A continuación, en la figura 3, se describe la composición de los cuatro capítulos y un breve resumen de los mismos.

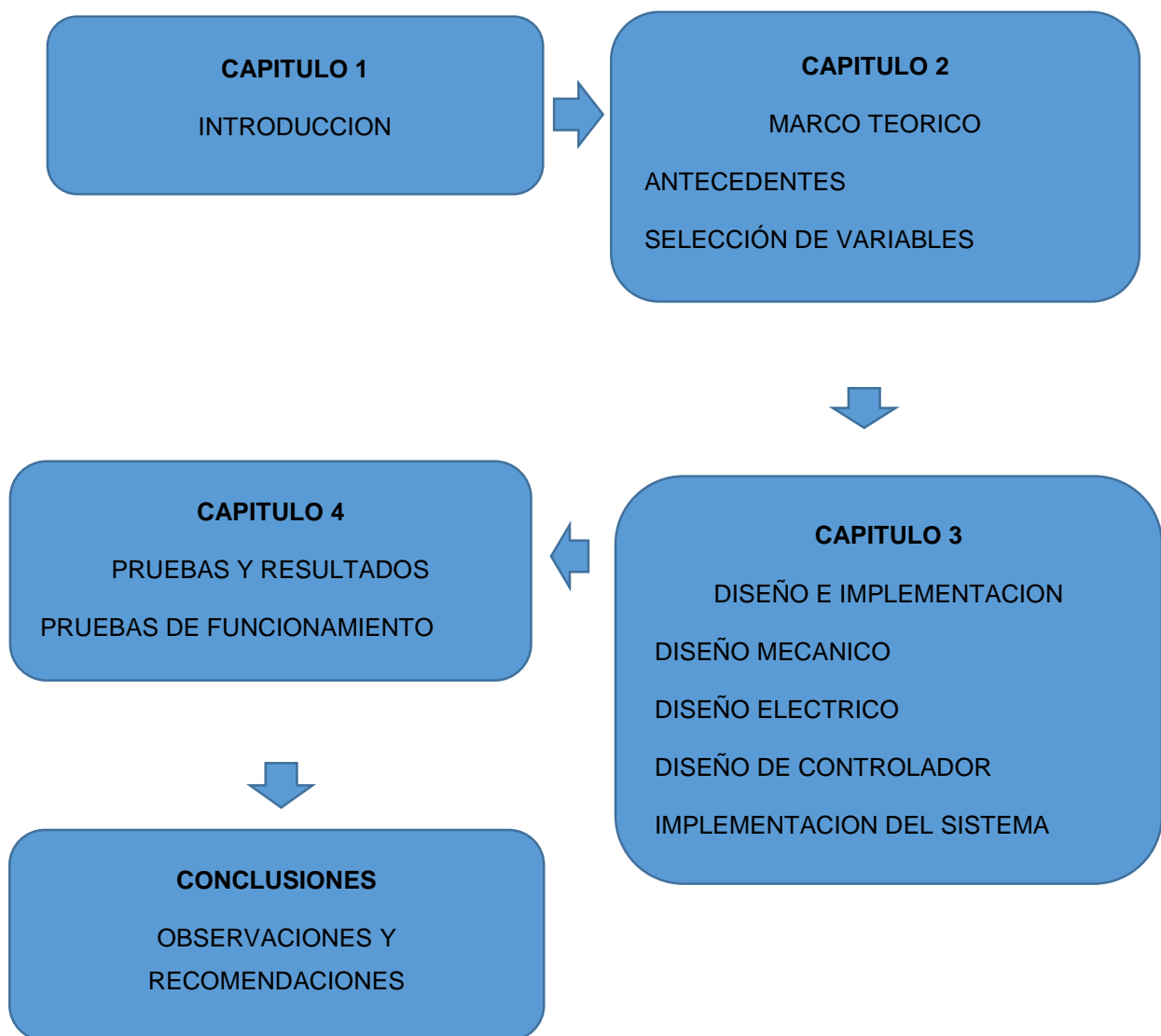


Figura 3. Esquema estructura de la tesis

Fuente: Elaboración propia.

En este capítulo 1 se expone una introducción a la tesis, el planteamiento del problema, los objetivos de la misma y la justificación de la investigación.

Asimismo, se describe la estructura de la tesis, dando a conocer el contenido de cada uno de los capítulos.

En este capítulo 2 se describe los antecedentes relacionados con el desarrollo de esta tesis y conceptos teóricos que enmarcan y sirven de guía para esta investigación. Se hace una descripción de controladores, procesamiento de imágenes, procesado de chancado, las cuales ayudan a entender las consideraciones que se debe tener antes de empezar a diseñar e implementar un controlador dimensional aplicando procesamiento de imágenes en el proceso de chancado de la planta concentradora victoria.

En este capítulo 3 se describe el diseño e implementación de todo el sistema propuesto. Se inicia con la descripción del procesamiento de imágenes en el proceso de chancado: diseño mecánico, diseño eléctrico, diseño electrónico, diseño del control por computadora, el diseño de la interfaz gráfica, implementación de las estructuras mecánicas y la implementación un controlador dimensional aplicando procesamiento de imágenes en el proceso de chancado de la planta concentradora victoria.

En este capítulo 4 se describe las pruebas realizadas sobre un controlador dimensional aplicando procesamiento de imágenes en el proceso de chancado de la planta concentradora victoria y los resultados obtenidos durante la investigación.

Se redactan las conclusiones en función a los objetivos propuestos inicialmente para concluir las observaciones y recomendaciones que se deberán tomar en cuenta para futuras líneas de investigación que se puedan generar.

# CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1 Problematicación

La demanda mundial de los metales entre los años 1980 y 2015 ha ido creciendo paulatinamente al igual que la oferta tal como se muestra en la tabla 1, sin embargo, la participación de la oferta de la minería peruana solo es del 10.63% tal como se muestra en la tabla 2; debido a esto es que las empresas mineras requieren aumentar el tratamiento de minerales en las plantas metalúrgicas. Tal es el caso de la Planta Victoria que realiza el tratamiento de zinc, plomo y cobre.

Tabla 1. Balance de oferta y demanda mundial de zinc a través de los años (TM)

	1980	1990	2000	2005	2010	2012	2013	2014	2015
Producción Minera Total	6172	7176	8823	9569	12 457	13 274	13 655	13 708	13 372
Producción de Refinados Total	6159	6698	9153	10 119	12 909	12 561	13 058	13 553	13 975
<b>Total Oferta</b>	<b>6159</b>	<b>6698</b>	<b>9153</b>	<b>10 119</b>	<b>12 909</b>	<b>12 561</b>	<b>13 058</b>	<b>13 553</b>	<b>13 975</b>
Consumo de refinados	6131	6568	8889	10 396	12 526	12 059	12 954	13 762	13 911
• China	200	369	1,402	3,040	5350	5396	5962	6420	6,487
• Estados Unidos	810	992	1,315	1,080	907	892	935	962	924
• Corea	68	230	419	448	540	553	578	644	633
• India	95	135	224	389	538	561	640	638	612
<b>Total Demanda</b>	<b>6131</b>	<b>6568</b>	<b>8889</b>	<b>10 396</b>	<b>12 526</b>	<b>12 059</b>	<b>12 954</b>	<b>13 762</b>	<b>13 911</b>
Brecha (Oferta-Demanda)	28	130	264	-277	383	502	104	-209	64

Fuente: Banco Mundial, Elaboración: GPAE – Osinergmin

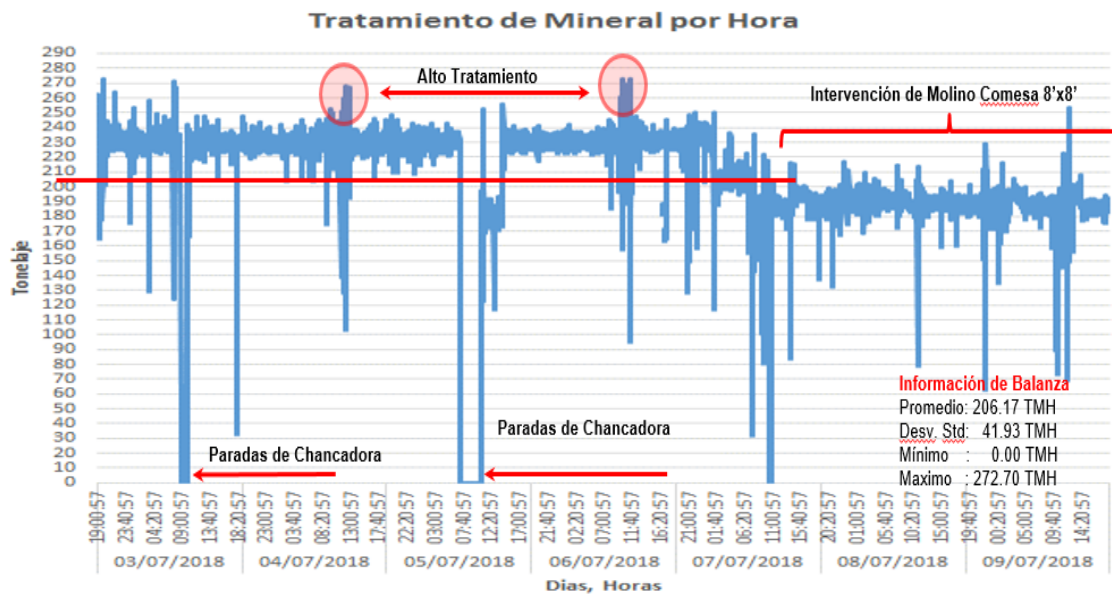
Tabla 2. Producción Mundial de Zinc (TM)

Países	Producción de mina (miles de toneladas métricas)									Part. % 2015
	1980	1990	2000	2005	2010	2012	2013	2014	2015	
China	150	763	1780	2061	3842	4859	5188	5200	4750	35.52%
Australia	495	940	1420	1367	1480	1507	1523	1560	1691	12.65%
<b>Perú</b>	<b>488</b>	<b>584</b>	<b>910</b>	<b>1202</b>	<b>1470</b>	<b>1281</b>	<b>1351</b>	<b>1319</b>	<b>1422</b>	<b>10.63%</b>
India	32	70	208	447	740	725	817	729	826	6.18%
EE.UU.	349	571	829	748	748	738	784	832	810	6.06%
México	243	307	401	476	570	660	643	660	677	5.06%
Bolivia	50	108	149	160	411	390	407	449	480	3.59%
Kazajistán	n/a	n/a	322	364	405	371	417	386	384	2.87%
Canadá	1059	1203	1002	667	649	612	426	353	278	2.08%
Suecia	167	160	177	216	199	188	177	222	247	1.85%
Irlanda	229	167	263	429	354	338	327	283	236	1.76%
Rusia	n/a	n/a	132	186	214	189	193	217	236	1.76%
Brasil	70	110	100	168	211	164	152	193	193	1.44%
Otros	n/a	n/a	1129	1079	1163	1253	1,251	1306	1142	8.54%
<b>Mundo</b>	<b>6172</b>	<b>7176</b>	<b>8823</b>	<b>9569</b>	<b>12 457</b>	<b>13 274</b>	<b>13,655</b>	<b>13 708</b>	<b>13 372</b>	<b>100.00%</b>

Fuente: Banco Mundial, Elaboración: GPAE –Osinerning

La Planta Concentrador Victoria está diseñada para realizar un tratamiento metalúrgico de 5,200 TMS (toneladas métricas secas) de mineral de zinc, plomo y cobre; el tratamiento está compuesto por los procesos de chancado, molienda, flotación y filtrado. En la etapa de chancado la granulometría del mineral no está correctamente controlado durante el chancado secundario, debido a esto el ingreso de mineral mayor a 2" genera atoramientos en la cámara de trituración de la chancadora, estos atoramientos detienen el proceso de chancado por lo que la producción continua de minerales es interrumpida por lo menos 2 o 3 veces por día; estas paradas no aportan a cumplir con la cuota de producción de tratamiento de minerales, tal como se muestra en la figura 4, obtenido del sistema SCADA de parámetros de las chancadoras cónicas.

Figura 4. Scada de Parámetros de Chancadora Cónica



Fuente: Mantenimiento Eléctrico – Compañía Minera Volcan S.A.A. Planta Victoria Unidad Yauli

El Zinc es el mineral de mayor producción que se realiza en la Planta Victoria, el cual representa un 85% de las ganancias mensuales de la empresa; el precio del zinc en el mercado mundial durante el 2018 ha tenido un pico de \$3,617 por tonelada hasta un descenso de \$2,324 por tonelada de zinc según la bolsa de metales de Londres. De acuerdo a lo expuesto, se ha calculado que de las 3 veces que se detiene el proceso de chancado la planta deja de producir alrededor de 11.8 toneladas de Zinc como producto final, es decir el lucro

cesante del proceso de chancado por día oscila entre \$27,423 y \$42,680 por día, si bien es cierto la planta Victoria cuenta con un stock de minerales finos por lo que no siempre se ve reflejado la pérdida de tratamiento de minerales finos en el balance diario; pero ante una eventualidad de que el área de extracción de mina no pudiese abastecer la suficiente cantidad de mineral para almacenaje en las tolvas de finos, estos eventos de atoramiento en la chancadora tendría mayor impacto en el proceso de tratamiento; siempre teniendo en cuenta el precio del zinc en la bolsa de valores tal como se expone en la figura 5.

Por los motivos expuestos anteriormente, este trabajo de tesis presenta el diseño e implementación de un controlador dimensional aplicando procesamiento de imágenes en el proceso de chancado de la Planta Victoria.

### LME ZINC HISTORICAL PRICES GRAPH



Figura 5. Grafica de tendencia del precio del Zinc – 2018 – Bolsa de Valores de Londres

Fuente: <https://www.lme.com/en-GB/Metals/Non-ferrous/Zinc#tabIndex=2>

## 1.2 Problema General

¿Cómo diseñar e implementar un controlador dimensional en el proceso de chancado secundario que pueda eliminar los atoramientos en la cámara de trituración de la chancadora cónica de la Planta Concentradora Victoria?

## **Problema Específico**

- a) ¿Cómo diseñar e implementar un controlador dimensional de imágenes adecuado para identificar el tamaño del mineral ingresante al proceso de chancado secundario de la Planta Concentradora Victoria?
- b) ¿Cómo diseñar e implementar un controlador que mediante procesamiento de imágenes pueda controlar la apertura y cierre de la cámara de trituración de la chancadora cónica de la Planta Concentradora Victoria?
- c) ¿Cómo diseñar e implementar un sistema automatizado de control para que el circuito de potencia de cierre de la cámara de trituración pueda tener la señal de retroalimentación para el control automático?

## **1.3 Objetivo**

### **Objetivos Generales**

Diseñar e implementar un controlador dimensional aplicando procesamiento de imágenes para disminuir y/o eliminar el número de paradas del proceso de chancado de Planta Victoria y así generar mayor tonelaje de mineral procesado.

### **Objetivos Específicos**

- a) Diseñar e implementar un controlador dimensional aplicando procesamiento de imágenes para disminuir y/o eliminar el número de paradas del proceso de chancado de Planta Victoria generando mayor tonelaje de mineral procesado.
- b) Diseñar e implementar un controlador que mediante el procesamiento de imágenes se pueda controlar la apertura y cierre de la cámara de trituración de la chancadora cónica de la Planta concentradora Victoria.

- c) Diseñar e implementar un sistema automatizado de control para que el circuito de potencia de cierre de la cámara de trituración pueda tener la señal de retroalimentación para el control automático.

## **1.4 Justificación**

La justificación tecnológica implica el uso análisis por procesamiento de imágenes digitales (PDI), con la adquisición, transmisión, procesamiento y representación final de la imagen en la forma deseada, el procesamiento digital de imágenes utiliza un conjunto de técnicas para mejorar la apariencia visual de las imágenes para el observador y/o modificar de forma conveniente el contenido de la imagen; en nuestro caso procesar la imagen del mineral para hallar la forma e identificar la dimensión del mineral.

La justificación social y económica implica generar mayor tonelaje tratado en el proceso metalúrgico, y así contribuir con mayores divisas al PBI del país, indirectamente al generar mayor tonelaje se generarán puestos de trabajo de ingeniería y control para que puedan dar mantenimiento y monitorear el sistema de control dimensional.

La justificación por calidad y seguridad; al generar mayor tonelaje tratado para una mejora en la calidad del producto esto en el ámbito económico también beneficia a mejorar los ingresos a la empresa además de evitar gastos por reparación de componentes, además no se expondrá al personal para realizar los trabajos de desatorar la chancadora y faja mejoran la calidad de vida de las personas al exponerlas al proceso con un contacto directo por seguridad y muchas otras aplicaciones. Todos estos han puesto un gran aporte al desarrollo de las industrias y tecnología, sobre todo en el ámbito de la robótica y la automatización industrial.

## **1.5 Alcances y Limitaciones de la Investigación**

La presente tesis contempla el diseño e implementación de un controlador dimensional aplicando procesamiento de imágenes en el proceso de chancado de la Planta Victoria.



Sus características principales son las siguientes:

- a) Una cámara web para la captación de imágenes del mineral.
- b) Una tarjeta electrónica que contiene todos los periféricos de entrada y salida para las señales de la cámara y el control del circuito de potencia de cámara de trituración de la chancadora.
- c) Sistema electro mecánico para la cámara de trituración de la chancadora.
- d) Interfaz gráfica amigable y versátil para cualquier usuario.

Las limitaciones que se presentaron fueron las siguientes:

- a) Configuración de la cámara web para que pueda captar tomas instantáneas del mineral.
- b) Calcular correctamente el tiempo de respuesta del procesamiento de imagen para la apertura o cierre automático de la cámara de trituración de la chancadora.
- c) Seleccionar el método adecuado para la transmisión de señales y datos entre el computador y el actuador.

## **1.6 Matriz de Consistencia**

La matriz de consistencia fue realizada en base a los problemas planteados y cuyos objetivos están enmarcados para obtener un resultado positivo, se muestra en la figura 6.

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	VARIABLES
¿Cuál es el mejor controlador para eliminar los atoramientos de la chancadora conica en la Planta Victoria?	Disminuir y/o eliminar el numero de paradas del proceso de chancado de Planta Victoria generando mayor tonelaje de mineral procesado.	V.X: CONTROLADOR X.1 <b>Situación realista</b> * Tamaño de mineral * Color de mineral * Velocidad de transporte * Posicion de la imagen X.2 <b>Hardware</b> * Interface de vision Artificial * Sistema de control computacional X.3 <b>Educación</b> * Metodología * Técnicas aceptadas V.Y: ELIMINACION DE ATORAMIENTOS EN CHANCADORA Y.1 <b>Procedimientos</b> * Numero de atoramientos por día * Cumplimiento de objetivos Y.2 <b>Calidad</b> * Eficiencia del procesamiento de imagen y tiempo de respuesta del controlador. * Confiabilidad del equipo.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	
* ¿Cuál es el controlador que pueda <b>identificar</b> el tamaño del mineral entrante a la chancadora para que pueda <b>eliminar</b> los atoramientos en el proceso de chancado de Planta Victoria? * ¿Cuál es el <b>hardware</b> de un controlador que permita <b>identificar</b> el tamaño del mineral en el proceso de chancado de Planta Victoria? * ¿Cuál es el controlador que permita identificar las dimensiones del mineral para eliminar los atoramientos y así mejorar la <b>confiabilidad</b> de la chancadora en la Planta Victoria?	* Implementar un controlador que <b>identifique</b> el tamaño del mineral entrante en la chancadora conica que permita <b>eliminar</b> los atoramientos en el proceso de chancado de Planta Victoria. * Determinar el <b>hardware</b> de un controlador para <b>identificar</b> el tamaño del mineral en el proceso de chancado de Planta Victoria. * Desarrollar la implementacion de un controlador que permita identificar las dimensiones del mineral para eliminar atoramientos y mejorar la <b>confiabilidad</b> de la chancadora en Planta Victoria.	

Figura 6. Matriz de consistencia.

Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO II: MARCO TEORICO**

En el presente capítulo se mencionan los antecedentes de la investigación que se tomaron como referencia y como bases para el Diseño e implementación de un controlador dimensional aplicando procesamiento de imágenes en el proceso de chancado de la planta concentradora Victoria. Asimismo, se menciona y describe la óptica de la investigación, en la cual se define los objetivos de la investigación. Asimismo, se establece la selección de variables que define el control del sistema. Finalmente, se presentan las bases teóricas que sustentan y complementan con todos los temas que se utilizaron y aplicaron para el desarrollo de la presente tesis.

### **2.1 Antecedentes de la Investigación**

#### **Antecedentes Nacionales**

**Pastor, D. (2006)** En la tesis implementó un sistema de clasificación de tubérculos según forma y tamaño aplicando visión artificial y procesamiento de imágenes, se utilizó varios medios de iluminación para eliminar imperfecciones o exceso de suciedad en algunos casos, se observó que al variar la potencia de la iluminación artificial se pudo realizar pruebas con diferentes tipos de imágenes captadas con una cámara digital.

En la tesis se concluye que la aplicación de procesamiento digital de imágenes reduce el ruido en las imágenes digitales. El algoritmo desarrollado resalta las características morfológicas de las formas y facilita la obtención de información para su posterior interpretación. El programa de clasificación es robusto, ya que elimina de la imagen original toda suciedad o elemento extraño que se encuentre cerca de la papa dentro del módulo de iluminación. Esta característica es muy importante en un sistema de visión artificial para la clasificación de materia prima, en este caso papas, ya que a pesar que éstas deben pasar limpias por el

módulo de iluminación muchas veces se desprenden y caen a la base pedazos de cáscara o tierra. (p. 180)

**Asmat. J. (2014)** En la tesis tuvo como objetivo, encontrar las características adecuadas de un sistema de visión artificial, así como encontrar un método para reconocer imágenes en función de su color y su forma, y corroborar su funcionamiento por medio de la implementación de una mecanismo, que tiene acoplada una cámara web, con la cual, siguiendo unas técnicas de procesamiento de imágenes, y una comunicación con un circuito externo, se intenta lograr que la cámara web, siga a un objeto en movimiento, según la forma y color que se desea.

El método de reconocimiento implementado en esta tesis, abarca los procesos y etapas necesarios para una correcta descripción y extracción de características. Dichas etapas buscan: mejorar el aspecto de las imágenes, resaltar las características más importantes dentro de la imagen, eliminar el ruido presente durante tratamiento de las imágenes, separar los objetos del fondo de manera clara, extraer datos característicos de los objetos presentes en la escena, de manera que sea fácil su reconocimiento.

En la tesis se concluye que el software de procesamiento de imágenes empleado en esta tesis, es Matlab, puesto que posee un entorno de trabajo sencillo, por qué presenta un toolbox de procesamiento de imágenes, permitiéndonos la creación de una interfaz gráfica con la cual se puede controlar todo el proceso, y porque permite comunicación con periféricos externos. Se logró una adecuada identificación de la forma y color de los objetos sobre un fondo negro, y debido a que se usó un material de microporoso, se pudieron evitar los efectos negativos de brillo sobre los objetos. Razón por la cual, el resultado final, fue un sistema con un bajo tiempo de procesamiento que identificó de manera adecuada los objetos según su color y su forma. (p. 143)

**Arias, P. (2014)** En la tesis se analizó la problemática de producción existente en la sección de chancado, en relación al funcionamiento de los equipos que la componen, del número de fallas y tiempos de operación

presentadas en un período de 2 años, y se determinó la disponibilidad, utilización, efectividad global de la planta y capacidad productiva, entre otros. Este estudio se desarrolló como una Investigación Tecnológica del tipo Aplicada y se evidenció que la efectividad global de la planta era inaceptable (OEE < 65%), ocasionando pérdidas de producción, incrementando así, los costos de operación y mantenimiento de la sección de chancado. También, se verificó que la sección de chancado no contaba con un plan de mantenimiento preventivo adecuado para asegurar el funcionamiento de los equipos que la componen.

En la tesis se concluye que proporcionar a la empresa ICM Perú, una herramienta que le permitiría incrementar la producción diaria a 700 TMD de mineral triturado optimizando la planta de chancado, elevar la efectividad global de la planta de chancado a 82% y la capacidad productiva a 69.96% para cumplir con los requerimientos de producción diaria solicitados por la empresa, así como también de programar, ajustar y corregir algunas deficiencias en sus actividades implementando un plan de mantenimiento preventivo. (p. 215)

### **Antecedentes Internacionales**

**Balsero, O. (2005)** En la tesis desarrolló un sistema de captura de imágenes mediante una secuencia de video para aplicar tratamiento de imágenes de reconocimiento de gestos manuales; se realizó la interpretación de 26 gestos similares al alfabeto con ambas manos se pudo realizar hasta más de 2000 combinaciones. El sistema que se propone es implementado por un computador personal en el entorno de programación visual C++ mediante la evaluación de diferentes algoritmos computacionales, viables para su implementación en tiempo real en un procesador embebido con recursos de hardware más limitados; se utilizan varios tipos de iluminación variando en potencia; se aplica la evaluación en relación a pixel por pixel.

Se puede concluir que el hecho que, por realizar la diferenciación de todos los objetos presentes en la escena en cada cuadro de la secuencia de

video, el algoritmo del computador está más orientado a distorsionar o descontrolar el fondo. Se concluye que para poder obtener una adecuada segmentación de imágenes, es fundamental generar condiciones de iluminación óptima permitiendo simplificar el posterior procesamiento y robustez de los algoritmos. El establecimiento de área de interés en la imagen de estudio, elimina la posibilidad de realizar análisis innecesarios y mejora de una manera moderada los tiempos de procesamiento.

El sistema de imágenes del alfabeto mediante gestos manuales resulta bastante viable para implementar en prototipos de hardware embebidos, dando la posibilidad de desarrollar un dispositivo portátil. (p. 64)

**Delgado, C. (2013)** En la tesis tuvo como objetivo principal evaluar el impacto económico de un cambio tecnológico en la etapa de molienda primaria del proceso de concentración en Minera Escondida Ltda. Para minerales con altos índices de dureza.

Los factores más relevantes que motivan la búsqueda de alternativas eficientes de procesamiento son el incremento sostenido en los índices de dureza de la roca, lo que incrementa de manera significativa el consumo de energía y la inversión de capital necesario para mantener los niveles de producción, la disminución de las leyes de cobre en los procesos de concentración, lo que implica mover un mayor volumen para lograr niveles de producción similares, los altos niveles en el precio del cobre, que han empujado a la industria a aprovechar el entorno de mercado auspicioso, y (iv) la importancia de incorporar tecnologías más eficientes en consumo de energía, alineadas con la estrategia medioambiental.

En la tesis se concluye que la alternativa estudiada en el presente trabajo es el reemplazo de un circuito de molienda semiautógeno y molienda de bolas por un circuito con mayor eficiencia energética del tipo chancado secundario y HPGR. Se concluye que la opción tecnológica estudiada genera valor en el contexto de una planificación integrada para las reservas mineras disponibles y puede obtenerse una reducción del costo operacional en más de un 7 %, impactando de manera importante los consumos de energía y acero, dos de los ítems de costo más significativos

en una planta concentradora. La reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, pueden llegar a disminuir en un 25% mejorando significativamente la huella de carbono de la compañía, reduciendo el impacto ambiental. (p. 112)

### Selección de Variables

Para demostrar y comprobar la hipótesis, se tiene las variables, y los indicadores que a continuación se muestran en la tabla 3:

Tabla 3. Variables e Indicadores.

V. Independiente	Indicadores de Variable independiente
Procesamiento de Imágenes	Resolución Velocidad de procesamiento Píxeles
V. Dependiente	Indicadores de Variable Dependiente
Proceso de Chancado	Tamaño del mineral Presión Hidráulica

Fuente: Elaboración Propia

## 2.2 Bases Teóricas

### Controladores Industriales

El control industrial consiste en mantener y/o manipular parámetros de operación a un valor constante prefijadas de antemano, por ejemplo, mantener variables constantes de temperatura, caudal, nivel, humedad, etc. Según este contexto un controlador dentro del ámbito de la ingeniería técnicamente es un programa que permite que la computadora utilice o interactúe con un componente, este programa es utilizado mediante un hardware o un medio físico. El caso más típico en que usuarios deben instalar controladores es cuando agregan una nueva impresora a la computadora. La instalación, normalmente en forma de CD-ROM es la

manera como la computadora puede reconocer y utilizar la impresora. Sin embargo, las computadoras están llenas de controladores y todos los dispositivos periféricos requieren de la instalación de un controlador o dependen de uno ya instalado.

Según Ogata (2010), los controladores dentro de la ingeniería son algoritmos los cuales son plasmados dentro de un programa utilizando un determinado lenguaje de programación. El algoritmo tiene como finalidad resolver un problema, realizar una función lógica, realizar una determinada operación, etc.

Estos algoritmos tendrán un conjunto de instrucciones, reglas bien definidas, ordenadas y finitas permitirán realizar la acción requerida mediante una serie de pasos sucesivos. El algoritmo cuenta con las siguientes partes:

**a) Input o Entrada**

Hace referencia al ingreso de información o datos que el algoritmo requiere para poder operar y/o utilizar como valor de referencia para iniciar con el proceso de control.

**b) Proceso**

Hace referencia a la operación lógica que el algoritmo realizara una vez recibido el valor de entrada o input.

**c) Output o Salida**

Serán los resultados finales obtenidos del proceso realizado sobre el input, la salida será el valor o acción deseada hacia el sistema a controlar.

La evolución de la tecnología ha permitido que los controladores también evolucionen según la necesidad de la industria, dentro de los principales tipos de control mayormente usados tenemos:

Control de dos posiciones (On-Off)

Es el control más utilizado en la industria hoy en día, un ejemplo del control On – Off: una válvula estará en posición abierta o cerrada, un motor



eléctrico estará encendido o apagado, un reflector de luz estará apagado o encendido. El valor de entrada estará directamente relacionada a la salida mediante un valor deseado (setting); el valor digital utilizado en el algoritmo de control será de 0 o 1, por ejemplo:

En su tesis Smith concluye que el control tipo On – Off de una válvula se puede realizar mediante switches limitadores de carrera y en donde se puede observar un tiempo de transición que usualmente es determinado por el valor de entrada, p. 29.

El punto clave del control on-off es poder determinar los tiempos de transición ya que esto definirá la sensibilidad del proceso, actualmente en la industria los tiempos dependerán mucho del estudio del proceso que se desea aplicar, esta transición se puede observar en la figura 7.

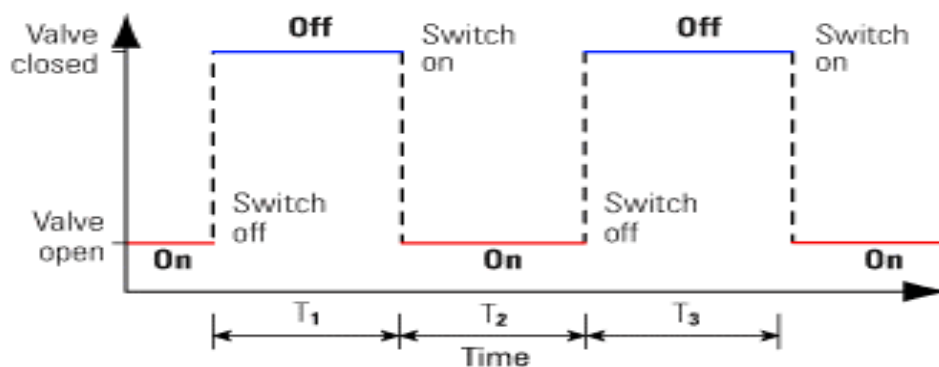


Figura 7. Control On-Off de una Válvula

Fuente: <http://pointing.spiraxsarco.com/resources/steam-engineering-tutorials/basic-control-theory/basic-control-theory.asp>

En relación a este comportamiento en el controlador, la salida simplemente pasa del estado: Si, Conectado, Todo, Encendido (On); al estado: No, Desconectado, Nada, Apagado (Off), o viceversa dependiendo de si la señal de error es positiva o negativa, mas no de su magnitud. Como corolario se puede indicar que el controlador; o se encuentra Encendido; o se encuentra Apagado, según el signo de la señal de error ya que no hay estados intermedios y por ende el elemento final de control se ve obligado a tomar o su posición máxima o su posición mínima según corresponda.

Este tipo de control es muy simple y barato, razón por la cual su uso es extendido en sistemas de control tanto industriales como domésticos, aparte de que muestra muchos de los compromisos fundamentales inherentes a todas las soluciones de control.

### Control Proporcional Integral (PI)

Este tipo de control puede ser empleado en sistemas que tienen grandes cambios, pero estos a su vez, deben ser lentos para evitar sobre impulsos producidos por el tiempo de integración. Una desventaja es que, durante el arranque de proceso, la acción integral causa considerables impulsos del error antes de alcanzar el punto de operación.

La ecuación 1 define a este tipo de controlador de la siguiente manera:

$$m(t) = K_p E(t) + \frac{K_p}{T_i} \int E(t) + m_0 \dots\dots\dots(1)$$

m(t): Valor de Entrada con respecto al tiempo

E(t): Valor de Salida (output)

Kp: Ganancia proporcional

Ti: Tiempo de acción integral

La función de transferencia se muestra en la ecuación 2:

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K \left( 1 + \frac{1}{T_i s} \right) \dots\dots\dots(2)$$

M(s): Valor de Entrada (input)

E(s): Valor de Salida (output)

K: Ganancia

Tis: Tiempo de acción integral

En la publicación de Ogata concluye que  $T_i$  es el tiempo integral, cuya función es regular la acción integral. Su recíproco recibe el nombre de frecuencia de reposición y mide las veces que por unidad de tiempo se repite la acción “proporcional”. Esta clase de controlador incrementa el tipo de un sistema. En general su efecto se traduce en disminuir apreciablemente el error en estado estacionario a costa de una desmejora de la parte proporcional de la acción de control, este tipo de control no cuenta con un sistema de retroalimentación según esquema mostrado en la figura 8, p. 72.

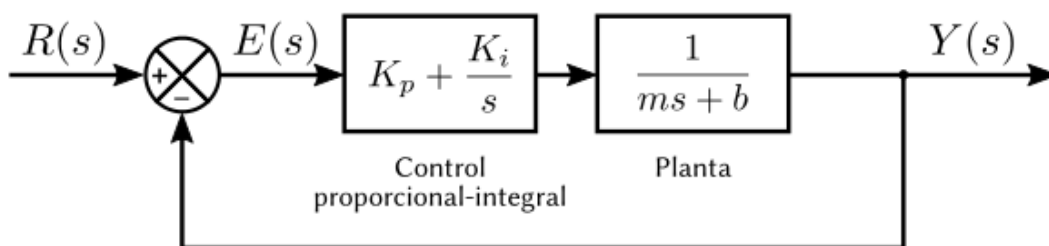


Figura 8. Esquema de control PI

Fuente: <https://www.pybonacci.org/2013/11/06/teoria-de-control-en-python-con-scipy-ii-control-pid/>

### Control Proporcional Integral Derivativo (PID)

Un controlador PID (Proporcional Integrativo Derivativo) es un mecanismo de control genérico sobre una realimentación de bucle cerrado, ampliamente usado en la industria para el control de sistemas. El PID es un sistema al que le entra un *error* calculado a partir de la salida deseada menos la salida obtenida y su salida es utilizada como entrada en el sistema que queremos controlar. El controlador intenta minimizar el error ajustando la entrada del sistema.

El controlador PID viene determinado por tres parámetros: el proporcional, el integral y el derivativo. Dependiendo de la modalidad del controlador alguno de estos valores puede ser 0, por ejemplo, un controlador Proporcional tendrá el integral y el derivativo a 0 y un controlador PI solo el derivativo será 0, etc.

El control Proporcional contribuye con valores presente del error de control Tradicionalmente se usa la expresión banda proporcional para describir la acción proporcional, esto se define como el error requerido para alcanzar un cambio del 100% en la salida de control. Con un control proporcional, es necesario que exista error para tener una acción de control distinta de cero. Con acción integral, un error pequeño positivo siempre nos dará una acción de control creciente, y si fuera negativo la señal de control será decreciente. Este razonamiento sencillo nos muestra que el error en régimen permanente será siempre cero.

El control Integral contribuye con valores proporcional al error acumulado o errores pasados (sumatoria). Fuerza el error en estado estacionario a cero en presencia de referencia escalón y perturbaciones, esto es un modo de reacción lenta.

El control Derivativo contribuye con valores proporcionales a la razón de cambio de los errores de control. Es un modo de reacción rápido a los cambios, el cual desaparece en presencia de errores constantes. Conocido a veces como el modo predictivo, su principal limitación es generar grandes señales en presencia de errores de control de frecuencias altas. El esquema del controlador PID nos muestra un sistema de lazo cerrado y de se aplican las 3 acciones de control.

Cada uno de estos parámetros influye en mayor medida sobre alguna característica de la salida (tiempo de establecimiento hasta llegar al valor de control, el cual puede ser determinado por el tiempo de respuesta del sensor, según esquema mostrado en la figura 9 y 10.

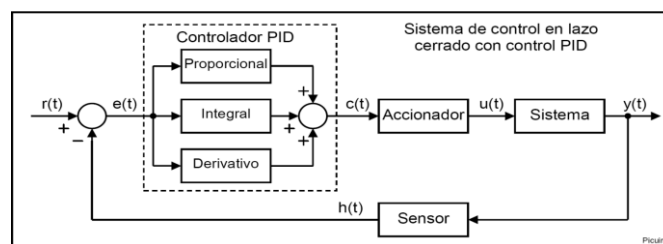


Figura 9. Esquema de control PID

Fuente: <http://www.picuino.com/es/arduprog/control-pid.html>

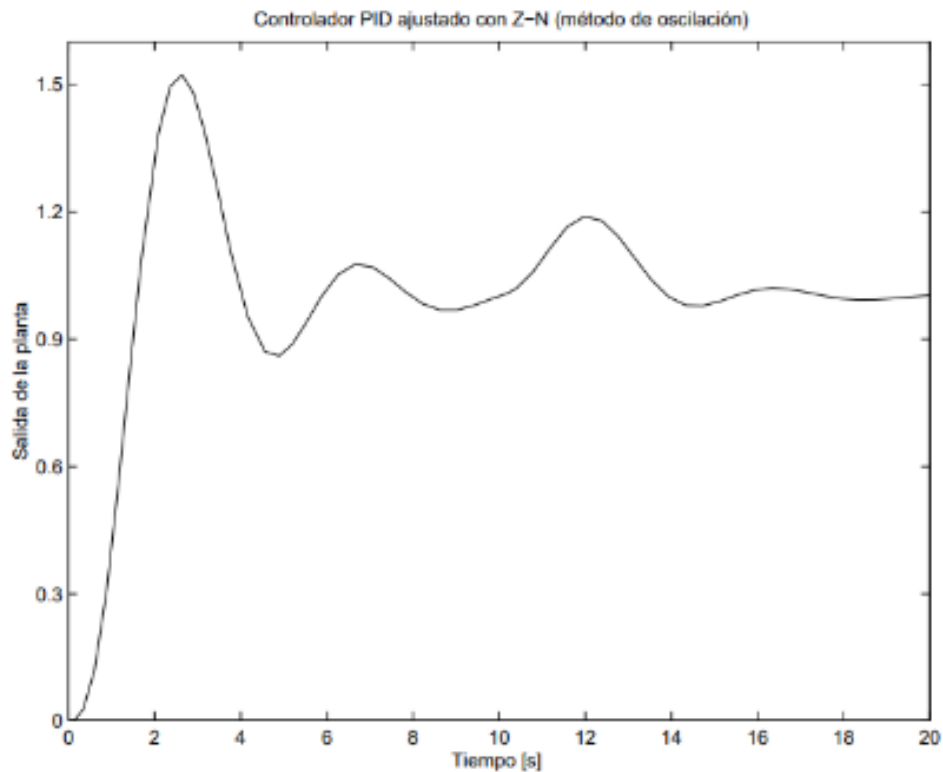


Figura 10. Salida del sistema controlado con PID

Fuente: <http://www.eng.newcastle.edu.au/~jhb519/teaching/caut1/Apuntes/PID.pdf>

## Procesamiento Digital de Imágenes

El procesamiento digital de imágenes tiene que ver con la adquisición, transmisión, procesamiento y representación final de la imagen en la forma deseada, el procesamiento digital de imágenes utiliza un conjunto de técnicas para mejorar la apariencia visual de las imágenes para el observador y/o modificar de forma conveniente el contenido de la imagen.

Una imagen puede ser definida como una función bidimensional de intensidad de luz  $f(x, y)$ , donde  $x$  e  $y$  representan las coordenadas espaciales y el valor de  $f$  en un punto cualquiera  $(x, y)$  es proporcional al brillo (o nivel de gris) de la imagen en ese punto. Una imagen digital es una imagen  $f(x, y)$  que se ha discretizado tanto en las coordenadas espaciales como en el brillo; y puede considerarse como una matriz cuyos índices de fila y de columna identifican un punto de la imagen y el valor del correspondiente elemento de la matriz indica el nivel de gris en ese punto. Los elementos de una distribución digital de este tipo se denominan

elementos de la imagen o más comúnmente píxeles, abreviatura de su denominación inglesa “picture elements”.

Es importante emplear las etapas del procesamiento para poder obtener los mejores resultados, tal como se muestra en la figura 11.

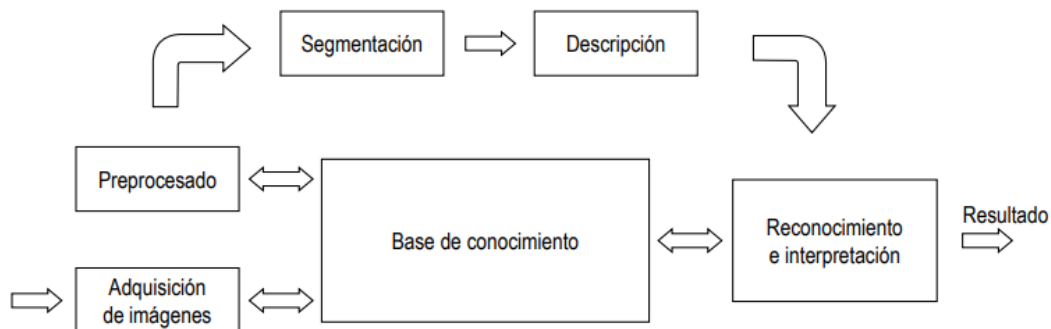


Figura 11. Etapas del procesamiento de imágenes.

Fuente: [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/risi/2009\\_n2/v6n2/a02v6n2.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/risi/2009_n2/v6n2/a02v6n2.pdf)

Los pasos utilizados para el procesamiento digital de imágenes son la adquisición, realce, segmentación, extracción de características y representación.

### Adquisición

Los sistemas de adquisición de imágenes basados en cámaras de formato pequeño representan una alternativa de gran versatilidad en la solución de diversos problemas de monitoreo y censado remoto; los resultados obtenidos permiten automatizar el procesamiento casi por completo requiriendo un mínimo de atención especializada.

Las imágenes generadas procesando información de censado remoto tienen en particular un enorme potencial dentro de diversas áreas, y han concitado recientemente una notable atención masiva gracias a aplicativos específicos como por ejemplo el Google Earth. Dentro del diverso espectro de modalidades e instrumentos para el censado remoto, podemos mencionar las imágenes satelitales de diversas misiones y constelaciones, las imágenes obtenidas por medio de plataformas aerotransportadas, y las imágenes obtenidas por medio de cámaras fijas.

## Realce y mejora de la imagen

El propósito de las técnicas de realce de la imagen es mejorar la apariencia de la misma para el observador. Es un proceso subjetivo, realizado habitualmente de una forma interactiva. La selección de los métodos apropiados y la elección de los parámetros adecuados dependen de la calidad de la imagen original y de la aplicación. Existe una gran cantidad de transformaciones u operaciones que se pueden realizar sobre las imágenes con el propósito de realzarlas y mejorarlas. Existen varios criterios para clasificar estas operaciones. Frecuentemente se dividen en cuatro categorías:

- A. **Transformaciones puntuales:** El resultado de una operación puntual depende sólo del nivel de gris de entrada de un punto. Las operaciones típicas puntuales incluyen la manipulación de los píxeles, por ejemplo, la binarización, la umbralización, etc.
- B. **Transformaciones locales:** Aquí, los valores de entrada de varios píxeles vecinos contribuyen al resultado del píxel de salida. Muchas operaciones son locales, por ejemplo, suavizado (media o promedio), extracción de características y realce de bordes.
- C. **Transformaciones globales:** El total de datos de la imagen como valor de entrada contribuye al resultado de salida. Las operaciones globales se realizan a menudo en el dominio de la frecuencia. Un ejemplo es la compresión de imágenes que tomando el total de una imagen entrada obtiene una imagen comprimida de salida.

## Segmentación

La segmentación es una técnica mediante detección de bordes en la cual se utilizan diferentes aproximaciones discretas (método de la gradiente y teorema de Laplace); este método indica que cuanto mayor sean las variaciones existentes entre dos regiones fronterizas en la imagen, mayor es el valor de la primera derivada, el vector gradiente apunta a la dirección

donde la variación es máxima y su módulo es proporcional con el valor de esta variación.

Las gradientes se obtienen a partir de una convolución con una máscara predefinida. Estas máscaras suelen estar implementadas mediante matrices de igual número impar de filas que de columnas tal como se muestra en la figura 12, de tal manera que exista un pixel central. Una máscara puede estar rellena de cualquier conjunto de números reales, según la finalidad de la aplicación, cumpliendo con que la suma total de los valores que componen la máscara sea nula. Existen multitud de máscaras predefinidas, entre las cuales destacamos los operadores de Roberts, Prewitt, Sobel y Frei-Chen. (Gonzales, R., 2012, p. 106)

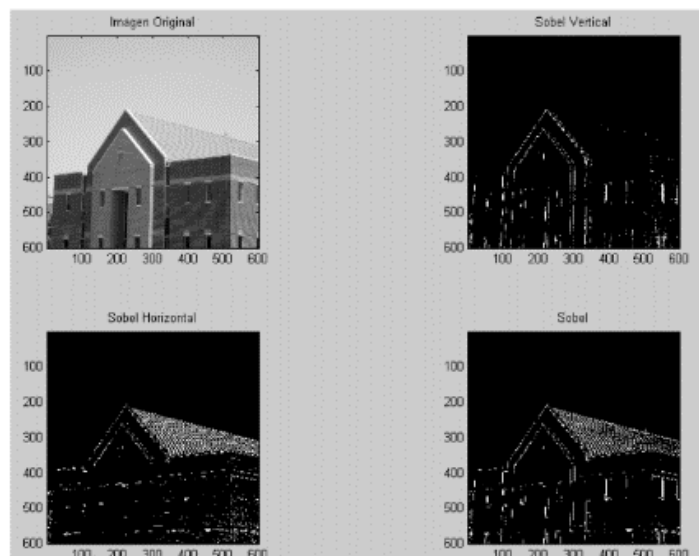


Figura 12. Imagen digital con aplicación de mascara de Sobel

Fuente: [http://www4.ujaen.es/~satorres/practicas/practica3\\_vc.pdf](http://www4.ujaen.es/~satorres/practicas/practica3_vc.pdf)

Otra técnica de segmentación por similitud, es aquella basada en la conectividad espacial que pueden presentar los pixeles en una imagen. Dos pixeles son vecinos si tienen en común por lo menos una frontera o una esquina, según el tipo de vecindad. Se les llama vecinos directos a aquellos que comparten sus fronteras, y vecinos indirectos si comparten esquina.

Un conjunto de pixeles cumple el criterio de vecindad si cumplen entre ellos con un criterio de similitud establecido. Recorriendo la imagen pixel por pixel, de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo tal como se



muestra en la figura 13, se etiqueta cada conjunto de píxeles vecinos con un identificador distinto. (Cuevas, E., 2010, p. 66)



Figura 13. Imagen digital con detección de bordes en escala de grises

Fuente: [http://www4.ujaen.es/~satorres/practicas/practica3\\_vc.pdf](http://www4.ujaen.es/~satorres/practicas/practica3_vc.pdf)

Cuando ya se tiene la imagen procesada, es muy importante y necesario identificar los objetos de interés en la imagen. La segmentación se puede definir como la etapa donde la imagen de entrada se separa en cada una de las piezas que la integran, siendo cada una de ellas homogéneas respecto a cierto atributo como textura, intensidad o color, como se muestra en la figura 13. Esta etapa es una de las más difíciles de la visión artificial pues influye directamente en el análisis de imágenes digitales.

Por esta razón, se busca tener una segmentación robusta.

La mayoría de los métodos de segmentación se basan en propiedades de intensidad como la similitud (referida a las regiones) y la discontinuidad (referida a los bordes). Una región se define como un área de la imagen en la que sus píxeles poseen características similares y los bordes son líneas que separan regiones diferentes. Una de las técnicas para la detección de bordes es la detección de bordes por operadores gradientes, existen varios tipos de operadores, pero los más utilizados los detallamos a continuación en la tabla nº4.

La tabla 4 nos muestra los operadores gradientes.

Tabla 4. Variables e Indicadores.

Operadores Gradiente	Ventajas	Desventajas
<p><b>Roberts</b></p> $\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Buena respuesta en bordes horizontales y verticales.</li> <li>- Buena localización.</li> <li>- Simpleza y rapidez de cálculo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mala respuesta en bordes diagonales.</li> <li>- Sensible al ruido.</li> <li>- Empleo de máscaras pequeñas.</li> <li>- No da información acerca de la orientación del borde.</li> <li>- Anchura del borde de varios píxeles.</li> </ul>
<p><b>Sobel</b></p> $\frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad \frac{1}{4} \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Buena respuesta en bordes horizontales y verticales.</li> <li>- Diversidad de tamaños en las máscaras.</li> <li>- Poco sensible al ruido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mala respuesta en bordes diagonales.</li> <li>- Lentitud de cálculo.</li> <li>- No da información acerca de la orientación del borde.</li> <li>- Anchura del borde de varios píxeles.</li> </ul>
<p><b>Prewitt</b></p> $\frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad \frac{1}{3} \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Buena respuesta en bordes horizontales y verticales.</li> <li>- Poco sensible al ruido.</li> <li>- Proporciona la magnitud y dirección del borde.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mala respuesta en bordes diagonales.</li> <li>- Lentitud de cálculo.</li> <li>- Anchura del borde de varios píxeles.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

Cuando ya se tiene segmentada la imagen se puede determinar los objetos presentes solo agrupando los píxeles que compartan la misma etiqueta y, simultáneamente, sean vecinos. Utilizando los objetos o regiones etiquetadas, se procede a su clasificación o reconocimiento automático, y se puede extraer rasgos o características discriminantes e información relevante sobre estos objetos contenidos en la imagen.

Antes de definir el proceso de convolución resulta necesario dejar claros algunos conceptos. De la misma forma que se representa una imagen como una matriz bidimensional, existe una estructura llamada filtro espacial. Dicha estructura no es más que una matriz de NxM, cuyos valores se denominan coeficientes del filtro. Para efectos de facilitar los cálculos se considerará que N y M son siempre impares aunque en realidad pueden tener dimensiones arbitrarias. A lo largo del presente

documento se utilizará el nombre filtro o máscara para hacer referencia a filtros espaciales.

Es posible diferenciar entre filtros lineales y no lineales. Los primeros son como el mostrado en la Figura 9b2. Este al ser aplicado a una porción de imagen se obtiene la suma de productos de cada valor de dicha porción con cada valor del filtro. Es decir, se trata de una operación lineal. Los filtros no lineales no suelen representarse como matrices y, como su nombre lo dice, la cantidad resultante se obtiene mediante una operación no lineal con una región de la imagen.

Así, por ejemplo, en la figura 14, es posible tener un filtro no lineal en el que el resultado sea el mínimo o máximo valor de una porción de la imagen. Para el presente análisis y desarrollo se considerarán únicamente los filtros lineales. En a) se puede observar la imagen a filtrar y el filtro b2) respectivo. En el ejemplo, se toma la porción de la imagen b1) alrededor del pixel a filtrar (Valor 7) y se multiplica punto a punto para hallar la matriz c) resultante. En seguida se calcula la suma de los valores de dicha matriz y se obtiene el valor del pixel filtrado (Valor 4) cuyo valor se encuentra en la misma posición de la imagen filtrada que en la que se encontraba en la imagen original. (Alegre, G., 2003, p. 71)

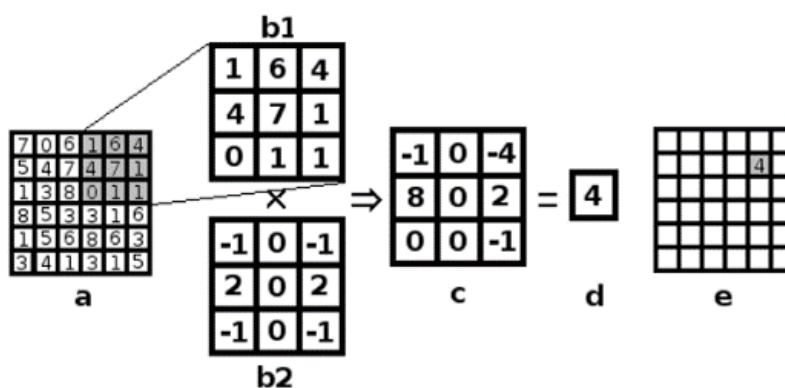


Figura 14: Aplicación de un filtro de 3x3 a un píxel de una imagen en escala de grises.

Fuente: [http://www2.elo.utfsm.cl/~elo328/pdf1dpp/PDI14\\_Color\\_1dpp.pdf](http://www2.elo.utfsm.cl/~elo328/pdf1dpp/PDI14_Color_1dpp.pdf)

### *Segmentación por umbralización (thresholding)*

Los umbrales se utilizan como límites que permiten decidir qué conjunto de tonos de gris pertenece a una determinada región u objeto. En una segmentación se puede escoger uno o más umbrales, consiguiendo, en el primer caso, una imagen binaria y, en el segundo, una imagen clasificada. Las principales ventajas de esta técnica son que se trata de una técnica de segmentación rápida, tiene un coste computacional bajo y puede desarrollarse durante la captura de la imagen. Pero su principal desventaja es que esta técnica de segmentación solo considera la intensidad de los píxeles, sin tomar en cuenta la vecindad de los píxeles.

La imagen segmentada  $(x, y)$  por umbralización viene dada por la ecuación 3:

$$(x, y) = \{1, \text{if } (x, y) > T \ 0, \text{if } (x, y) \leq T \dots\dots\dots(3)$$

Cuando la variable  $T$  se puede aplicar a una toda una imagen, la variable se conoce como umbral global, pero cuando el valor de  $T$  cambia según áreas en la imagen, la variable se conoce como umbral variable.

### *Segmentación por homogeneidad*

La segmentación basada en homogeneidad consiste en dividir la imagen en regiones que tiene en común determinadas características. Generalmente, el algoritmo que se utiliza para esta técnica de segmentación consiste inicialmente en definir una única región que encierra toda la imagen o en definir una región por cada píxel perteneciente a la imagen, luego se establece un criterio de homogeneización de regiones, es decir, se selecciona unos criterios que nos permitan clasificar unas regiones como pertenecientes a una clase u otra. Estos criterios se pueden elegir de forma determinista o aleatoria, y en esa técnica de segmentación los algoritmos más comunes que se utilizan son el algoritmo de crecimiento de regiones y la segmentación por División y Fusión (Split & Merge).

### *Segmentación basada en bordes*

La técnica de segmentación basada en bordes consiste en encontrar los bordes en una imagen, los cuales determinan los límites de cada objeto en la imagen. La detección de contornos tiene como técnica principal medir el gradiente de la imagen en una dirección determinada a lo largo de una recta. Se pueden considerar dos tipos de detectores de bordes: Operadores de gradiente (dos direcciones ortogonales) y Operadores de compás (barrido de direcciones posibles para el máximo). Existen métodos clásicos que se utilizan en esta técnica de segmentación, tales como Roberts, Prewitt y Sobel.

### *Segmentación basada en modelos*

Las técnicas de segmentación basada en modelos suponen que algunas características de los objetos o regiones en la imagen ya son conocidas como son las características de rectas, objetos circulares, etc. La transformada de Hough es una de las técnicas más utilizadas.

Si bien existen trabajos de control orientados a experiencias de control con retroalimentación (también conocido como control a lazo cerrado) utilizando imágenes, la obtención de información se realiza mediante técnicas de Particle Image Velocimetry (PIV) donde se calcula la velocidad instantánea de partículas entre dos imágenes sucesivas.

En contraposición, el mecanismo propuesto permite obtener la información del estado instantáneo del sistema mediante una única imagen. Se reduce así el tiempo de transferencia de datos necesarios para la toma de decisiones y la necesidad de incurrir en calibración de complicados sistemas de cámara, láseres potentes para iluminar la zona ni técnicas complejas de inyección de trazadores. Esto amplía la posibilidad de uso en experiencias reales.

El controlador desarrollado utiliza técnicas de lazo cerrado estudiadas en Teoría de Control para permitir un ajuste automático de la actuación. Este esquema requiere una representación matemática adecuada, en este caso mediante la identificación del sistema con un modelo de caja negra.

Ya establecidos el marco de control y modelizada la experiencia se aplican técnicas de generación de plasma en las paredes del cilindro para controlar la estela.

Este método es estudiado en el campo del control por los beneficios potenciales de su rápido tiempo de respuesta y carencia de componentes mecánicos.

### **Proceso de Chancado**

El principal objetivo del proceso de chancado en la minera convencional, es la de liberar partículas del mineral que se encuentran en forma de sulfuros en las rocas mineralizadas de la extracción de la veta.

Una vez que el mineral ha sido extraído desde la mina, este puede presentar variados tamaños de partículas, los cuales pueden ir desde varios metros de diámetro a unos cuantos micrones. Por lo anterior, se hace necesario manejar y reducir el tamaño de las rocas minerales obtenidas, por las siguientes razones:

- A. Liberar especies minerales comerciales, desde una matriz formada por minerales de interés y ganga.
- B. Promover reacciones químicas o físicas rápidas, a través de la exposición de una gran área superficial.
- C. Producir un mineral con características de tamaño deseable para su posterior procesamiento, manejo y/o almacenamiento.
- D. Satisfacer requerimientos de mercado, en cuanto a especificaciones de tamaños particulares en el producto.

Para lograr lo anterior, se aprovecha que los minerales poseen estructuras cristalinas, y sus energías de unión se deben a diferentes tipos de enlaces, que participan en la configuración de sus átomos.

Estos enlaces interatómicos son efectivos solo a corta distancia, y pueden ser rotos por la aplicación de esfuerzos de tensión o compresión. Para desintegrar una partícula mineral se necesita aplicar una energía, debido

a que todos los materiales presentan fallas que pueden ser macroscópicas (grietas) o microscópicas.

Logrando que esta energía se propague por las grietas, se permite el rompimiento de los enlaces atómicos.

La fuerza aplicada para la trituración deberá ser mayor a las de las propiedades físicas del mineral para que pueda provocar la grieta; es necesario no aplicar demasiada fuerza mecánica ya que sería un desperdicio de energía la cual es llevada a aspectos económicos significaría una pérdida para el proceso.

En la figura 15 podemos apreciar la propagación de una grieta por ruptura de uniones químicas bajo esfuerzo externo (aplicación de fuerza)

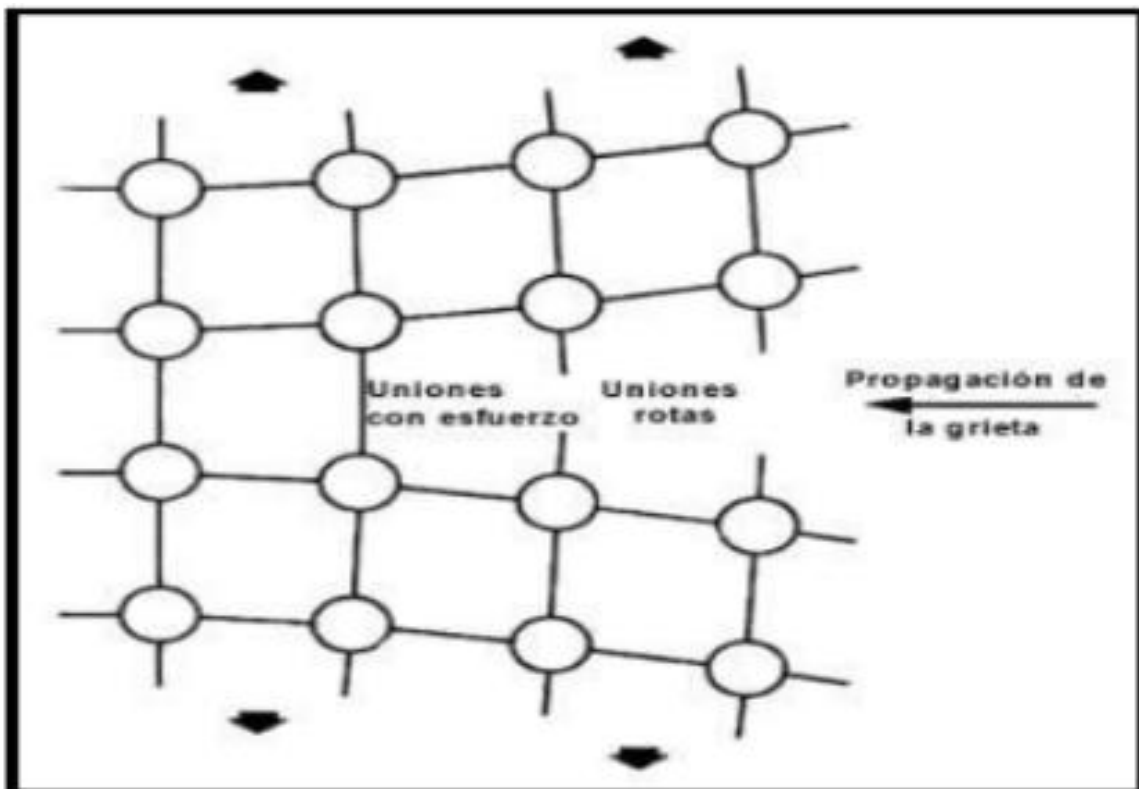


Figura 15. Separación de átomos de mineral

Fuente:[http://ww2.educarchile.cl/UserFiles/P0001/Image/portal/ODAS\\_TP/Materiales\\_para\\_ods\\_2012/5%20Mineria/ODA%2024\\_chancado/Conceptos%20basicos%20de%20preparacion.pdf](http://ww2.educarchile.cl/UserFiles/P0001/Image/portal/ODAS_TP/Materiales_para_ods_2012/5%20Mineria/ODA%2024_chancado/Conceptos%20basicos%20de%20preparacion.pdf)

Los enlaces de las partículas dependerán mucho del nivel de dureza del mineral, actualmente en la planta concentradora Victoria existe un área de

laboratorio metalúrgico el cual se encarga de determinar la dureza del mineral que ingresa al proceso.

Para lograr la propagación de la grieta, en la matriz mineral, se puede aplicar una serie de fuerzas mecánicas, con las cuales se logra la desintegración de la roca, como son los siguientes métodos mostrados en la figura 16:

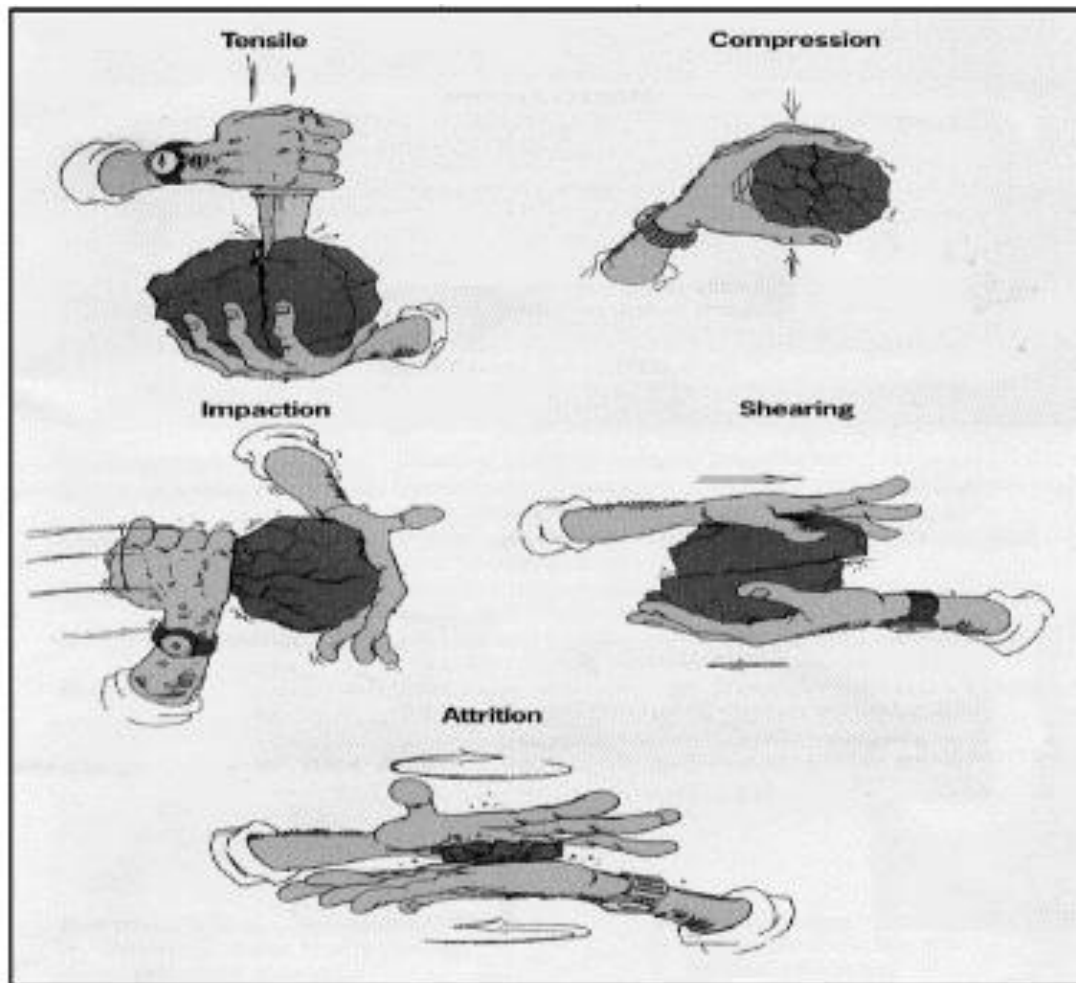


Figura 16. Métodos de esfuerzo mecánico para triturar una roca

Fuente:[http://ww2.educarchile.cl/UserFiles/P0001/Image/portal/ODAS\\_TP/Materiales\\_para\\_oda\\_s\\_2012/5%20Mineria/ODA%2024\\_chancado/Conceptos%20basicos%20de%20preparacion.pdf](http://ww2.educarchile.cl/UserFiles/P0001/Image/portal/ODAS_TP/Materiales_para_oda_s_2012/5%20Mineria/ODA%2024_chancado/Conceptos%20basicos%20de%20preparacion.pdf)

De las formas de fuerzas mecánicas aplicadas y mostradas en la figura anterior, se destacan las siguientes, donde estos esfuerzos se traducen en consumo de energía, tema sumamente crítico al momento de desarrollar un proceso minero.



El proceso de aumento de energía mecánica en el minera se aprecia en la figura 17.

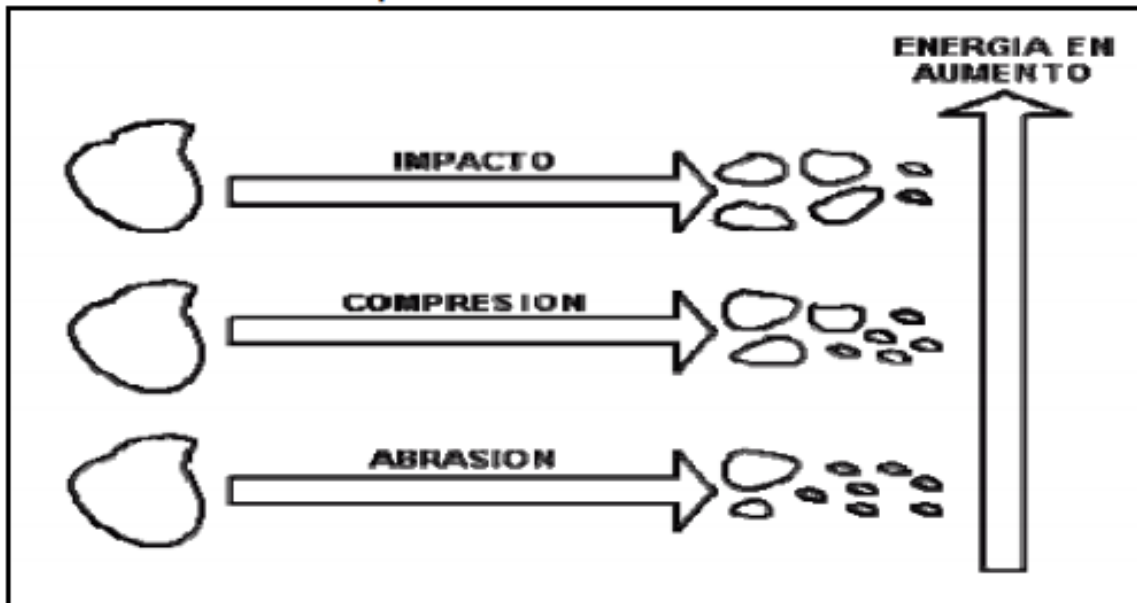


Figura 17. Consumo de energía según método de trituración

Fuente:[http://ww2.educarchile.cl/UserFiles/P0001/Image/portal/ODAS\\_TP/Materiales\\_para\\_ods\\_2012/5%20Mineria/ODA%2024\\_chancado/Conceptos%20basicos%20de%20preparacion.pdf](http://ww2.educarchile.cl/UserFiles/P0001/Image/portal/ODAS_TP/Materiales_para_ods_2012/5%20Mineria/ODA%2024_chancado/Conceptos%20basicos%20de%20preparacion.pdf)

Los mecanismos por los cuales se puede producir la fractura de un mineral son:

- a) Compresión: Se logra la fractura de la roca, al aplicar esfuerzos compresivos de baja velocidad.
- b) Impacto: Se logra la fractura de la roca, por la aplicación de esfuerzos compresivos de alta velocidad.
- c) Abrasión: Ocurre como un esfuerzo secundario, al aplicar esfuerzos de compresión y de impacto.

Razón de reducción de la roca

Todas las operaciones de reducción de tamaño se realizan por etapas: primario, secundario, terciario; todos los chancadores, poseen una relación distinta entre los tamaños de la alimentación y la descarga.

Esta relación se denomina razón de reducción. Los valores típicos de la razón de reducción, se indican a continuación en la figura 18:

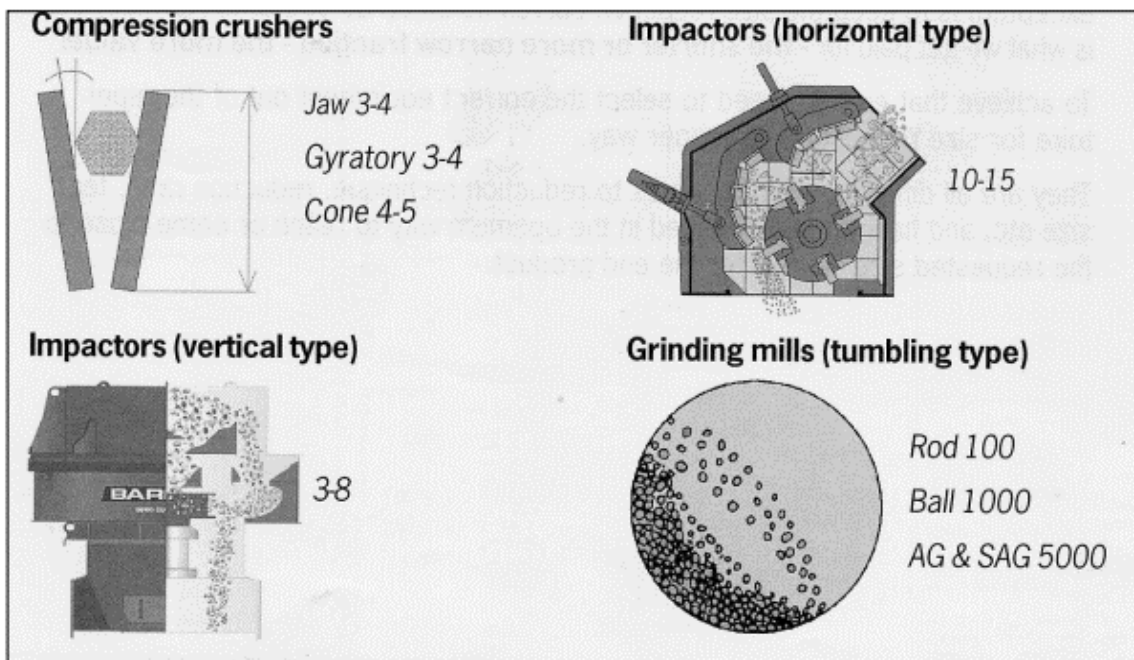


Figura 18. Razón de reducción según tipo de equipo

Fuente: [http://ww2.educarchile.cl/UserFiles/P0001/Image/portal/ODAS\\_TP/Materiales\\_para\\_ods\\_2012/5%20Mineria/ODA%2024\\_chancado/Conceptos%20basicos%20de%20preparacion.pdf](http://ww2.educarchile.cl/UserFiles/P0001/Image/portal/ODAS_TP/Materiales_para_ods_2012/5%20Mineria/ODA%2024_chancado/Conceptos%20basicos%20de%20preparacion.pdf)

Todas las chancadoras poseen una razón de reducción baja, significando que la reducción de tamaño requerida normalmente debe realizarse por etapas. El número de etapas estará determinado por el tamaño de la alimentación y el tamaño del producto requeridos. Por ejemplo:

Tamaño de la alimentación: F80 = 400 mm

Roca de tronadura, 80 % menor que 400 mm

Tamaño del producto: P80 = 16 mm

Agregado para caminos o alimentación a molino de barras, 80 % menor que 16 mm

Razón de reducción requerida:  $RR = F_{80} / P_{80} = 400 / 16 = 25$  ver figura 19.

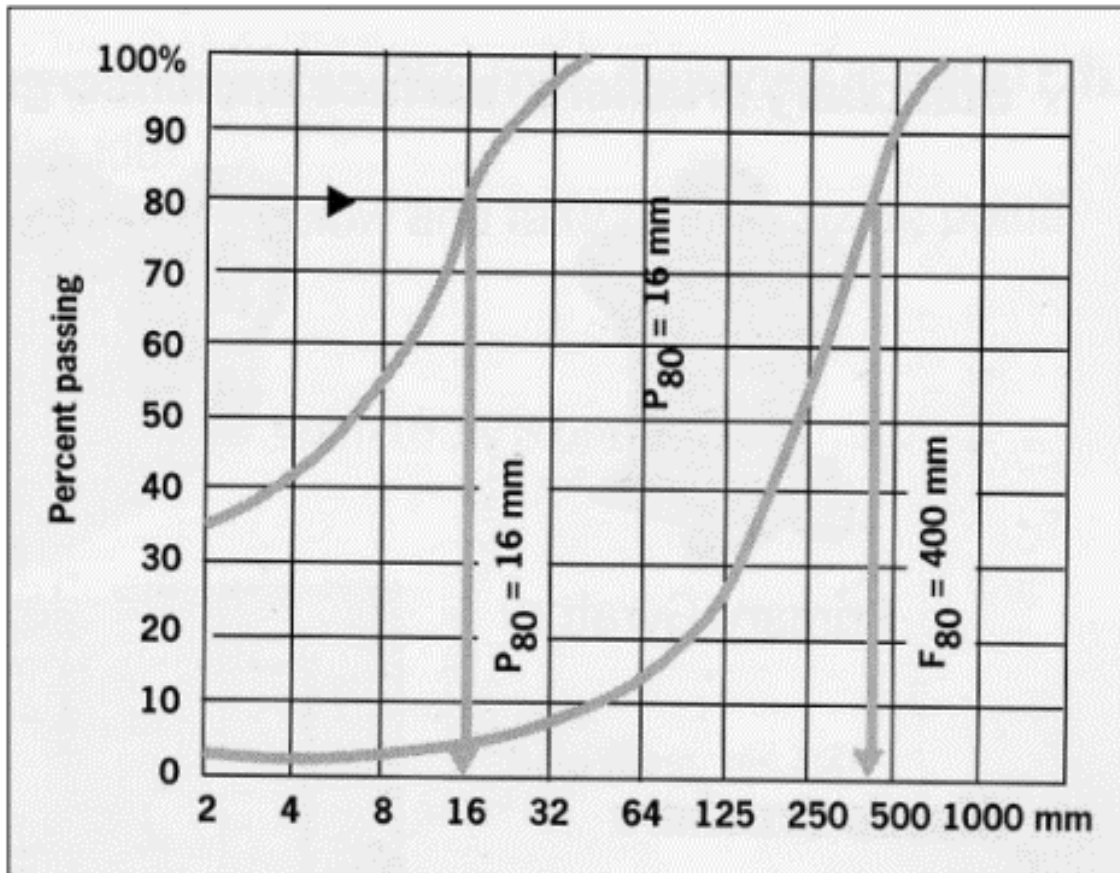


Figura 19. Tabla de relación de porcentaje de mineral triturado pasante según granulometría

Fuente: [http://ww2.educarchile.cl/UserFiles/P0001/Image/portal/ODAS\\_TP/Materiales\\_para\\_ods\\_2012/5%20Mineria/ODA%2024\\_chancado/Conceptos%20basicos%20de%20preparacion.pdf](http://ww2.educarchile.cl/UserFiles/P0001/Image/portal/ODAS_TP/Materiales_para_ods_2012/5%20Mineria/ODA%2024_chancado/Conceptos%20basicos%20de%20preparacion.pdf)

Si aplicamos 2 Etapas:

1) Razón de Reducción en la Etapa de Chancado Primario:  $RR_1 = 3$

2) Razón de Reducción en la Etapa de Chancado Secundario:  $RR_2 = 4$

Razón de Reducción Total (incluyendo las 2 Etapas):  $RR_1 \times RR_2 = 3 \times 4 = 12$

Esto **NO** es suficiente. Se necesita una Tercera Etapa de Chancado:

Si aplicamos 3 Etapas:

1) Razón de Reducción Primera Etapa:  $RR_1 = 3$

2) Razón de Reducción Segunda Etapa:  $RR_2 = 3$

3) Razón de Reducción Primera Etapa:  $RR_3 = 3$

Razón de Reducción Total (incluyendo las 3 Etapas):  $RR_1 \times RR_2 \times RR_3$   
 $= 3 \times 3 \times 3 = 27$

De acuerdo al cálculo realizado se llega a la conclusión de que se necesita 03 etapas de chancado para poder obtener un mineral con la granulometría requerida, la configuración de la etapa de chancado sería la siguiente como se muestra en la figura 20.

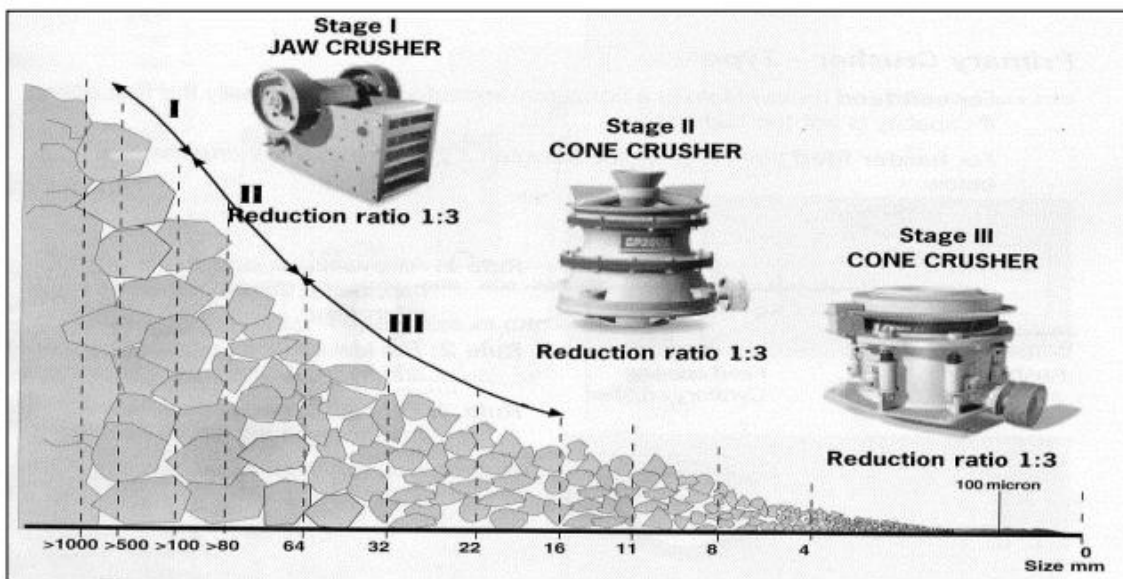


Figura 20. Configuración de proceso de chancado según ejemplo mostrado

Fuente:[http://ww2.educarchile.cl/UserFiles/P0001/Image/portal/ODAS\\_TP/Materiales\\_para\\_ods\\_2012/5%20Mineria/ODA%2024\\_chancado/Conceptos%20basicos%20de%20preparacion.pdf](http://ww2.educarchile.cl/UserFiles/P0001/Image/portal/ODAS_TP/Materiales_para_ods_2012/5%20Mineria/ODA%2024_chancado/Conceptos%20basicos%20de%20preparacion.pdf)

El proceso de chancado tiene la principal finalidad de conminución de la roca mineralizada para obtener el tamaño de mineral deseado, que generalmente es de  $\frac{1}{2}$ ". El proceso de chancado por lo general se clasifica en 02 sub procesos: chancado primario y chancado secundario (en algunos casos chancado terciario); el chancado primario se encarga de triturar mineral de 5" – 4" que es extraído de las vetas de la mina. El producto final del chancado primario es triturar el mineral hasta 2" – 3" para luego pasar al chancado secundario. En el chancado primario utilizan equipos generalmente de gran dimensión debido al tamaño del mineral que ingresa, equipos como chancadora de quijadas, chancadoras cónicas, chancadoras de rodillos dentados.

El chancado secundario tritura mineral que ingresa de 3" – 2" para luego procesarlo a  $\frac{3}{4}$ " –  $\frac{1}{2}$ " de dimensión. En este proceso los equipos son de menor tamaño y tiene mayor facilidad de aplicar controles de automatización y toma de datos. Como es sabido ninguna maquina tiene una eficiencia completa, es por eso que durante el chancado secundario se implementa un sistema de clasificación de circuito cerrado y de esa manera el mineral que no es triturado a la dimensión requerida, regresa a las chancadoras mediante un sistema de transporte de fajas. (Montalvan, C., 2010, p. 14)

En general el proceso de chancado es muy importante dentro del tratamiento puesto que determinara el volumen total que se requiere procesar para la empresa minera; esta variable está muy ligada al volumen de extracción de las vetas es por eso que el planeamiento entre el área de mina y planta deberá ser muy coordinada y programada para no incurrir en costos operativos innecesarios como la operación de los equipos en vacío (gasto de energía eléctrica), horas hombre de personal para la operación, etc. El chancado secundario en el proceso general de tratamiento deberá ser uno de los procesos de menor gasto energético ya que la carga de trabajo no será muy pesada debido a que el mineral ya es de menor granulometría a triturar.

## Equipos Principales del Proceso de Chancado

### *Chancadoras*

#### a) Chancadora cónica

La chancadora de cono es una chancadora giratoria modificada. La principal diferencia es el diseño aplanado de la cámara de chancado para dar alta capacidad y alta razón de reducción del material. El objetivo es retener el material por más tiempo en la cámara de chancado para realizar mayor reducción de este en su paso por la máquina.

El eje vertical de la chancadora de cono es más corto y no está suspendido como en la giratoria, sino que es soportado en un soporte universal bajo la cabeza giratoria o cono. Puesto que no se requiere una

boca tan grande, el casco chancador se abre hacia abajo lo cual permite el hinchamiento del mineral a medida que se reduce de tamaño proporcionando un área seccional creciente hacia el extremo de descarga.

Por consiguiente, la chancadora de cono es un excelente chancador libre como se muestra en la figura 20.

La inclinación hacia afuera del casco permite tener un ángulo de la 'cabeza' mucho mayor que en la chancadora giratoria, reteniendo al mismo tiempo el mismo ángulo entre los miembros de chancado.

En la figura 21 se aprecia que esto se da a la chancadora de cono alta capacidad, puesto que la capacidad de una chancadora giratoria es proporcional al diámetro de la cabeza.

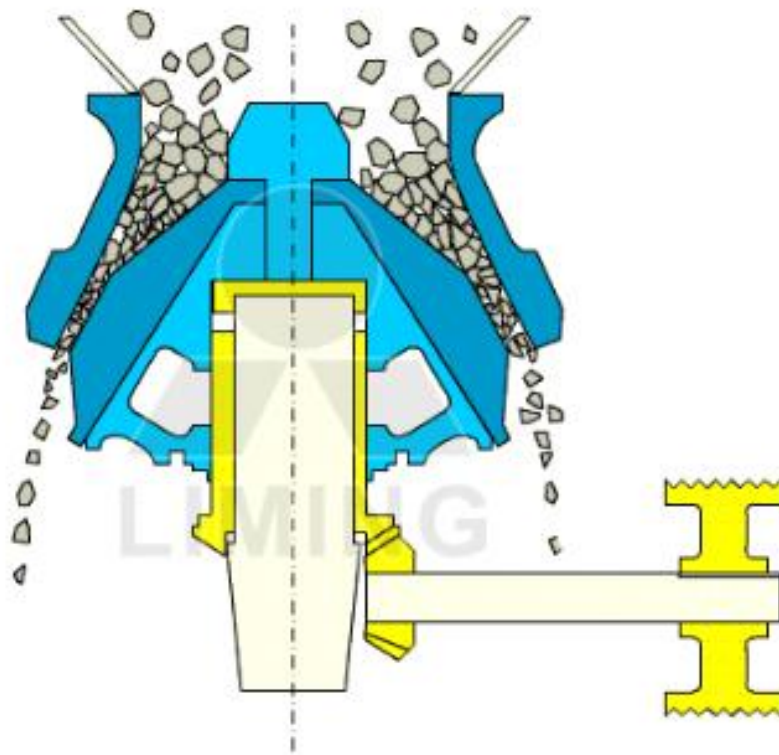


Figura 21. Chancadora Cónica

Fuente: <https://procesaminerales.blogspot.com/2012/08/chancadora-de-cono.html>

Las chancadoras de cono se especifican por el diámetro del revestimiento del cono. Los tamaños pueden variar desde 2 a 10 pies y tienen capacidades de hasta 3000 tc/h para aberturas de salida de 2 1/2 pulgadas. La amplitud de movimiento de una chancadora de cono puede

ser hasta 5 veces la de una chancadora primaria que debe soportar mayores esfuerzos de trabajo. También operan a mucha mayor velocidad. El material que pasa a través de la chancadora está sometido a una serie de golpes tipo martillo en vez de una compresión lenta como ocurre con la cabeza de la chancadora giratoria que se mueve lentamente.

La acción de la alta velocidad permite a las partículas fluir libremente a través de la chancadora y el recorrido amplio de la cabeza crea una gran abertura entre ella y el casco cuando está en la posición completamente abierta. Esto permite que los finos chancados sean descargados rápidamente, dejando lugar para alimentación adicional.

#### b) Chancadora de quijada

También conocida como trituradora o chancadora de mandíbulas, están formadas por 02 mandíbulas dispuestas una en frente de la otra en forma de posición "V", una de las cuales de posición fija y la otra es animada o en movimiento de oscilación excéntrica y de placas de articulación.

Este movimiento de la mandíbula móvil permite a los fragmentos generados descender hacia la parte más estrecha, donde se someterá a compresión al avanzar la mandíbula. El material chancado sale de la chancadora por la parte inferior, estos movimientos de acercamiento y alejamiento son los responsables de la trituración por compresión y el retiro del mineral por la cámara de trituración. Ver figura 22.

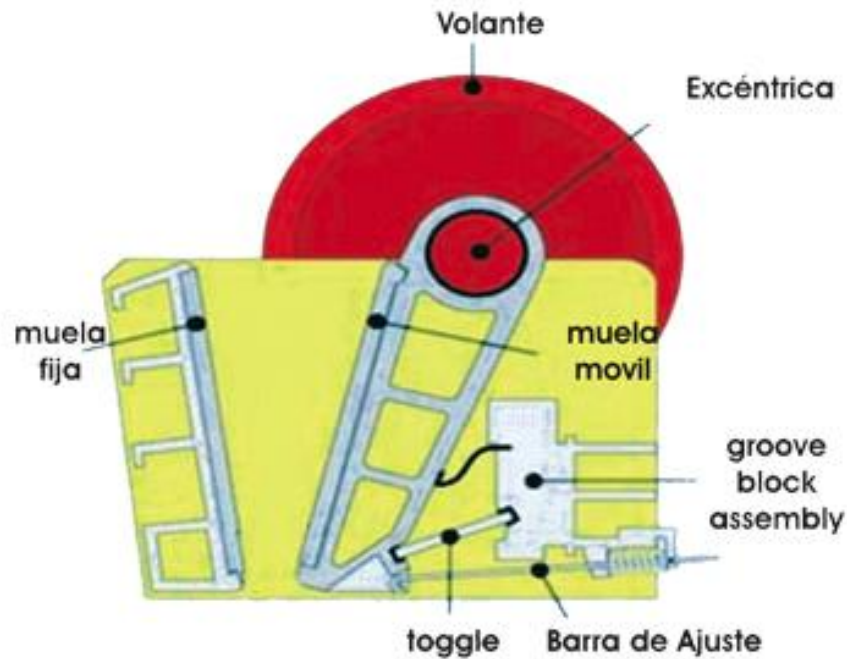


Figura 22. Chancadora de quijada

Fuente: <https://www.funvesa.com.pe/es/ver-productos/7-trituracion/15-chancadora-de-quijadas>

a) Zarandas vibratorias de Clasificación de mineral

La zaranda vibratoria en principio se utiliza para las operaciones de filtrar después de triturar los materiales y es popularmente usado en el análisis de filtro para distintos materiales en los sectores tales como cantera, selección de carbono, selección de minas, materiales de construcción, electricidad e industria química, etc.

La frecuencia y la amplitud de las vibraciones de estos equipos constituyen parámetros de vital importancia, para obtener un buen rendimiento y una eficiencia y calidad adecuadas durante el proceso de cribado. Estos parámetros, además, revisten especial interés para la determinación de las cargas dinámicas que actúan sobre el equipo y, por tanto, para el cálculo de elementos importantes, como los elementos elásticos, cojinetes, componentes estructurales, etc, ver figura 23, y para realizar los pronósticos de fiabilidad de dichos elementos. En ambos casos no resulta difícil regular o modificar la amplitud y la frecuencia de las vibraciones y si muy necesario, teniendo en cuenta las grandes



diferencias que experimentan los procesos de cribado, fundamentalmente en cuanto a:

- Tamaño y forma de los fragmentos del mineral.
- Exigencias de calidad del producto obtenido.
- Peso volumétrico del material.
- Humedad, etc.

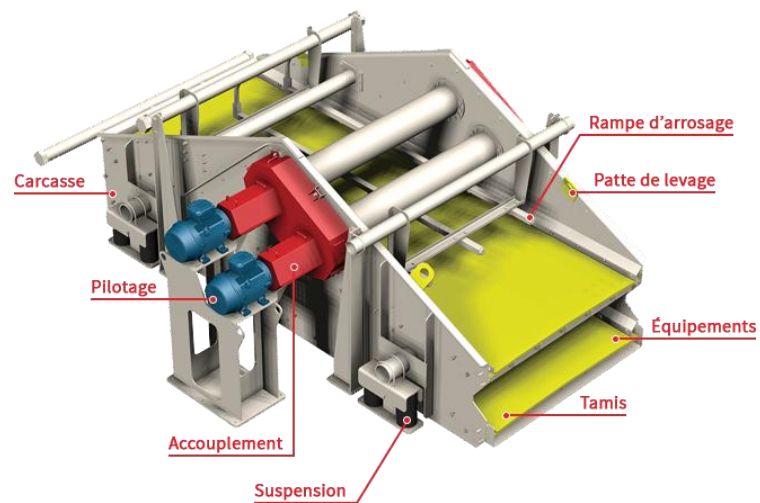


Figura 23. Zaranda vibratoria

Fuente: <http://vibratescreen.es/1-17-coke-vibrating-screen.html>

## **CAPÍTULO III: DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL SISTEMA**

En el presente capitulo se describirá el diseño e implementación de todo el sistema propuesto en la tesis. Se dividirá en dos partes: el diseño e implementación del controlador dimensional aplicando procesamiento de imágenes en el proceso de chancado de la planta Victoria.

### **3.1 Características Previas**

La presente investigación deberá cumplir con las siguientes características para cumplir con las actividades básicas que permitirá cumplir con su objetivo:

La selección y diseño de los equipos, se basará principalmente en consideraciones del proceso, específicamente en la capacidad de cada equipo para cumplir los objetivos tanto en cantidad como en calidad. Otras consideraciones complementarias son las siguientes:

- a. Bajos costos de mantenimiento y operativos.
- b. Seguridad
- c. Alta confiabilidad
- d. Obtención inmediata de repuestos
- e. Estandarización.
- f. Capacidad de absorción de sobrecargas
- g. El transporte del mineral deberá tener una velocidad de 0.6 m/s para que la cámara instalada pueda captar eficientemente la imagen.
- h. La estructura del soporte de la cámara deberá ser lo más rígida posible que soporte la vibración del chasis de la faja transportadora, deberá ser de fácil mantenibilidad y flexibilidad.
- i. El foco de la cámara deberá contar con un ambiente que no permita el ingreso de luces externas que perjudiquen la imagen captada.

- j. El ambiente de la cámara deberá tener una fuente de luz propia regulada para captar la imagen con la mejor atenuación posible.
- k. El tiempo de respuesta del controlador deberá ser menor a 20 milisegundos para que la cámara de trituración pueda operar en condiciones normales y sin pérdida de energía.
- l. El forro de la cámara de trituración no deberá tener desgaste pronunciado que interfiera con la operación requerida.
- m. El sistema deberá contar con una interfaz en donde se pueda verificar los parámetros de operación en tiempo real.
- n. El sistema deberá contar con un registro de datos

## **3.2 Diseño mecánico**

### **Diseño del Sistema de transporte.**

Los alimentadores de banda horizontal e inclinada son de diseño similar a las de las fajas transportadoras, y se usan predominantemente para extraer materiales finos de silos, tolvas y pilas de existencias o para regular las alimentaciones a equipos, cintas transportadoras, trituradoras y molinos. Proporcionan regulación volumétrica de los materiales de alimentación para evitar sobrecargas / atoramiento según figura referencial figura 24.

Los Alimentadores de Cinta deben incorporar un robusto chasis de acero laminado en el que se montan las poleas de cabeza y de cola, junto con el dispositivo de tensión de la polea de cola, los polines rectos de carga de la faja o correa plana y las placas de las guardillas. El chute de descarga también puede montarse desde este marco de acero.

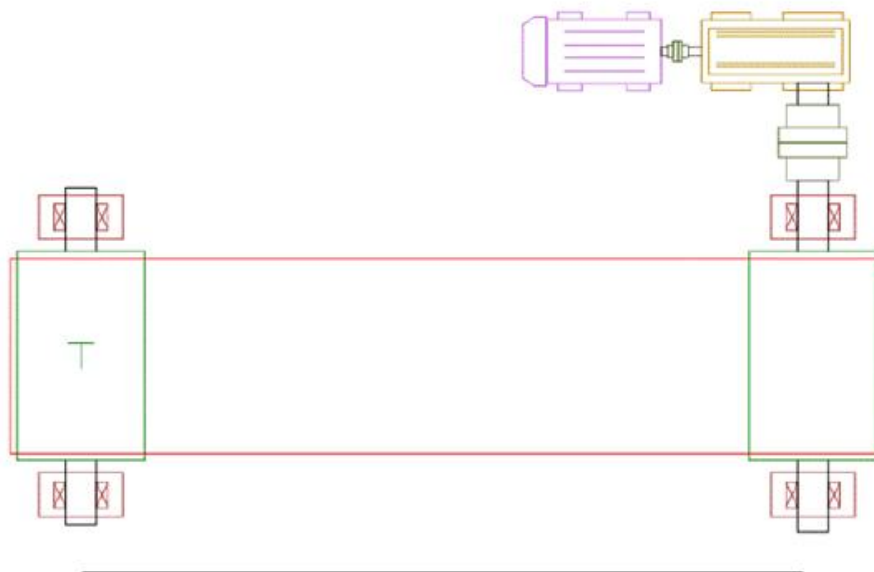


Figura 24. Diseño referencial de acoplamiento Motor-Reductor- Faja

Fuente: Elaboración Propia

### Partes y Componentes de la Faja Transportadora

La Planta Concentradora Victoria para su operación actual de 5,200 tms/pd, y posible incremento de su capacidad para ello es necesario la implementación del controlador dimensional aplicando procesamiento de imágenes en el proceso de chancado.

Considerando el tiempo de operación de la sección chancado de 16 horas, con una disponibilidad del 75%.

Los criterios de Diseño establecen los estándares y prácticas de ingeniería a ser aplicadas en la ejecución del diseño mecánico del Proyecto de las Fajas Transportadoras y Alimentadores de Fajas de la Planta Victoria de 5,200 tms/pd (condición actual).

Para lo cual se enumeran los parámetros y condiciones del mineral considerado en la tabla N°5

Tabla 5 Datos obtenidos de Cía. Volcán

Características del Mineral	Cuenta (Si)	Cuenta (No)
Pegajoso	Si	
Polvo	Si	
Higroscópico		No
Friable	Si	
Explosivo		No
Aglomerativo		No
Abrasivo	Si	
Granular	Si	
Corrosivo		No
Lajoso		No

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N°25 se puede apreciar el diseño de la faja transportadora en una vista frontal.

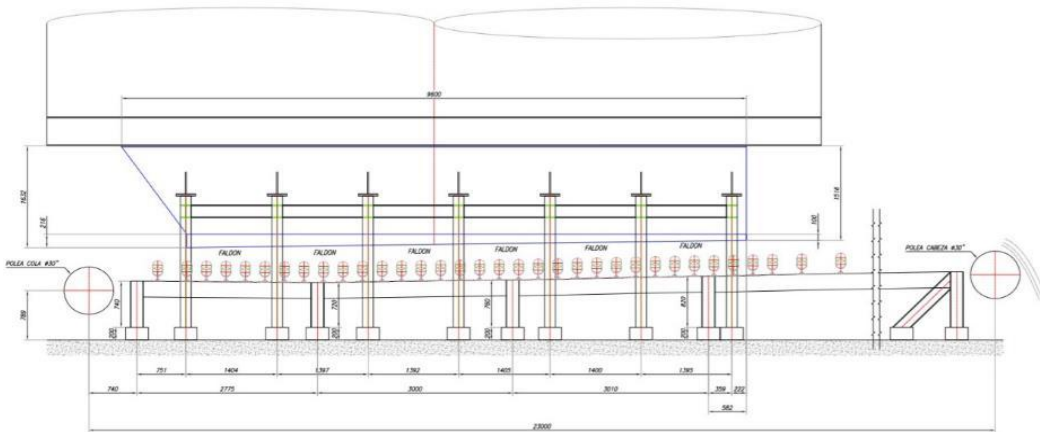


Figura 25. Diseño de la faja transportadora

Fuente: Elaboración Propia

a) Poleas

Todas las poleas deben ser de cara planas y deben ser fijadas con cubos tipo compresión. Todas las poleas motrices serán forradas con jebe de 13 mm. de espesor, en espigas (herringbone) y de 10 mm. en todas las caras de las poleas que rueden el lado sucio de la faja, a menos que se indique lo contrario según se muestra la figura 26.

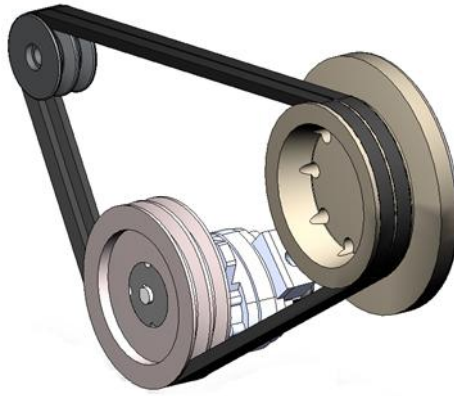


Figura 26. Diseño de la Polea de transmisión

Fuente: Elaboración Propia

#### b) Templadores.

En general, los transportadores menores o iguales a 30 m. de longitud tendrán templador de tornillo, los transportadores de más de 30 metros deben tener templador tipo gravedad. La holgura del templador por estiramiento de la faja se realizará cuando los empalmes estén vulcanizados según muestra la figura 27.



Figura 27. Diseño de los templadores de faja

Fuente: Elaboración Propia

#### c) Ejes de transmisión

Los diámetros de los ejes serán estandarizados tanto como sea posible. Los ejes de las poleas deben ser diseñados en una sola pieza, provistos de canales chaveteros y chavetas para empalmar los cubos de las poleas y componentes motrices. Ellos deben ser fabricados de acero comercial

para ejes o por lo menos equivalentes al Instituto de Acero y Hierro Americano (AISI) grado C1040, o alternativamente equivalente al más alto grado donde esto es anotado en las Hojas de Datos de Especificaciones. La combinación de polea y eje deben cumplir los requerimientos del Instituto de Normas Nacional Americana (ANSI) Norma B105.1.

d) Polines

#### **Polines de Caucho para Impacto:**

El diámetro de rodillos será de 150 mm (6 pulgadas), con la finalidad de estandarizar con las demás plantas de Volcan según se muestra en la figura 28.

#### **Polines de Carga:**

Todos los polines de carga tendrán rodillos de igual longitud a menos que se especifique lo contrario. El diámetro de los rodillos debe ser de 150 mm (6 pulgadas).

#### **Polines de Retorno**

Los polines de retorno deben ser discos de goma de auto limpieza tipo cara plana. El diámetro de rodillos será de 150 mm (6 pulgadas)



Figura 28. Diseño de los polines de faja

Fuente: Elaboración Propia

Cálculos del Sistema.

### Calculo de la Capacidad de la faja transportadora

Capacidad de diseño se calcula con la ecuación 4

$$Q_d = Q_n * FD = 2700 \text{ t/ h} \dots\dots\dots(4)$$

Dónde:

$Q_n$ : Capacidad nominal,  $Q_n = 2\ 500 \text{ t/ h}$

$FD$ : Factor de diseño,  $FD = 1,2$

Capacidad volumétrica se calcula aplicando la ecuación 5

$$Q_v = (Q_n * FD) / \delta = 0,613 \text{ m}^3 / \text{s} \dots\dots\dots (5)$$

Dónde:

$\delta$ : Densidad del material,  $\delta = 1,36 \text{ t/ m}^3$

Para ello se relaciona la capacidad de llenado real y teórico a una velocidad de  $100 \text{ ft/min}$  dando el resultante con la ecuación 6

$$Q_{100} = (Q_v * (100 \text{ ft/ min})) / V = 19\ 786,6 \text{ ft}^3 \text{ h} = 0,16 \text{ m}^3/\text{s} \dots\dots\dots(6)$$

Donde:

$Q_{100}$ : Capacidad por  $100 \text{ ft/min}$  ( $0,51 \text{ m/s}$ )

$V$ : Velocidad de la faja transportadora,  $V = 2 \text{ m/s}$



## Calculo de las Tensiones en la polea motriz

Tensiones requeridas en operación

Las tensiones de entrada y salida de la polea motriz se encuentran relacionadas por la ecuación de Euler - Eytelwein y están representadas en la Figura 29:

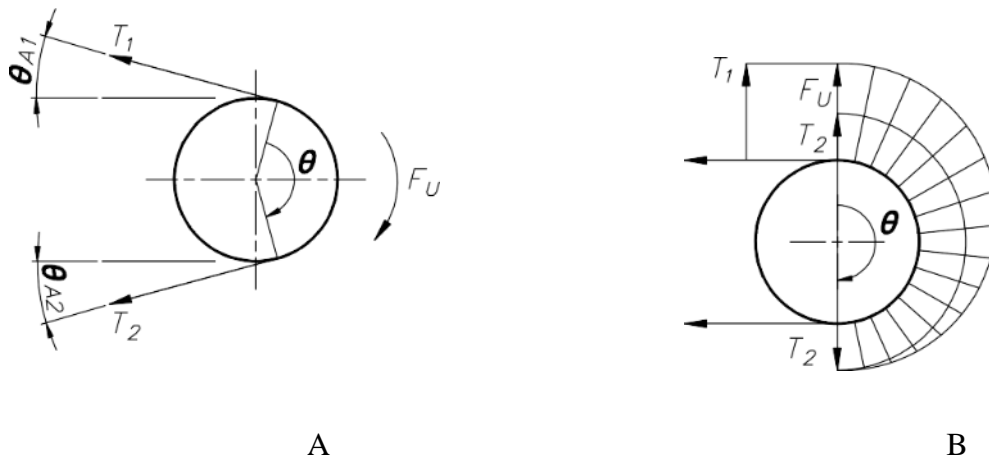


Figura 29. A: Acción de fuerza periférica y tensiones en la polea motriz

Fuente: <https://www.google.com/search?q=Acci%C3%B3n+de+fuerza+perif%C3%A9rica+y+tensiones>

Para determinar la ecuación de Euler - Eytelwein, se considera un elemento diferencial de amplitud angular  $d\varphi$ , el cual está en equilibrio bajo la acción de las fuerzas indicadas en la Figura 30:

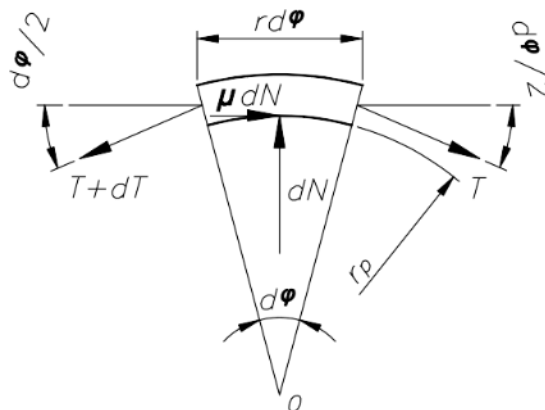


Figura 30. Acción de tensiones de la correa en un elemento diferencial del cilindro

Fuente: Elaboración propia

Sumando las fuerzas verticales en la figura 29 se obtiene la ecuación 7

$$(T + dT) * \text{sen} (d\varphi / 2) + T * \text{sen} (d\varphi / 2) - dN = 0 \dots\dots\dots(7)$$

Dado que el ángulo  $d\varphi$  es muy pequeño:

$$\text{sen} (d\varphi / 2) \approx d\varphi / 2$$

Se tiene:

$$T * d\varphi = dN$$

Ahora, sumando las fuerzas horizontales en la figura 29 se obtiene la ecuación 8

$$(T + dT) * \text{cos} (d\varphi / 2) - T * \text{cos} (d\varphi / 2) - \mu * dN \dots\dots\dots(8)$$

Dado que el ángulo  $d\varphi$  es muy pequeño:

$$\text{cos} (d\varphi / 2) \approx 1$$

Se tiene:

$$dT = \mu * dN$$

Sustituyendo el valor de  $dN$  en la ecuación 7 en 8 se obtiene la ecuación 9

$$dT = \mu * T * d\varphi \dots\dots\dots(9)$$

Integrando, se obtiene finalmente la ecuación de Euler - Eytelwein:

$$T_1 / T_2 = e^{\mu * \theta}$$

Donde:

$T_1$ : Tensión del lado de carga de polea motriz en operación

$T_2$ : Tensión del lado de retorno de polea motriz en operación

$\mu$ : Coeficiente de fricción correa – polea motriz en operación,  $\mu = 0,3$

$\theta$ : Angulo de abrazamiento entre polea motriz y correa transportadora,  $\theta = 180^\circ$

Ahora, relacionando las tensiones actuantes en la polea motriz con la fuerza periférica que se genera al accionar el sistema, se puede deducir lo siguiente:

$$T_1 = FU * 1 + 1 e^{\mu * \theta} - 1 = FU * C_1$$

$$T_2 = FU * 1 e^{\mu * \theta} - 1 = FU * C_2$$

Donde:

$C_1$  : Factor de apriete en el lado de carga de la correa en operación

$C_2$  : Factor de apriete en el lado de retorno de la correa en operación

Teniendo la fricción de la correa - polea motriz en operación dado por la

$$\mu = 0,3$$

El factor de apriete en el lado de carga de la correa en operación:

$$C_1 = 1 + 1 e^{\mu * \theta} - 1 = 1,638$$

Factor de apriete en el lado holgado de la correa en operación:

$$C_2 = 1 e^{\mu * \theta} - 1 = 0,638$$

Por consiguiente, las tensiones en la correa son:

$$T_1 = C_1 * FU = 248,21 \text{ kN}$$

$$T_2 = C_2 * FU = 96,72 \text{ kN}$$

### **Cálculo del torque requerido en la polea motriz**

Velocidad requerida en la polea y árbol está dada por la ecuación 10

$$N_2 = V / (DP/2) = 47,75 \text{ rpm} \dots\dots\dots(10)$$

Donde:

$V$ : Velocidad de la faja transportadora,  $V = 2 \text{ m/s}$

Tensión efectiva en operación, en cada extremo del árbol de la polea:

$$T_{e1} = T_1/2 = T_2/2 = 75,74 \text{ kN}$$

Torque requerido en operación, en cada extremo del árbol de la polea:

$$TR_1 = T_{e1} * (DP / 2) = 30,3 \text{ kN*m}$$

Tensión efectiva en el arranque, en cada extremo del árbol de la polea:

$$T_{eA1} = T_{A1}/2 - T_{A2}/2 = 106,04 \text{ kN}$$

Torque requerido en el arranque, en cada extremo del árbol de la polea:

$$TR_{A1} = T_{eA1} * (DP / 2) = 42,41 \text{ kN*m}$$

**Cálculo de la potencia requerida en la polea motriz**

Teniendo la fuerza periférica ( $FU$ ) y la velocidad de la faja transportadora ( $V$ ), la potencia requerida por la polea está dada por la ecuación 11:

$$PT = FU * V = 302,99 \text{ kW} \dots\dots\dots(11)$$

Por lo que la potencia requerida en cada extremo de la polea:

$$P_{T1} = P_{T2}/2 = 151,49 \text{ kW}$$

Tomando inicialmente la eficiencia del reductor de la Tabla N° 6, como si este fuera de 3 etapas (este valor luego se fija en el cálculo iterativo).

Tabla 6. Eficiencia de reductores de ejes ortogonales (SEW 2014: 45)

Abreviatura	Valor	Descripción
$\eta_r$	0,97	Eficiencia de reductores ortogonales de 2 etapas: X2K..
$\eta_r$	0,955	Eficiencia de reductores ortogonales de 3 etapas: X3K.. / X3T..
$\eta_r$	0,935	Eficiencia de reductores ortogonales de 4 etapas: X4K.. / X4T..

Fuente: <https://es.slideshare.net/juniorramirezsanchez/diseo-del-reductor-de-velocidades>

Entonces, la potencia nominal mínima requerida en cada motor es:

$$P_{M1} = P_{T1} / \eta_r = 158,63 \text{ kW}$$

Donde:

$\eta_r$ : Eficiencia de la transmisión, reductor ortogonal SEW de tres etapas, se muestra en la figura 31.

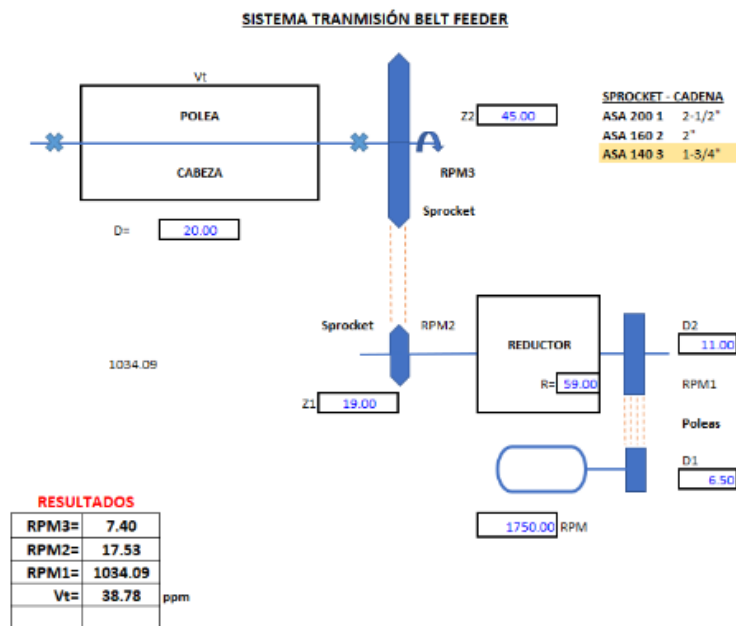


Figura 31. Calculo de trasmisión faja – reductor

Fuente: Elaboración Propia.

Información del Sistema usando el Programa SideWinder sistema usado por Cia. Volcan para realizar los cálculos, como se observa en la figura 32.

Método de cálculo : SideWinder - v6.85

Longitud del Transportador / Altura: 13 / 0.0 ft Alza de material 0.0 ft

Temperatura ambiente : 50 °F

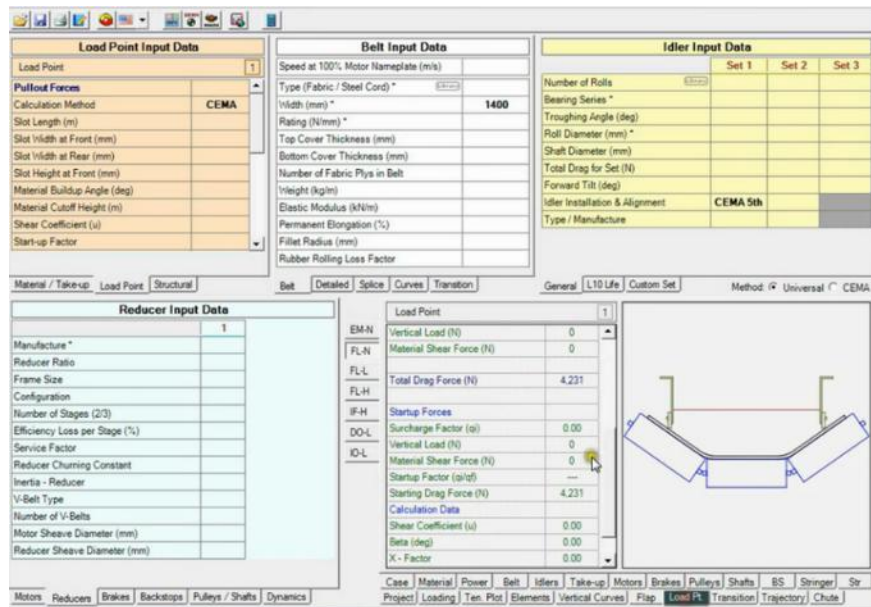


Figura 32. Calculo de trasmisión faja – reductor

Fuente: Elaboración Propia.

Características Materiales

Tipo : Zinc/ Plomo

Capacidad de Diseño : 331 tph

Densidad : 122 lb/ft<sup>3</sup>

Tamaño máximo del terrón : 0.6 in

Ángulo de la sobrecarga : 25 deg

Resumen Dislocación del Tensor

Tipo : Fijo

Sitio : Cola / Tambor #2

Tensión del estado constante: 43.3 a 45.0 kip

Tensión Momentánea : 40.4 a 45.0 kip

Resumen de Dislocación del Tambor Tensor según figura 33. Pruebas realizado con el SideWinder.

Dislocación Dinámica (incluido termal) : 0.00 ft

Elongación permanente : 0.20 ft

Longitud del empalme (1 incluidos) : 3.99 ft

Separación : 0.75 ft

Dislocación requerida : 4.95

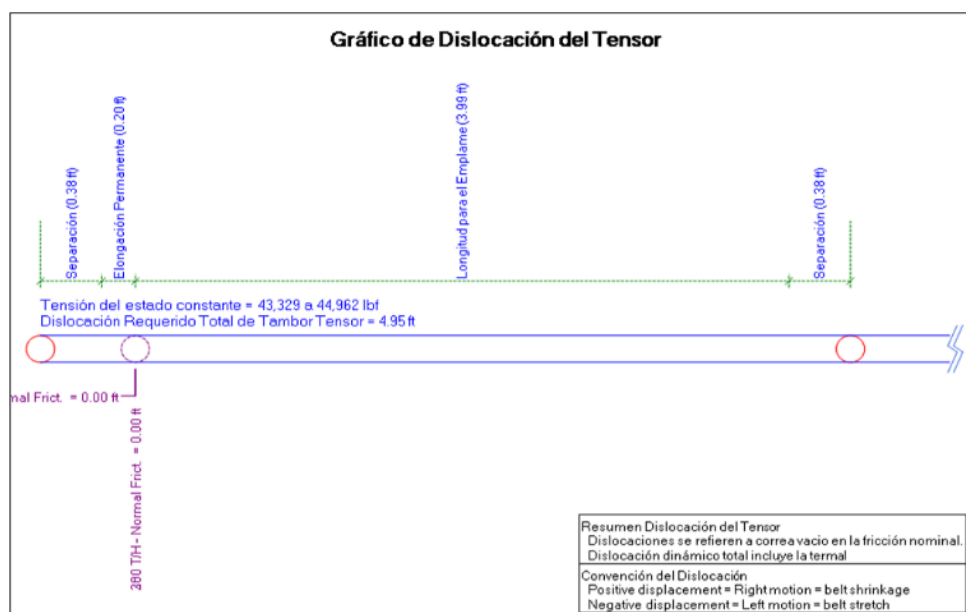


Figura 33. Gráfico de dislocación del tensor de la faja

Fuente: Elaboración Propia

## Selección de la Chancadora

Los criterios de selección se basan

Criterios operativos: Este criterio está basado en el propósito de obtener la mayor reducción posible, en esta etapa se determinan la calidad del

producto final. Para esta etapa de chancado se puede optar por las trituradoras de cono y de impactos. Los factores decisivos para la selección del equipo más adecuado son la abrasividad y la triturabilidad del material, así como la curva de granulometría deseada. En la mayoría de los casos, las trituradoras de cono pueden dar una buena forma cubica a las granulometrías finas, sin embargo, éstas, se pueden adaptar a otras aplicaciones.

Criterios técnicos: Los factores decisivos para la selección técnica de los equipos de chancado en esta etapa es la granulometría deseada el set requerido, el tonelaje a tratar, etc.

La chancadora giratoria se compone fundamentalmente de un tronco de cono recto, donde se coloca el “Mantle” (móvil) que es como una campana y se mueve excéntricamente en el interior de una cámara según se muestra en la figura 34.

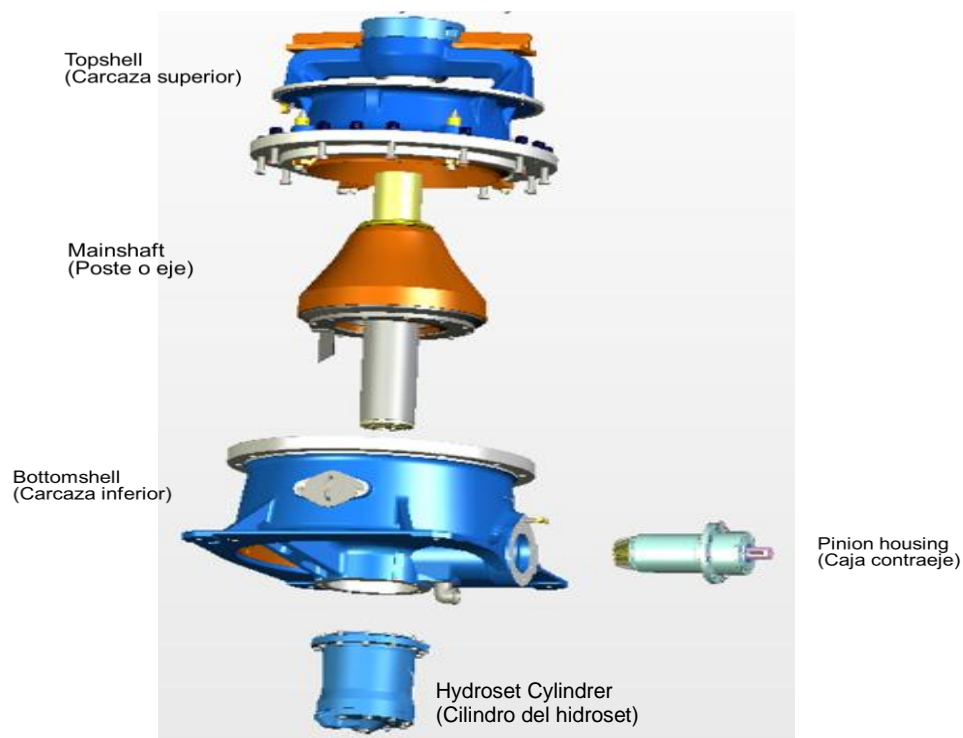


Figura 34. Diseño de Chancadora Cónica

Fuente: Elaboración Propia.



El diseño cad de la chancadora se muestra en la figura 35.

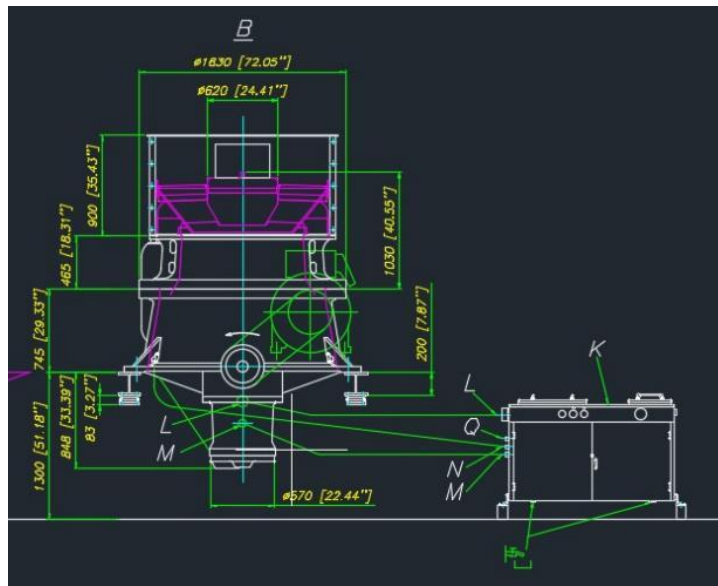


Figura 35. Medidas de la Chancadora Cónica

Fuente: Elaboración Propia.

Calculo para selección de chancadora según el índice de reducción la ecuación 12

Índice de Reducción:

F80/ P80	..... (12)
----------	------------

Donde

F80: (80% alimentación)

P80: (80% producto)

En la figura 36 podemos apreciar la relación de reducción entre el P80 y F80.

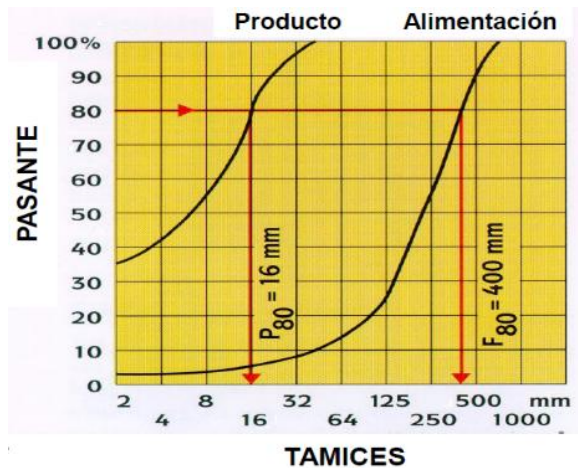


Figura 36. Relación de Reducción

Fuente: Sandvik manual

Relación de Reducción

Chancadoras de Compresión vs Impacto representado en la figura 37.

**Trituradoras de Impacto**  
**Cono**

Relación de reducción Alta.

reducción baja

Baja Inversión

Inversión

Alto desgaste.

**Trituradora de**

Relación de

Mayor

Bajo desgaste.

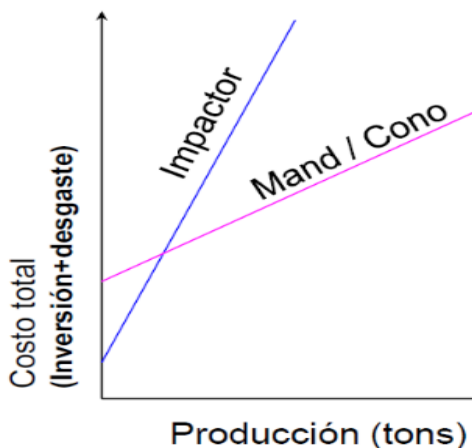


Figura 37. Relación de Costo Vs Producción

Fuente: Sandvik Manual

Durante la evaluación de costo se requiere una chancadora cónica en primer lugar por tiempo de duración, la alta confiabilidad además de la baja exposición del personal durante el mantenimiento, todo a ello a sumar la granulometría del producto se encuentra entre de 3 a 5 cm.

Potencia requerida para apertura del setting de la Chancadora.

La potencia requerida es calculada en la ecuación 13, expresión de Bond.

$$N_B = 13.33W_i \frac{Q}{\Omega} \left( \frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right) \dots\dots\dots(13)$$

Donde

Wi : Índice de trabajo de Bond ( Kw- h/Ton)

Q: La capacidad proyectada de Trituración.

El Wi recomendado para trituración hasta de 4 Ton/h de mineral es de 35 Kw- h/Ton

Donde P80 y F80 son las dimensiones de salida y alimentación respectivamente y deben estar en micras.

Ω es el valor de eficiencia mecánica supuesto.

Reemplazando con los valores dados P80 = 12700 y F80 = 1016000, el Np resultante es 2.8 HP.

## Moto-reductor de Chancadora cónica

Para el diseño del proyecto es necesario utilizar una moto reductora para controlar la apertura de la cámara de trituración, como se muestra en la figura 38. El motor reductor controlara la posición del sistema del manto de chancado en posición vertical y con esto se regulará la apertura o cerrado de la cámara.

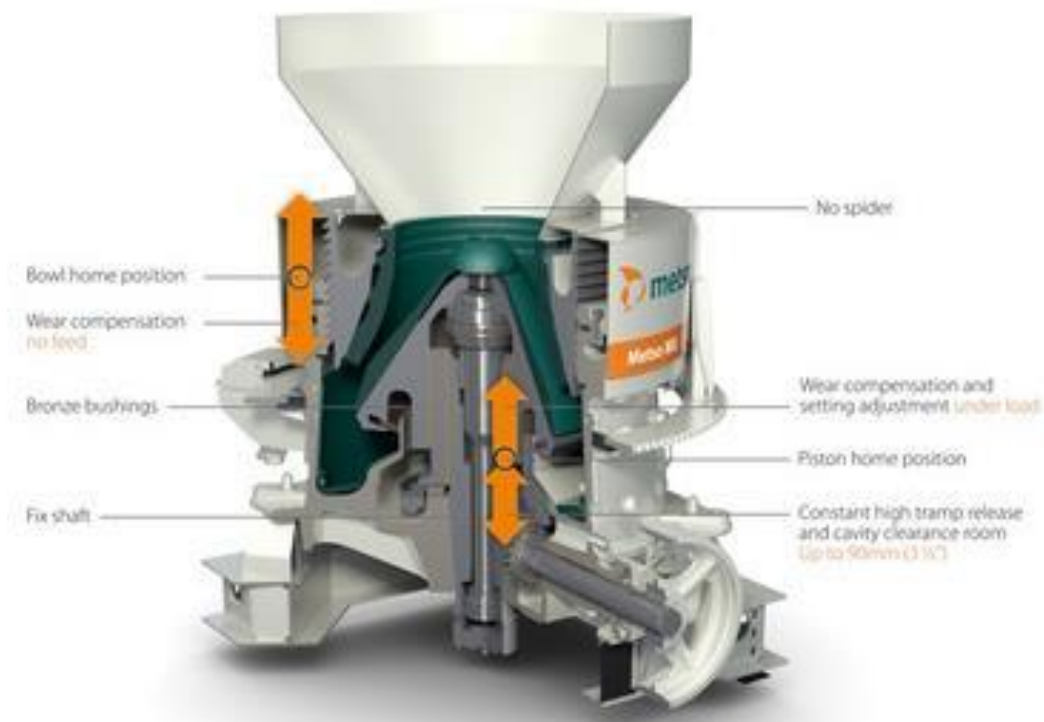
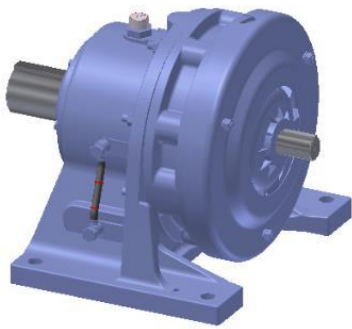


Figura 38. Posición de apertura o cierre de cámara de trituración

Fuente: <https://www.insidewaste.com.au/general/news/1051938/cone-crusher-technology-arrives-australia>

Para este proyecto se utilizará el reductor Cyclo drive 6000 de la marca Sumitomo para regular la apertura y cierre de la cámara de trituración, ver figura 39.



CARACTERISTICAS DEL EQUIPO	
DESCRIPCION	REDUCTOR
MODELO	CHH-6215-59
PESO APROXIMADO (Kg)	336
DATOS DEL REDUCTOR	
MARCA	SUMITOMO
PROCEDENCIA	JAPON
TIPO	DISCOS CYCLOIDALES
CONFIGURACION	COAXIAL
ESTILO DE MONTAJE	HORIZONTAL CON PATAS
APLICACION	FAJAS
POTENCIA DEL MOTOR (Hp)	
VELOCIDAD DE ENTRADA (rpm)	1750
RATIO	59
VELOCIDAD DE SALIDA (rpm)	29,7
CAPACIDAD MECANICA (hp)	50,56
TORQUE NOMINAL (Nm)	11500
FACTOR DE SERVICIO	
CARGA RADIAL ADMISIBLE (N)	79700

Figura 39. Reductor y Características de reductor

Fuente: Ficha técnica de Reductor Cyclo 6000 Sumitomo

### 3.3 Diseño e implementación electrónica

#### Diseño del controlador dimensional por procesamiento de imágenes

##### Sistema de captura de imágenes

El diseño del control dimensional por procesamiento de imágenes está compuesto por el sistema de captura de imágenes integrado por una cámara de alta resolución y de alto valor de obturación para que la imagen captada pueda tener mayor nitidez ante la velocidad de la faja de transmisión, la resolución de la imagen estará expresada en el número de pixeles por pulgada que contiene (“PPP” puntos por pulgada). Esto facilitara el manejo de la preparación de la imagen.

El fondo de la imagen deberá ser de color blanco para evitar ruido en la imagen captada. La selección de la cámara se realizó en comparación contra una cámara de baja resolución; para esta comparación tuvimos en cuenta muchos factores tales como: el número de pixeles de la imagen, el tamaño de la imagen, el enfoque para eliminar sombras, etc. Esta comparación la podemos observar en la tabla 7.

En la tabla 7 se muestra un comparativo de una cámara de baja y alta resolución.

Tabla 7. Cámaras de baja resolución vs Cámaras de alta resolución

<b>CAMARAS DE FOTO Y VIDEO</b>	
<b>BAJA RESOLUCIÓN</b>	<b>ALTA RESOLUCIÓN</b>
No dimensiona correctamente los bordes de la imagen, distorsión de bordes.	Elimina distorsión de los bordes de la imagen.
Ancho de imagen: 960 pixeles	Ancho de imagen: indefinido
Driver sin soporte comercial	Driver con soporte comercial
No cuenta con balance de RGB en captura de imágenes.	Balance de RGB en imágenes para procesamiento de imágenes.

Fuente: Elaboración propia

La selección de la cámara fue realizada en comparación con la cámara de baja resolución MICRONICS modelo Infinity W708, ver figura 40.



<b>CARACTERISTICAS</b>
Diseño ajustable para cualquier superficie.
Formato 24 BIT RGB a 30fps.
Ancho de imagen 960 pixeles
Interface USB 2.0
Rango de foco 5cm.
Compatible con sistemas operativos hasta WIN7

Figura 40. Cámara de baja resolución

Fuente: <http://netcomputer.com.pe/producto/camara-web-micronics-infinity-w708/>

La cámara seleccionada para el proyecto es una cámara industrial USB 3 uEye, como se muestra en la figura 41.



<b>CARACTERISTICAS</b>
Diseño ajustable para cualquier superficie.
Formato 2048X1536 @ 15fps
Ancho de imagen 3 Megapíxel 2048X1536
Interface USB Protocolo USB2.0 HS/FS
IP 68
Compatible con sistemas Win7 Win8 Win10/Linux/Android 4.0 o superior

Figura 41. Cámara seleccionada de Alta resolución

Fuente: <https://es.ids-imaging.com/store/products/cameras/usb-3-0-cameras/ueye-ml.html>

Para comprender mejor el diseño de control dimensional que comprende el control de posición de un motor orientado en base a la dimensión física de las rocas las cuales son captadas mediante imágenes tomadas por una cámara web y la imagen es tratada por el software de procesamiento de imágenes; para esto se muestra un diagrama simple que compone el diseño electrónico.

El diagrama de operación de la captura de imagen esta dado bajo el siguiente esquema que se visualiza en la figura 42.

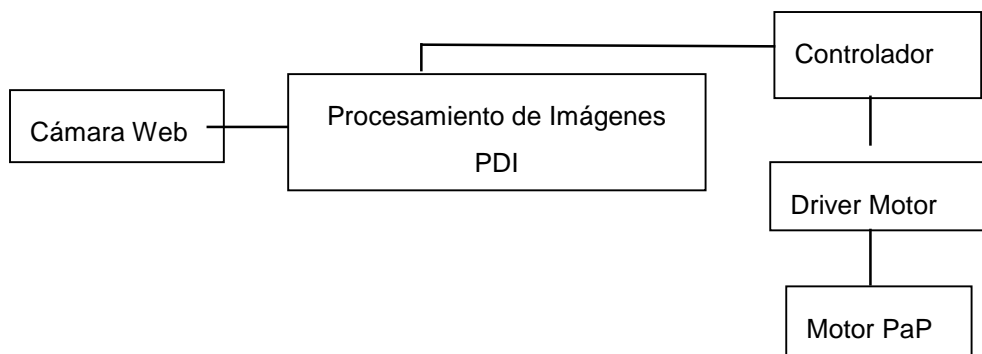


Figura 42. Diagrama Diseño de Controlador Dimensional aplicando PDI

Fuente: Elaboración propia

#### Comunicación cámara – PDI

El procesamiento digital de imágenes será empleado mediante el software MATLAB en interface de CPU, la comunicación entre la CPU y la cámara web será mediante el puerto USB. Para poder enlazar la cámara web hacia el programa de MATLAB será necesario realizar la configuración del driver de la cámara y enlazarlo a la plataforma del MATLAB.

Iniciaremos instalando el driver de la cámara, como se muestra en la imagen 43.



Figura 43. Instalación del driver de la cámara

Fuente: Elaboración propia

Una vez instalado el driver de la cámara web ingresaremos a la interface del programa Matlab para confirmar que el programa pueda detectar el driver de la cámara, abrimos una ventana de comandos e ingresamos el código “`imaqhwinfo`” el cual se utiliza para ver las propiedades del adaptador físico compatible tanto para el sistema operativo de Windows y Linux, con esto podremos observar el modo de color y la resolución de un dispositivo de un adaptador que estamos usando. Ver figura 44.

```
Command Window
>> imaqhwinfo

ans =

    InstalledAdaptors: {'winvideo'}
    MATLABVersion: '8.5 (R2015a)'
    ToolboxName: 'Image Acquisition Toolbox'
    ToolboxVersion: '4.9 (R2015a)'
```

Figura 44. Verificación de driver instalado

Fuente: Elaboración propia

Una vez verificado que el driver de la cámara ha sido identificado por el Matlab procedemos a crear la interfaz gráfica. Ingresamos el código para crear una ventana que capture una imagen y a la vez se guarde en una carpeta determinada, el código está basado en realizar un llamado al driver de cámara instalado, y generar un snapshot, luego transformar esta imagen a un mapa de bit de 640x480 para utilizarlo en el procesamiento de imagen.

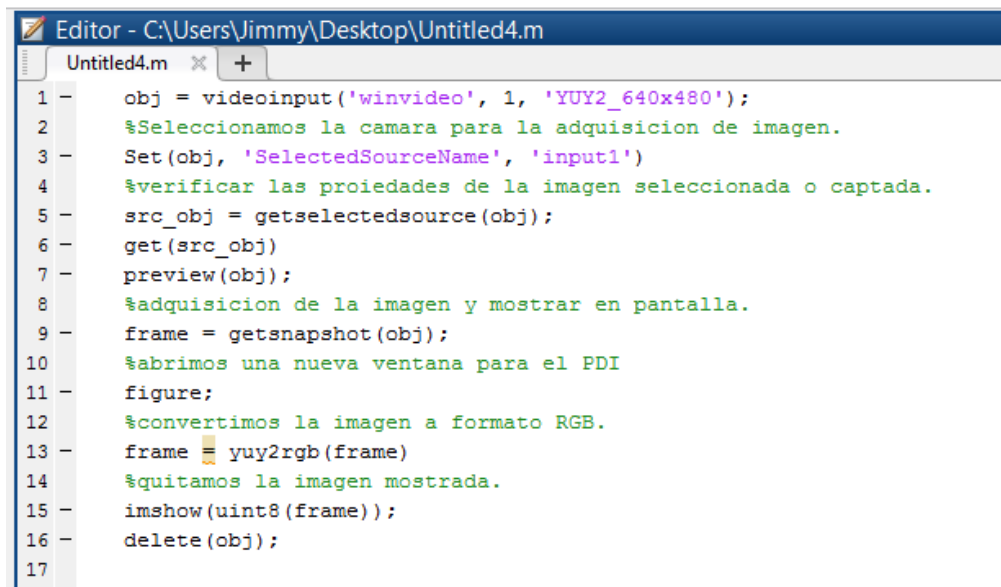


El programa de la interfaz gráfica se utilizará hacer llamado al snapshot y mostrarlo en un cuadro de imagen, mediante el comando “Videoinput” seleccionamos el adaptador de la cámara y le colocamos la máscara como “Obj”.

Seguidamente mediante el comando “Set” modificamos las propiedades del sistema dinámico utilizando nombres propios para nuestra imagen, luego mediante el comando “Src Obj” generamos dentro del procesamiento el rango de muestreo del objeto referido anteriormente, luego utilizamos el comando “Frame” para mostrar la captura de imagen del objeto.

Finalmente utilizamos el comando “imshow” para mostrar la captura de imagen transformado en formato de 8 bit para que nos muestre los valores reales RGB de la imagen.

El sistema de comandos se visualiza en la figura 45.



```
Editor - C:\Users\Jimmy\Desktop\Untitled4.m
Untitled4.m x +
1 - obj = videoinput('winvideo', 1, 'YUY2_640x480');
2 - %Seleccionamos la camara para la adquisicion de imagen.
3 - Set(obj, 'SelectedSourceName', 'input1')
4 - %verificar las propiedades de la imagen seleccionada o captada.
5 - src_obj = getselectedsource(obj);
6 - get(src_obj)
7 - preview(obj);
8 - %adquisicion de la imagen y mostrar en pantalla.
9 - frame = getsnapshot(obj);
10 - %abrimos una nueva ventana para el PDI
11 - figure;
12 - %convertimos la imagen a formato RGB.
13 - frame = yuy2rgb(frame)
14 - %quitamos la imagen mostrada.
15 - imshow(uint8(frame));
16 - delete(obj);
17
```

Figura 45. Código de interfaz grafica

Fuente: Elaboración propia

Observamos la imagen captada con la cámara instalada. Según figura 46.

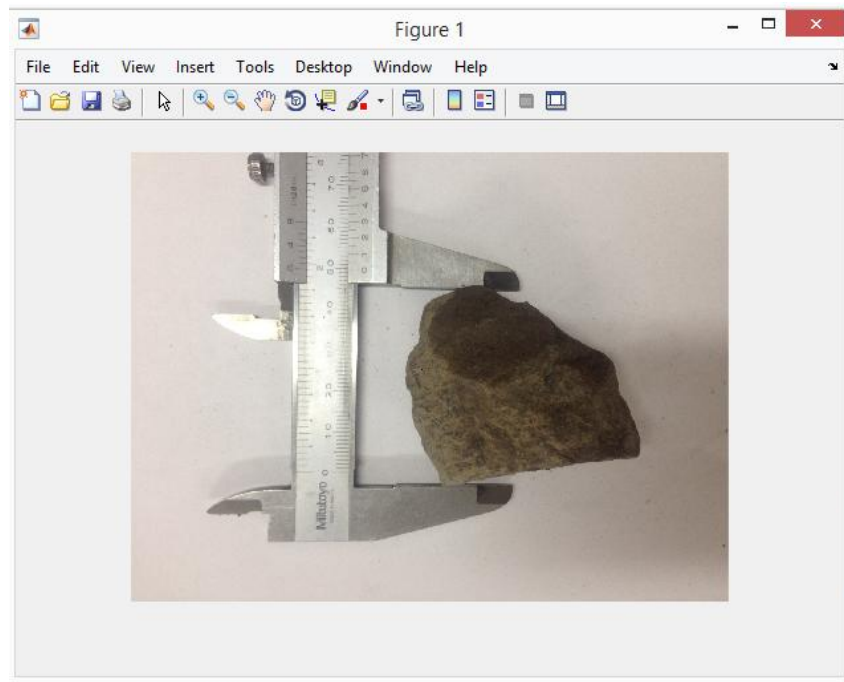


Figura 46. Imagen Captada

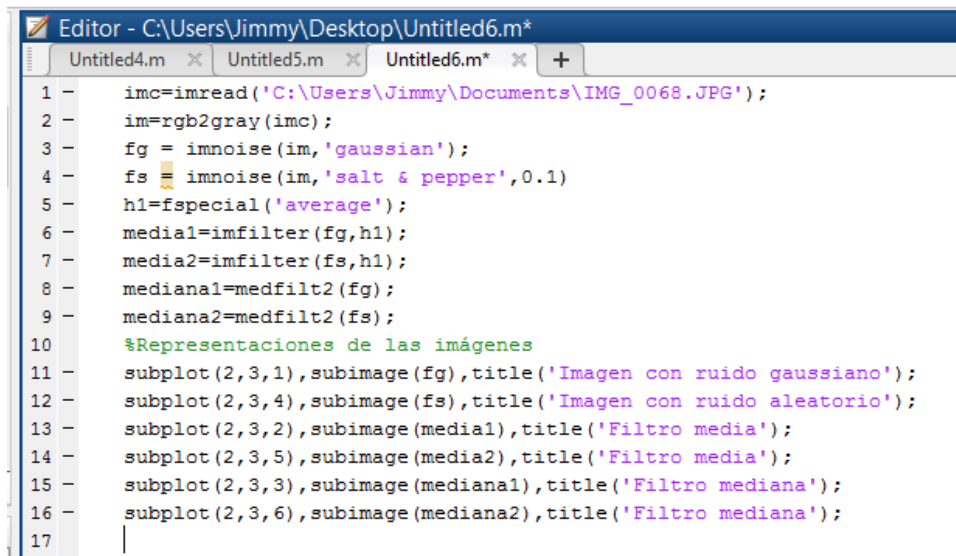
Fuente: Elaboración propia

### Procesamiento digital de imágenes mediante MATLAB

El procesamiento de imágenes iniciara con el tratamiento de la imagen, una vez que ya hemos captado la imagen y luego de haber guardado la imagen en una carpeta específica, procederemos a utilizar filtros para evaluar cuál es la imagen que mejor nos conviene para luego utilizar en el procesamiento para poder hallar el área de la imagen. Para nuestro proyecto utilizaremos 3 tipos de filtros: Filtro con ruido gaussiano, Filtro media y Filtro mediana.

Primero ingresaremos el código para el llamado de la imagen, aplicaremos el código de transformación a formato RGB, y aplicaremos los filtros, como se muestra en la figura 28; como algo adicional aplicaremos una segunda aplicación de filtros con un ruido menor para comparar la discriminación de bits en las imágenes, esto será visible en la matriz de bits.

Ingresamos el código fuente para aplicación de filtros, iniciamos utilizando el “Imread” para llamar a la imagen deseada en nuestra carpeta de archivo y lo declaramos como “Imc”, convertimos el “Imc” a escala de grises y lo declaramos como “Im”, luego utilizaremos 3 tipos de filtros para la imagen “Im”, se usara el filtro de ruido gaussiano y declarado dentro de “Fs”, usaremos el filtro de ruido “salt y pepper” y lo declaramos dentro “Fg, asi mismo utilizaremos los filtros media y mediana para realizar las comparaciones. Finalmente mostramos las imágenes mediante los comandos “subplot” tal como se muestra en la figura 47.

The image shows a screenshot of a MATLAB editor window titled "Editor - C:\Users\Jimmy\Desktop\Untitled6.m\*". The window contains several tabs: "Untitled4.m", "Untitled5.m", and "Untitled6.m\*". The code in the editor is as follows:

```
1 - imc=imread('C:\Users\Jimmy\Documents\IMG_0068.JPG');
2 - im=rgb2gray(imc);
3 - fg = imnoise(im,'gaussian');
4 - fs = imnoise(im,'salt & pepper',0.1)
5 - h1=fspecial('average');
6 - media1=imfilter(fg,h1);
7 - media2=imfilter(fs,h1);
8 - mediana1=medfilt2(fg);
9 - mediana2=medfilt2(fs);
10 %Representaciones de las imágenes
11 - subplot(2,3,1),subimage(fg),title('Imagen con ruido gaussiano');
12 - subplot(2,3,4),subimage(fs),title('Imagen con ruido aleatorio');
13 - subplot(2,3,2),subimage(media1),title('Filtro media');
14 - subplot(2,3,5),subimage(media2),title('Filtro media');
15 - subplot(2,3,3),subimage(mediana1),title('Filtro mediana');
16 - subplot(2,3,6),subimage(mediana2),title('Filtro mediana');
17 |
```

Figura 47. Código fuente para aplicación de filtros

Fuente: Elaboración propia

Mostramos los cuadros de imágenes con filtros mencionados tal como se muestra en la figura n°48.

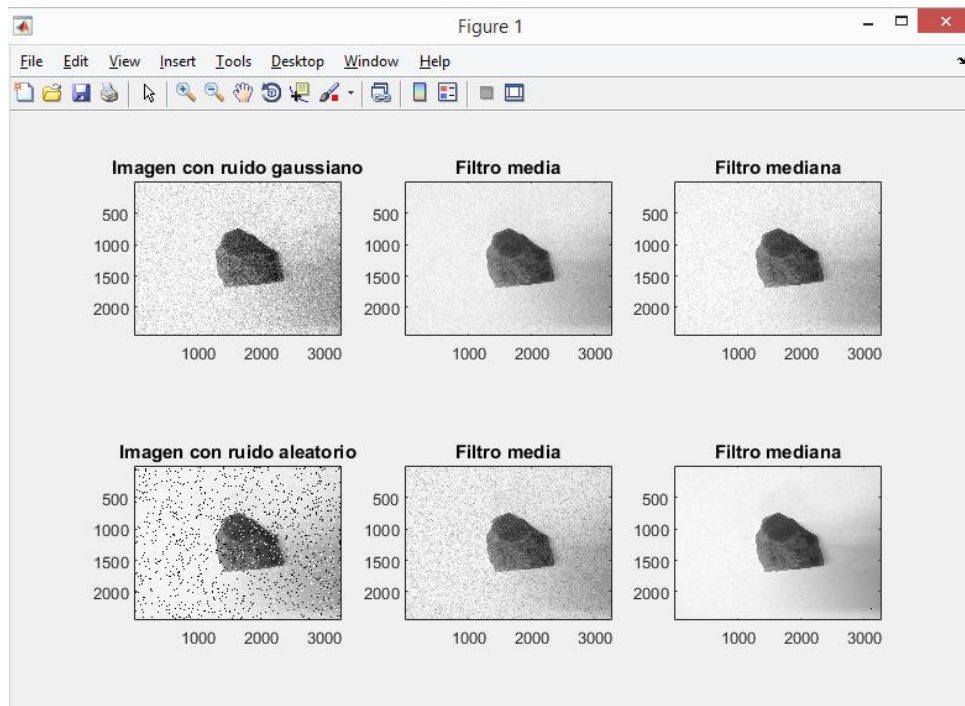


Figura 48. Cuadro de imágenes filtradas

Fuente: Elaboración propia

El paso anterior nos sirve mucho en primera, porque no es posible la transformación directa de una imagen en color a una imagen binaria, pero más importante es el hecho de que, al aumentar el contraste, es más fácil seleccionar un umbral durante la transformación de la imagen en escala de grises a imagen binaria. Al final de la transformación, existe todavía la posibilidad de que haya píxeles de sobra en la imagen binaria, por lo que se ejecuta un procesamiento denominado procesamiento morfológica de erosión y dilatación (closing), que a grandes rasgos erosiona o elimina píxeles aislados en la imagen, pero a costa de eliminar las orillas de los objetos grandes; es decir, trabaja con las fronteras de los objetos detectados. Sin embargo, después de dilatar la imagen, se regeneran las orillas de los objetos, pero es imposible que esto pase con los píxeles aislados debido a su previa eliminación en la etapa de erosión.

Ahora que se tiene el objeto aislado se analiza la distribución de los píxeles blancos a lo ancho de la imagen mediante el archivo "pixelancho.m", incluido también en los anexos de la presente tesis con el

desarrollo del programa completo. Al terminar esta etapa, se conoce el número de píxeles que la imagen “roca1” abarca a lo ancho de la imagen. Al término de dicho análisis puede observarse un histograma como el de la figura 49.

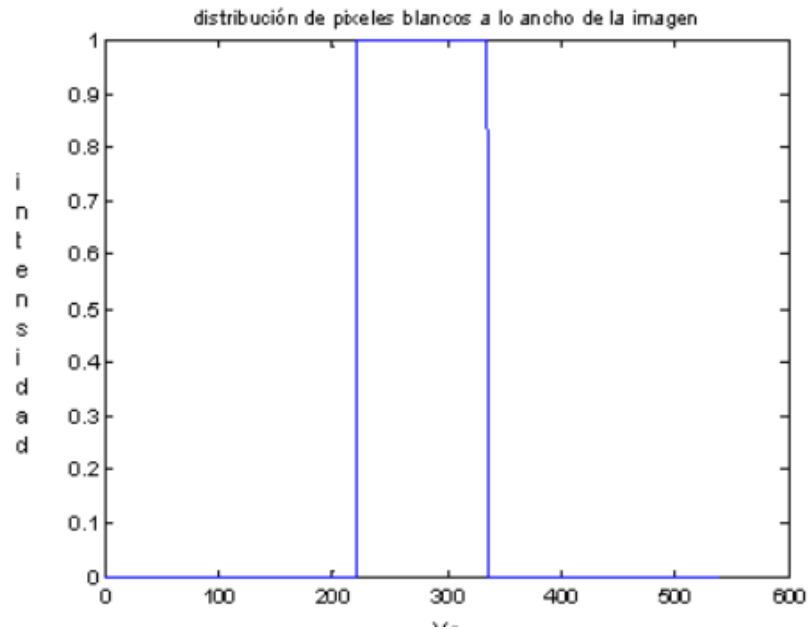


Figura 49. Histograma de distribución de píxeles blancos a lo ancho de la imagen

Fuente: Elaboración propia

Observamos que la distribución de píxeles de la imagen se encuentra en el rango entre 200 y 400 píxeles, esta prueba de la distribución de histograma de la imagen captada nos ayudara a comprobar que la imagen está preparada para realizar el algoritmo de cálculo de área de la imagen.

Con esta resolución se hizo el desarrollo del algoritmo, sin embargo en las etapas finales se decidió utilizar una resolución mayor para que el funcionamiento fuera más óptimo.

Como es visto en esta parte, cada vez que se haga el procesamiento de una imagen se obtendrán n píxeles para el objeto, dependiendo de la distancia a la que éste se encuentre.

El factor de conversión se halla evaluando la fórmula en diversas distancias conocidas (previamente medidas). La variable “L” entonces, es

un producto del número de píxeles “n” por el factor de conversión “α”, tal como se muestra en la ecuación 14.

$$L = \alpha \times n \dots\dots\dots (14)$$

Para ilustración, se muestra un ejemplo para el cálculo de α. Se coloca el objeto a una distancia conocida d = 43.15 cm de la cámara y su tamaño en píxeles es n = 252. Se repite este proceso varias veces para tener diferentes resultados de α, los cuales se promedian, para obtener un valor de α para cada resolución de la cámara, que se usa para calcular la distancia de cualquier objeto hacia la cámara, el muestreo se observa en la tabla 8.

Tabla 8. Ancho de Pixeles según altura de cámara.

Distancia en centímetros	Ancho en píxeles	alfa correspondiente
43.15	252	0.171284739
63.35	176	0.167047786
27.2	390	0.175576546
85.3	128	0.170585067
116.49	92	0.173789502

Fuente: Elaboración propia

El programa para hallar el área estará definido de la siguiente manera; llamamos la imagen tratada mediante el “Imread” y lo declaramos como la variable “I”, luego binarizamos la imagen y la declaramos como la variable “B”, seguidamente utilizaremos el comando “área” para hallar el valor del área de la imagen y lo declaramos con la variable “Valor\_area”.

Utilizamos el comando “Ient” para binarizar la imagen a bit de 128 y lo declaramos como “BW”, luego colocamos la variable “BW” a blanco; una vez realizado la binarización de las imágenes utilizaremos el comando “Regionprops” para hallar el valor del área de “BW”.

Es importante mencionar que el área es hallada mediante el conteo de los píxeles de la matriz de la imagen, esta matriz tiene un arreglo de filas y columnas, este arreglo nos mostrara las coordenadas del centroide (número de píxeles).

El programa es compilado en la plataforma de procesamiento para observar la imagen binarizada y ver cuál es valor del área sombreada de la captura de imagen.

El programa realizado para hallar el área de la imagen se muestra en la figura 50.

```
Editor - C:\Users\Jimmy\Desktop\Untitled7.m
Untitled4.m x Untitled5.m x Untitled6.m x Untitled7.m x +
1 - I = imread('C:\Users\Jimmy\roca1.JPG');
2 - B = binauto(I);
3 - B = ~B;      % negamos para que el objeto esté en blanco!!
4 - valor_area = area(B);
5 - Ient = imread('llavefija1.bmp');
6 - BW = Ient > 128;      %binariza 'ROCA1' con umbral 128
7 - BW = ~BW;           %pone objeto en blanco
8 - area = sum(sum(BW)); %suma los valores de la matriz
9 - Ient = imread('corona2.bmp');
10 - umbralOpt=graythresh(Ient); %busca umbral optimo
11 - BW = im2bw(Ient,umbralOpt); %binariza
12 - BW = ~BW;         %pone objeto en blanco
13 - s = regionprops(BW, 'area');
14 - area = s.Area(1)
15 - [filas,columnas]=size(B);
16
17 - valor_area=0;
18
19 - for i=1:filas
20 -     for j=1:columnas
21 -         if (B(i,j)~=0) valor_area=valor_area + 1;
22 -         end
23 -     end
24 - end
```

Figura 50. Código fuente cálculo de área de imagen

Fuente: Elaboración propia

El algoritmo que utilizamos para la elaboración de nuestro programa está dado de la siguiente manera, como se muestra en la figura 51.

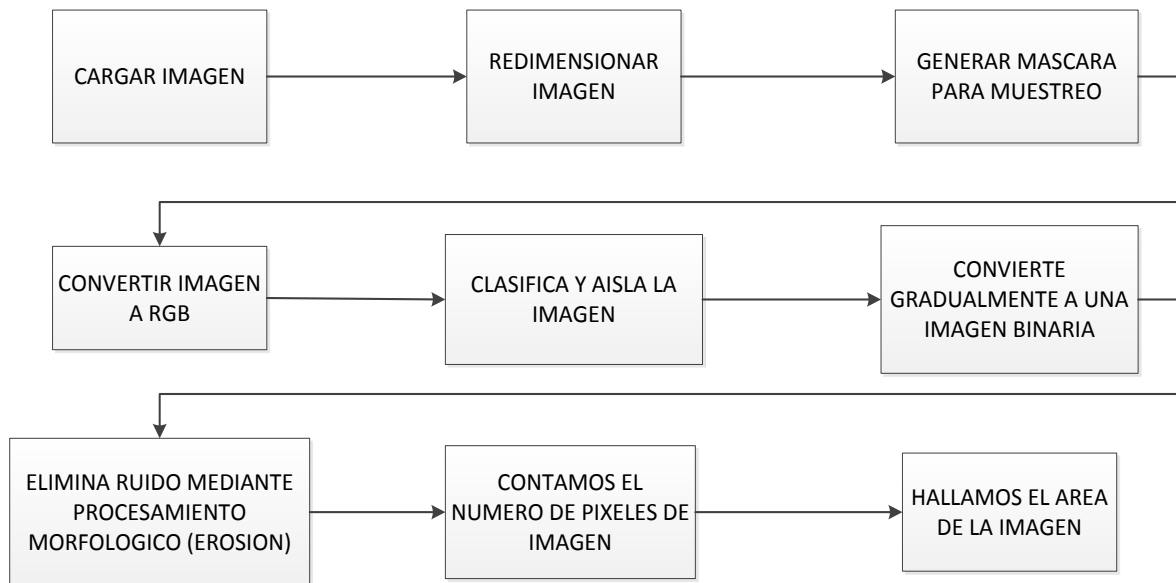


Figura 51. Diagrama de bloque de algoritmo para cálculo de área de imágenes

Fuente: Elaboración propia

### Calculo de escala de cámara

La escala con la que trabajara el sistema de captura de imágenes determinara el área de hallada en la imagen mediante el procesamiento de imágenes, para esto necesitamos saber acerca las variables que se van a considerar para poder hallar la escala.

La distancia focal es una de las variables para determinar la escala y esto significa el cálculo de la distancia óptica desde el punto en donde los rayos convergen hasta formar una imagen nítida de un objeto, ver imagen 52.



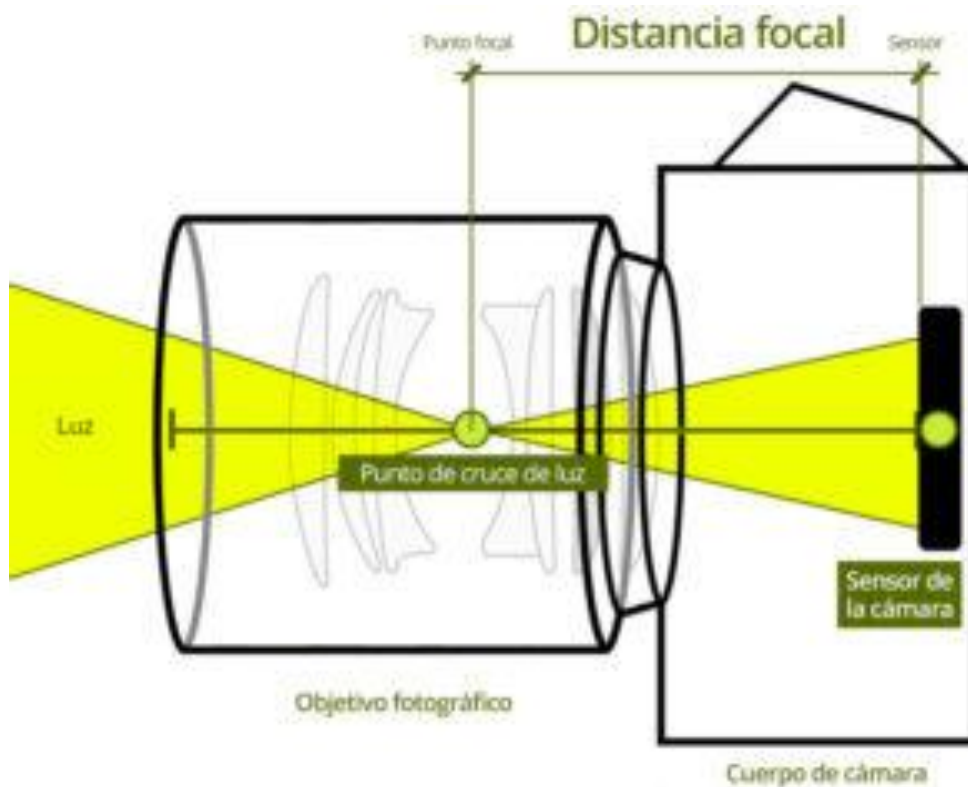


Figura 52. Distancia focal

Fuente: <https://www.diligent.es/fotografia-de-producto-que-es-el-iso-en-la-fotografia-y-distancia-focal/fotografia-de-producto-ejemplo-de-distancia-focal/>

Para nuestro proyecto, la cámara a utilizar tiene una distancia focal de 12 mm.

De acuerdo al diseño, la distancia de la cámara hasta el objeto es de 160mm.

La fórmula de la escala está dada por la ecuación 14.

$$H = E \cdot f \dots \dots \dots$$

... (14)

H: Distancia de objeto

E: Escala de imagen

f: Distancia focal

De donde se desprende

$$160 = E \cdot 12$$

$$E = 13.3$$

La posición de la cámara esta dado de la siguiente manera, ver figura 53.

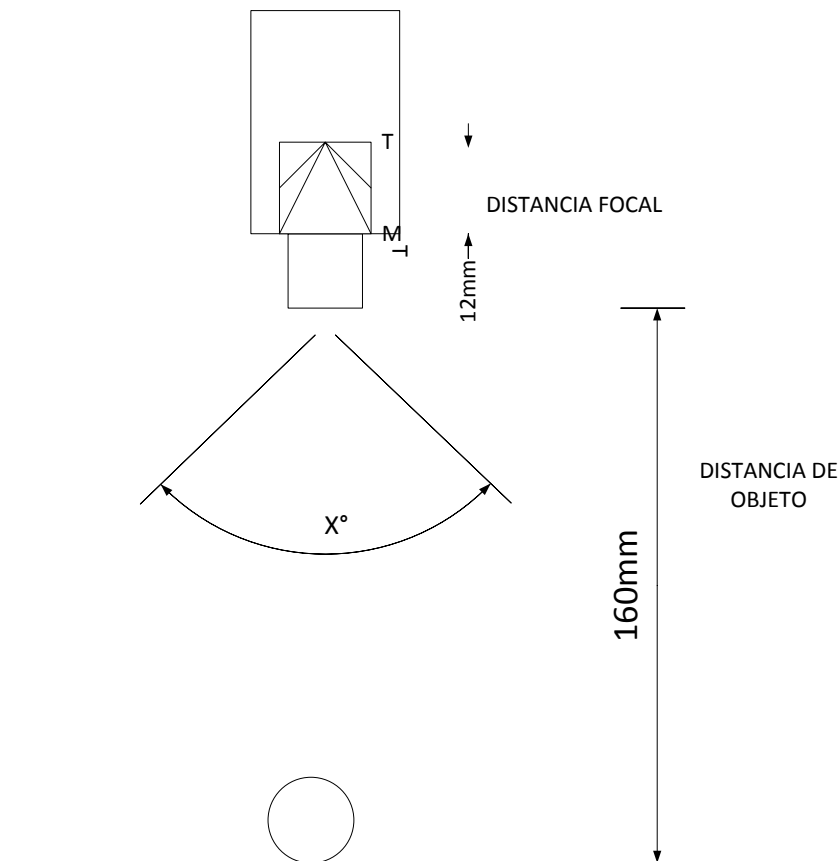


Figura 53. Diseño de Captura de imagen

Fuente: Elaboración propia

### Controlador dimensional

Una vez hallado el valor del área de la imagen, realizaremos la comunicación entre la PC y el controlador seleccionado; La selección del controlador fue realizado bajo los criterios que se requiere para el proyecto y en comparación con los micro controladores que si bien es cierto son más flexibles al momento de realizar la programación, sin embargo estos no presentan la robustez que se requiere para que pueda operar a una cierta altura y condiciones ambientales que solicita la planta concentradora Victoria.

En la tabla 9 se muestra un comparativo entre microcontroladores y Plc's.

Tabla 9. Selección de controlador

<b>CONTROLADORES PROGRAMABLES</b>	
<b>MICROCONTROLADORES</b>	<b>PLC's</b>
Proyectos caseros y de mediana envergadura.	Proyectos industriales.
Configuración compleja, difícil dominio del hardware	Fácil configuración.
Bajo costo, sin soporte comercial.	Alto costo, soporte garantizado por el proveedor.
Alta sensibilidad a la interferencia 83electromagnética.	Baja sensibilidad a la interferencia 83electromagnética.
Número de entradas y salidas limitadas para el proyecto.	Número de entradas y salidas abiertas para aumentar según el proyecto.

Fuente: Elaboración propia

Nuestra selección está basada en criterios técnicos que puedan soportar nuestro diseño, por ejemplo, se tuvo en cuenta la actualización de la plataforma de programación para poder modificar nuestro programa siempre que se pudiese requerir, otro de los criterios fue que tenga la robustez para que la operación se realice en un terreno a más de 4,500 msnm y soporte los aspectos climáticos de la planta Concentrador Victoria.

La comparación de Plc's se realizó con el PLC de SIEMENS modelo Logo 0BA7, como se muestra en la figura 54.



<b>CARACTERISTICAS</b>
Tensión de Alimentación 115 V ac/dc, 230 V ac/dc
8 entradas digitales y 4 salidas digitales
Conexión Ethernet, toma RJ45
Periodo de copia de seguridad de 20 días
Comunicación con S7 PLC, HMI y otros módulos LOGO
Memoria 0.5 MB
Tipo de red Ethernet

Figura 54. PLC Siemens Logo 0BA7

Fuente: <https://es.rs-online.com/web/p/modulos-logicos/7391372/>

Para el proyecto hemos seleccionado utilizar el controlador PLC Compact Logix 5370 de la marca Allen Bradley. Este PLC tiene gran compatibilidad para utilizar diferentes módulos de control. El módulo requerido para nuestro proyecto es el de ethernet, módulo de entradas y salidas digitales. El PLC se interconectará con la PC para lograr la comunicación entre el software de MATLAB y el lazo de control de la cámara de video. Ver figura 55.



CARACTERISTICAS
Tensión de Alimentación 115 V ac/dc, 230 V ac/dc
Entradas y salidas expandibles hasta 216
Conexión Ethernet, Devicenet y otras redes industriales
Periodo de copia de seguridad de 06 meses
IP 68
Memoria 2 MB
Tipo de red Ethernet, Wireless, RJ245

Figura 55. PLC Compact Logix 5370

Fuente: [https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/pp/1769-pp010\\_-es-e.pdf](https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/pp/1769-pp010_-es-e.pdf)

### *Etapa de conversión de valores Digital – Análogo*

En esta etapa realizaremos la conversión del valor del área hallado en el procesamiento de imágenes en el entorno de Matlab; el valor calculado esta expresado en formato hexadecimal para luego convertirlo a análogo y utilizarlo en el programa de control. La lógica de control lo desarrollamos en el software RSlogix plataforma de programación de la marca Allen Bradley y Rockwell Automation.

La etapa de conversión digital – análogo estará basado en el escalamiento de corriente en relación al valor digital hallado del área de la imagen mediante el puerto de comunicación.

Se poseen 4 canales de direccionamiento en formato tipo palabras por lo tanto existen desde el 0 hasta el 3.

Ejemplo: Si deseamos direccionar el canal de entrada análoga 2 en el slot 3 debemos escribir I: 3.2.

Para Modulo N04I el criterio es el mismo como es módulo 4 O: 4.0 que es la palabra análoga de salida 0.

Las señales de tensión y corriente se convierten en señales de 16 bits con dos bits para complementos binarios

La tabla 10 identifica la relación de rangos para tensiones y corrientes en las entradas de los canales análogos

Tabla10. Valores de escalamiento de Imagen

Rango de Tensión y Corriente	Representación decimal	Bits significativos	Resolución
-10vcc a +10vcc 1LSB	-32768 a +32767	16 bits	305.176µv
0 a 10vcc 1LSB	0 a 32767	15 bits	
0 a 5vcc	0 a 16384	14 bits	
1 a 5vcc	3277 a 16384	13.67 bits	
-20 a +20ma	-16384 a +16384	15 bits	1,22070µv
0 a 20ma	0 a 16384	14 bits	
4 a 20ma	3277 a 16384	13,67 bits	

Fuente: Elaboración propia

Para determinar la tensión o corriente de acuerdo a un valor de entrada se aplica la ecuación 14:

$$\frac{10v}{32767} \times \text{Valor de entrada} = \text{Voltaje de entrada} \dots \dots \dots (14)$$

Si el valor de entrada es -16201

$$\frac{10v}{32767} \times (-16201) = -4.892$$

Si el valor de entrada es 4096

$$\frac{20ma}{16384} \times 4096 = 5ma$$

Tabla 11. Valores de escalamiento de imagen en la salida.

<b>Salida Análoga NIO4I</b>			
<b>Rango de Tensión y Corriente</b>	<b>Representación decimal</b>	<b>Bits significativos</b>	<b>Resolución</b>
0 a -21ma 1LSB	0 a +32767	13 bits	2,56348μA
0 a 20ma	0 a 31208	12.92 bits	
4 a +20ma	6242 a +31208	15 bits	

Fuente: Elaboración propia

El programa se desarrolla de la siguiente manera; el dato transmitido por el puerto I: 1/0 es verdadero la cantidad 32676 (Source), se moverá hacia el destino que es la salida análoga 0 en slot 4 (Dest), como se muestra en la figura 56.

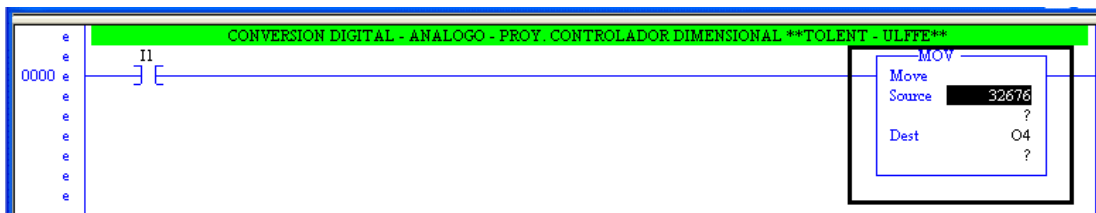


Figura 56. Comando MOV lenguaje ladder

Fuente: Elaboración propia

Aquí aparecen valores que tienen que ver con rango a medir en la variable de entrada o salida, en esta etapa utilizamos el bloque SCL para realizar el escalamiento del valor medido, y lo guardamos en el registro N7:10 (Dest).

El máximo ratio de escalamiento para nuestro control será 15259 (Rate) de acuerdo a la tabla realizada en la tabla 8, el offset por default es de -5000 el cual significa que el ajuste de ganancia es mínimo para nuestro proyecto.

Tal como se muestra en la figura 57.



Figura 57. Comando SCL lenguaje ladder

Fuente: Elaboración propia

## Modulo Ethernet

El módulo seleccionado para nuestro controlador es el 1756-ENET/B de la marca Allen Bradley, este módulo sirve de adaptador que interconecta los módulos de E/S o bien como escáner que envía y recibe datos entre el controlador y la red. El módulo Ethernet usa el protocolo de control e información (CIP). El CIP es el protocolo de nivel de aplicación especificado para Ethernet/IP, el protocolo industrial Ethernet, así como ControlNet y DeviceNet.

Es un protocolo basado en mensaje que implementa una ruta relativa para enviar un mensaje desde el dispositivo “productor” en un sistema a los dispositivos “consumidores”. El dispositivo productor contiene la información de ruta que dirige el mensaje por la ruta correcta a los consumidores. Puesto que el dispositivo productor contiene esta información, los otros dispositivos en la ruta simplemente pasan esta información.

No es necesario que la almacenen, ver imagen 57.

Esto brinda dos ventajas importantes:

- a) No es necesario configurar las tablas de encaminamiento en el módulo de conexión en puente, lo cual simplifica muchísimo el mantenimiento y recambio del módulo.

- b) Usted mantiene el control completo de la ruta usada por cada mensaje, lo cual le permite seleccionar rutas diversas para el mismo dispositivo destino.

La figura 58 nos muestra el módulo ethernet.



Figura 58. Modulo Ethernet

Fuente: [https://www.molex.com/molex/news/display\\_news.jspA?channel=New&channelId=-8&oid=1196](https://www.molex.com/molex/news/display_news.jspA?channel=New&channelId=-8&oid=1196)

#### Modulo Entradas / Salidas Digitales y Análogas.

Estos módulos de conexión digital proporcionan salidas de transistor para conmutar una gran variedad de tensiones de 12 / 24 V dc a cargas de campo y para adquirir señales de 12/24 V de dispositivos de campo.

Los módulos de entrada digitales trabajan con señales de tensión, por ejemplo cuando por una vía llegan 24 voltios se interpreta como un "1" y cuando llegan cero voltios se interpreta como un "0"

El proceso de adquisición de la señal digital consta de varias etapas.

- Protección contra sobretensiones
- Filtrado
- Puesta en forma de la onda
- Aislamiento galvánico o por optoacoplador



El modulo seleccionado es el E/S PLC ABB Serie AC50 16xE/S. Este módulo de entrada/salida analógica permite que el valor de una variable numérica interna del autómata se convierta en tensión o intensidad, el modulo se muestra en la figura 38.

Lo que realiza es una conversión D/A, puesto que el autómata solo trabaja con señales digitales. Esta conversión se realiza con una precisión o resolución determinada (número de bits) y cada cierto intervalo de tiempo (periodo muestreo).

Esta tensión o intensidad puede servir de referencia de mando para actuadores que admitan mando analógico como pueden ser los variadores de velocidad, las etapas de los tiristores de los hornos, reguladores de temperatura, permitiendo al autómata realiza funciones de regulación y control de procesos continuos.

El proceso de envío de la señal analógica consta de varias etapas:

- Aislamiento galvánico
- Conversión D/A
- Circuitos de amplificación y adaptación
- Protección electrónica de la salida

En la figura 59 se muestra el módulo de entrada y salida seleccionado para el proyecto.



Figura 59. Módulo de Entrada / Salida

Fuente: <https://es.rs-online.com/web/p/products/7040024/>

Las especificaciones técnicas del módulo se muestran en la figura 60.

Atributo	Valor
Serie del Fabricante	Serie AC 500
Número de Entradas	8
Número de Salidas	8
Tipo de Entrada	Digital
Tipo de Salida	Digital, Transistor
Para Uso con	Serie AC500
Número de E/S	16
Categoría de Tensión	24 Vdc
Corriente de Salida	500 mA
Temperatura de Funcionamiento Máxima	+60°C
Temperatura de Funcionamiento Mínima	0°C

Figura 60. Especificaciones del Módulo E/S

Fuente: <https://es.rs-online.com/web/p/products/7040024/>

#### Fuente de alimentación del sistema del controlador

La fuente de alimentación que hemos seleccionado se encarga de convertir la entrada de tensión alterna de la red en una tensión continua y consta de varias etapas que son: Transformación, rectificación, filtrado y regulación.

La fuente que utilizaremos para nuestro proyecto será la de una fuente conmuta, esta fuente de alimentación se encarga de convertir la entrada de tensión alterna de la red en una tensión continua y consta de varias etapas que son: Transformación, rectificación, filtrado y regulación. La marca de la fuente es Cetronic 27vdc, ver figura 61.



Tensión de salida	27,6Vdc
Corriente máxima suministrada	5Amp
Variación de carga	Del 0% al 100%
Protección de sobrecarga de salida	Mediante Fusible
Temperatura de funcionamiento	de - 5 °C a + 40 °C
Grado de protección	IP30
Conforme norma	EN 54-4
Peso	6,7Kg
Dimensiones	450mm X 260mm X 205mm

Figura 61. Fuente de alimentación 27,6 vdc

Fuente:<https://www.cetronic.es/sqlcommerce/disenos/plantilla1/seccion/producto/DetalleProducto.jsp?ididioma=&idTienda=93&codProducto=066051001&cPath=1004>

## Configuración y programación del controlador

El desarrollo de la lógica de control se realizará mediante el software de control RSLinx que pertenece a la marca de Allen Bradley, en esta plataforma se desarrollará el programa de control en lenguaje ladder mediante una serie de comandos. Primero iniciaremos configurando el PLC seleccionado en la plataforma:

### Paso 1:

- Ingrese al programa RSLINX (programa de comunicación PC – PLC) y configuramos el driver.

La configuración del driver se puede observar en la figura 62.

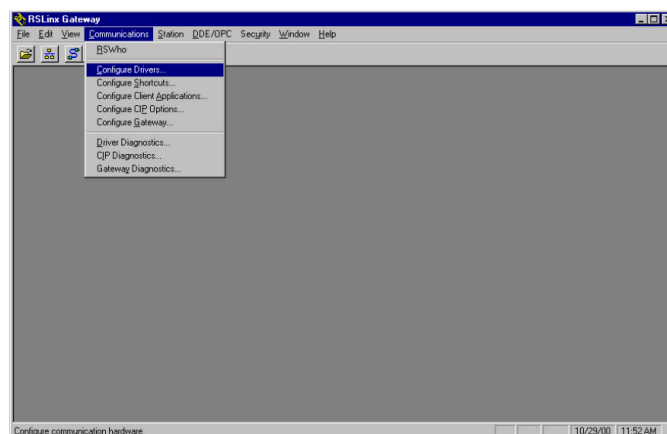


Figura 62. Ventana de configuración n°1

Fuente: Elaboración propia

## Paso 2:

- Configuramos y añadimos el nuevo driver RS-232 DF1. Ver figura 63.

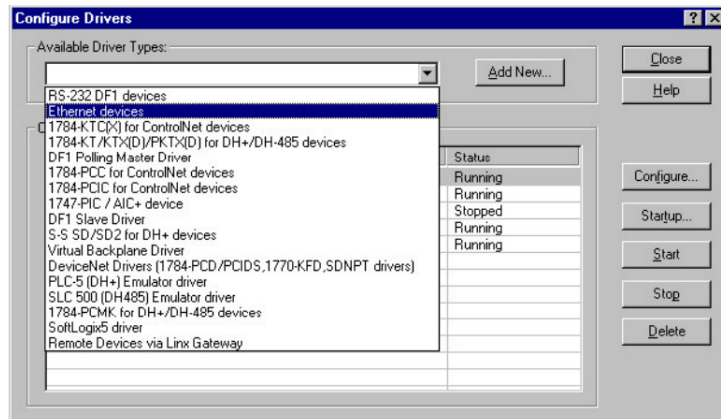


Figura 63. Ventana de configuración n°2

Fuente: Elaboración propia

## Paso 3:

- Seleccionamos el puerto en donde se ha configurado la comunicación Ethernet e ingresamos el IP con el que se trabajara.

La configuración del puerto ethernet se puede observar en la figura 64.

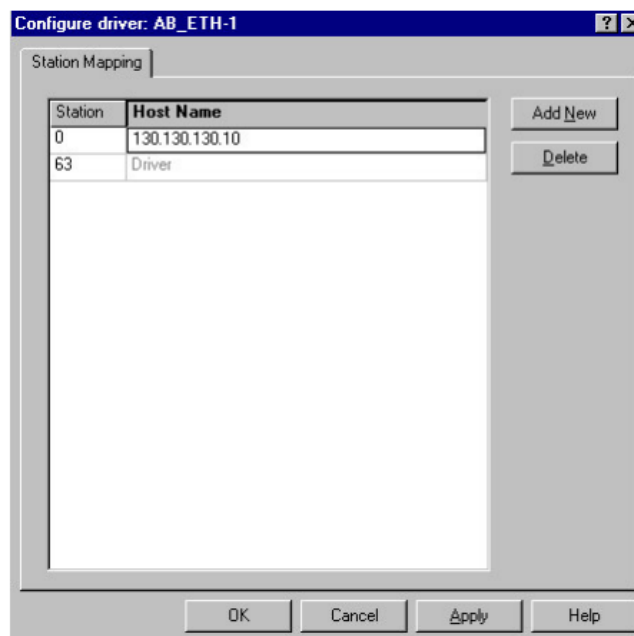


Figura 64. Ventana de configuración n°3

Fuente: Elaboración propia

#### Paso 4:

- Verificamos que este activo el PLC. Ver figura 65.

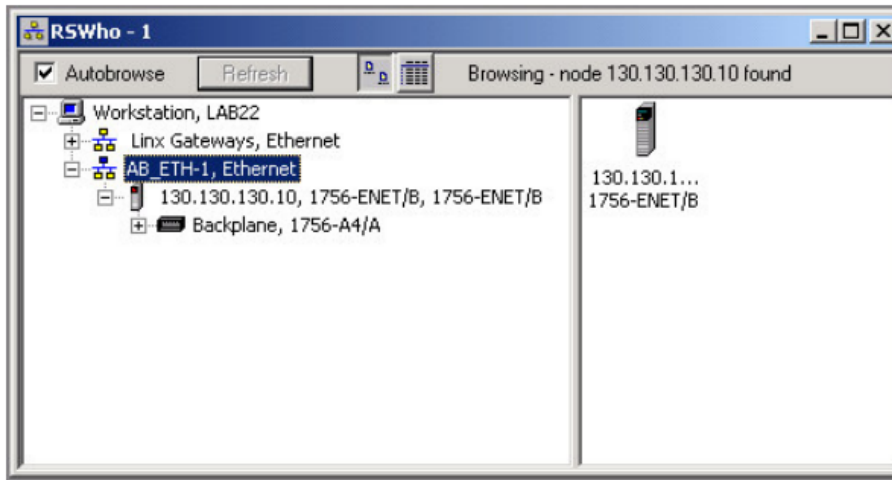


Figura 65. Ventana de configuración n°4

Fuente: Elaboración propia

Una vez que verificamos que existe comunicación entre el PLC y la PC procedemos a realizar la programación de nuestra lógica de control, en esta etapa utilizaremos el lenguaje ladder.

#### Desarrollo de programa de PLC

El programa de control se realizará mediante el lenguaje de programación ladder.

El control del reductor se realizará mediante comandos que indicaran al motor que vaya en reversa o para adelante, con esto controlaremos la apertura y cierre de la compuerta de la chancadora, utilizaremos un bit de control el cual estará comandado por el valor que ingrese del procesamiento de imagen.

Para nuestro caso utilizaremos 02 puntos de retroceso que estarán definidos por tiempos de transición, esto debido a que utilizaremos 2 medidas de apertura de la cámara en caso el tamaño del mineral sea mayor al esperado; y pues debido a lo señalado también será necesario utilizar 02 puntos de adelanto para regresar a la posición original de la compuerta de trituración.

Para el programa declaramos las variables de botón de inicio del proceso de detección de imagen, un botón de parada de emergencia y el sensor de cámara que nos indicará si la cámara está operativa, con nuestra salida 02 activaremos el paso de motor. Ver figura 66.

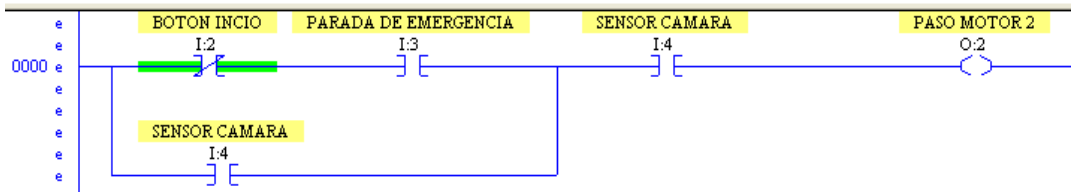


Figura 66. Comando ladder N°1

Fuente: Elaboración propia

El primer ciclo del motor activará un contador que permita estar activado el motor por un determinado lapso de tiempo, en este caso mediante el subcomando “timer” hemos seteado a un valor de 50 segundos, este tiempo fue determinado en base al tiempo y distancia que recorre la roca por la faja transportadora para llegar hasta la compuerta de la chancadora, ver figura 66; el subcomando “Time Base” lo activamos mediante un bit de control 1, no utilizaremos el “Preset” ni el “Acum” ya que no acumularemos los conteos de activación del contador, como se observa en la figura 67.

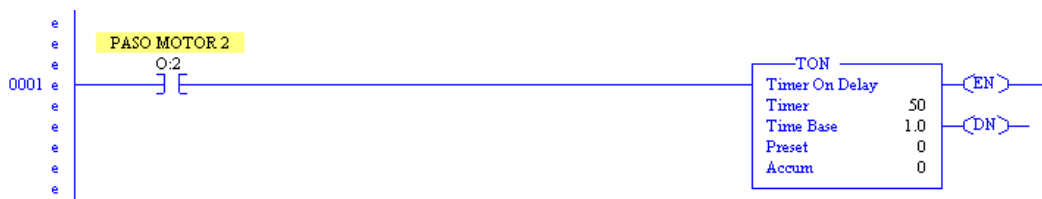


Figura 67. Comando ladder N°2

Fuente: Elaboración propia

La salida 03 del plc nos indicará que el segundo paso del motor está activo, el cual dependerá tanto de que la cámara se encuentre en operación y el botón de inicio este activo, según la figura 68.

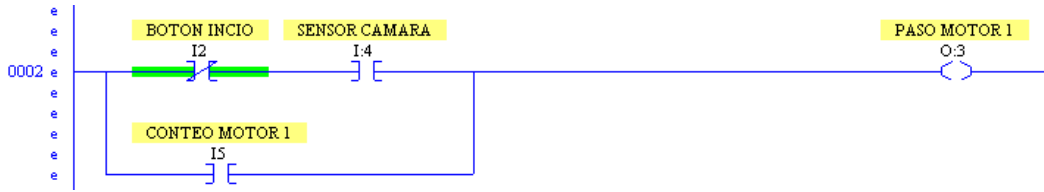


Figura 68. Comando ladder N°3

Fuente: Elaboración propia

En el siguiente bloque realizamos la comparación del valor de entrada respecto al valor seteado, si el bloque LES es verdadero, se activa la salida O3 el cual indicará al motor girar de reversa por un cierto tiempo para la apertura de la cámara de trituración. Este valor es enviado mediante el puerto Ethernet desde la PC, ver figura 69.

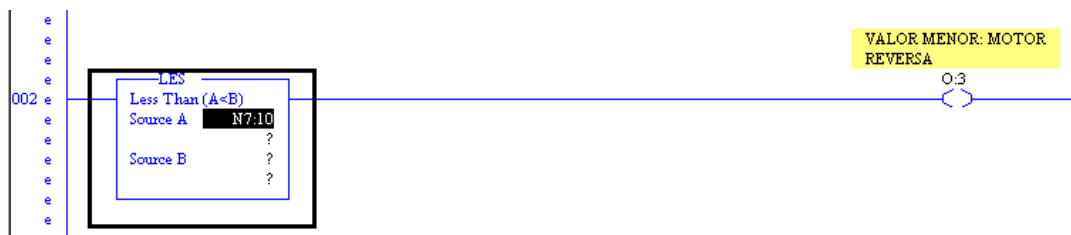


Figura 69. Comando ladder N°4

Fuente: Elaboración propia

Si el valor de entrada es falso con respecto al valor seteado, activamos la salida O4 para que el motor adelante, esto significa que la cámara de trituración se irá cerrando por un cierto tiempo, ver figura 70.

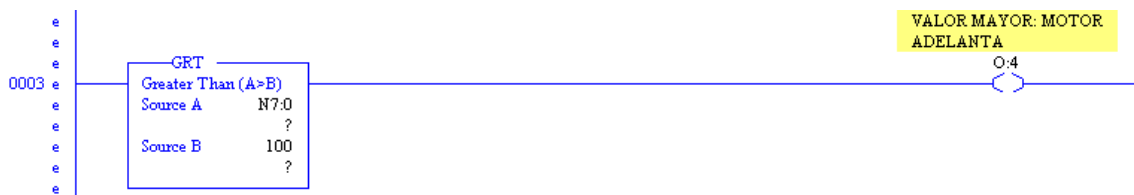


Figura 70. Comando ladder N°5

Fuente: Elaboración propia

La activación de los sentidos de giros del motor estará enclavada por los contadores que puedan indicar el tiempo de activación, ver figura 71.

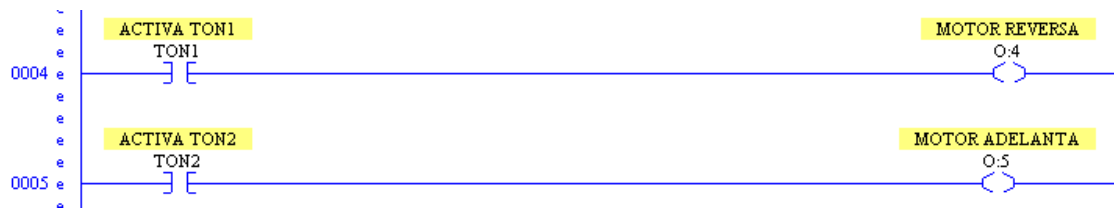


Figura 71. Comando ladder N°6

Fuente: Elaboración propia

## Diseño Eléctrico del Sistema

El diseño eléctrico del sistema se encuentra definido por el fabricante del equipo, en nuestro caso en particular no hubo modificación alguna puesto que el control de la apertura y cierre se realizará mediante el control en el PLC, el cálculo de los alimentadores de la chancadora cónica está dado de la siguiente manera según la tabla 12.

Tabla12. Calculo de alimentadores de Chancadora Cónica

MEMORIA CALCULO DE LOS ALIMENTADORES DE CHANCADORA CONICA - PLANTA CONCENTADORA VICTORIA			
DATOS DEL CENTRO DE CONTROL DE MOTORES DE LA CHANCADORA			
CIRCUITO DE FUERZA	CF-SI		
VOLTAJE DEL SISTEMA	440	VOLTS	
FASES	3		
FRECUENCIA	60	Hz	
DATOS DEL CONDUCTOR			
LONGITUD DEL CIRCUITO	55	METROS	
TIPO DE AISLAMIENTO DEL CONDUCTOR	THW-LS		
TEMP. MÁXIMA CONTINUA (T <sub>1</sub> )	90	°C	
TEMP. MÁXIMA CORTOCIRCUITO (T <sub>2</sub> )	150	°C	
MATERIAL DEL CONDUCTOR	COBRE		



CONDICIONES DEL DISEÑO									
TEMPERATURA AMBIENTE	40	°C							
FACTOR DE POTENCIA (FP)	90	% ATRASADO							
FACTOR DE DEMANDA	1								
CALCULO DEL ALIMENTADOR POR CAPACIDAD DE AMPERAJE									
DESCRIPCION	POTENCIA		CORRIENTE A PLENA CARGA		AJUSTE TERMICO DEL DISP. DE PROTECCION		AJUSTE MAGNETICO DEL DISP. DE PROTECCION		
MOTOR DE CHANCADORA	150	HP	188.25	Amp.	216.49	Amp.	521.45	Amp.	
MOTOR DE CAMARA DE TRITURACION	3	HP	5	Amp.	5.75	Amp.	20	Amp.	
In= SUMA DE CORRIENTES NOMINALES O DE PLENA CARGA DE LOS EQUIPOS CONECTADOS:									
In= 193.25 Amp.									
Icond= 240.31 Amp.									
APLICANDO LOS FACTORES DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA Y AGRUPAMIENTO									
$I_c = \frac{I_{cond}}{FCT \times FCA}$									
FCA= FACTOR DE CORRECCIÓN POR AGRUPAMIENTO= 1.0									
POR LO TANTO:									
Ic= 240.31 AMPERES									
CALIBRE SELECCIONADO POR AMPACIDAD:									
REFERENCIA: <a href="#">TABLA 316 DE LA NOM-001-SEDE-2005</a>									
CALIBRE DEL CONDUCTOR = 250 KCM									
AMPACIDAD DEL CONDUCTOR= 255 AMPERES									
No. DE CONDUCTORES/FASE= 1									

Fuente: Elaboración propia

Tabla12. Calculo de alimentadores de Chancadora Cónica

CALCULO DEL CONDUCTOR POR CAIDA DE TENSION	
LA CAIDA DE TENSION SE CALCULA DE ACUERDO A LA SIGUIENTE FORMULA	
$C.T. \% := \frac{1.7320 \cdot (Inom.)^2 \cdot D \cdot R \cdot FCC}{V^2 \cdot 10^3 \cdot FT}$	
DONDE: C.T.= CAÍDA DE TENSIÓN D= DISTANCIA (METROS) R= RESISTENCIA A LA C.C. DEL CONDUCTOR EN OHMS/Km FT= FACTOR DE CORRECCIÓN DE TEMPERATURA. FCC= FACTOR DE CONVERSIÓN CA/CD. = 1.06	
<b>DATOS DE IMPEDANCIA DEL CONDUCTOR</b>	
CALIBRE DEL CONDUCTOR CONSIDERADO = 250 KCM CONDUCTORES POR FASE (Nf) = 1 CLASE DE CANALIZACIÓN = DUCTO MAGNÉTICO R75°C = 0.169 OHMS/Km A 75 °C	
SUSTITUYENDO DATOS:	
$C.T. \% := \frac{1.7320 \cdot (Inom.)^2 \cdot D \cdot R \cdot FCC}{V^2 \cdot 10^3 \cdot FT} = 0.750 \%$	
CALCULO DEL CONDUCTOR POR CORTOCIRCUITO	
CALIBRE DEL CONDUCTOR CONSIDERADO = 250 AWG ÁREA DEL CONDUCTOR CONSIDERADO = 127.00 mm <sup>2</sup> ÁREA DEL CONDUCTOR CONSIDERADO, EN CIRCULAR MILS = 250638 CIRCULAR MILS CONDUCTORES POR FASE (Nf) = 1	
APLICANDO LA FÓRMULA GENERAL:	
$\left(\frac{I_{cc}}{A}\right)^2 \times t = 0.0297 \log \left[ \frac{T_2 + 234}{T_1 + 234} \right]$	
POR LO TANTO:	
$I_{cc} = \sqrt{\frac{0.0297 \log \left( \frac{T_2 + 234}{T_1 + 234} \right)}{t}} \times A$	
DONDE: I <sub>cc</sub> = CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO MÁXIMA PERMISIBLE EN EL CONDUCTOR t = TIEMPO DE OPERACIÓN DE DISP. DE PROT. POR CORTOCIRCUITO 0.05 seg A = ÁREA DEL CONDUCTOR EN CIRCULAR MILS T1= TEMP. MÁXIMA CONTINUA T2= TEMP. MÁXIMA CORTOCIRCUITO	
SUSTITUYENDO:	
I <sub>cc</sub> = 52472.0043 AMPERES	
EL CALIBRE DEL CONDUCTOR 250 SELECCIONADO TIENE UNA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO MÁXIMA PERMISIBLE MAYOR QUE LA CORRIENTE MÁXIMA DE CORTOCIRCUITO DEL SISTEMA, ES DECIR: I <sub>cc</sub> > I <sub>cc1</sub> POR LO TANTO EL CONDUCTOR SELECCIONADO SÍ ES ADECUADO PARA SOPORTAR LA MÁXIMA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO DEL SISTEMA.	
<b>CALIBRE SELECCIONADO POR CORTOCIRCUITO</b> CALIBRE DEL CONDUCTOR = 250 AWG AMPACIDAD DEL CONDUCTOR= 255 AMPERES No. DE CONDUCTORES/FASE= 1 TENSIÓN DE DISEÑO = 600 V TIPO DE AISLAMIENTO = THW-LS	
CALCULOS FINALES	
CALIBRE FINALMENTE SELECCIONADO : TIPO DE CONDUCTOR= MONOCONDUCTOR CALIBRE DEL CONDUCTOR = 250 AWG AMPACIDAD DEL CONDUCTOR= 255 AMPERES No. DE CONDUCTORES/FASE= 1 TENSIÓN DE DISEÑO = 600 V TIPO DE AISLAMIENTO = THW-LS	

Fuente: Elaboración propia

### *Esquema eléctrico*

El esquema eléctrico del sistema de la chancadora cónica presenta los siguientes componentes, según la tabla 13:

Tabla13. Calculo de alimentadores de Chancadora Cónica

<b>N°</b>	<b>COMPONENTES</b>	<b>ID</b>
1	MOTOR PRINCIPAL DE CHANCADORA	M1-M1
2	MONITOREO DE VELOCIDAD	M1-SS1
3	MOTOR DE SISTEMA DE LUBRICACION	L1-M1
4	SISTEMA DE REFRIGERACION	L1-M2
5	FILTRO FUERA DE LINEA	L4-M1
6	REGULADOR DE APERTURA DE TRITURAR	K1-M1
7	CALENTADOR DE ACEITE	L1-E1
8	SOBREPRESION POR REGRIGERACION	L3-M1

Fuente: Elaboración propia

El esquema eléctrico está diseñado de la siguiente manera, según la figura 72:

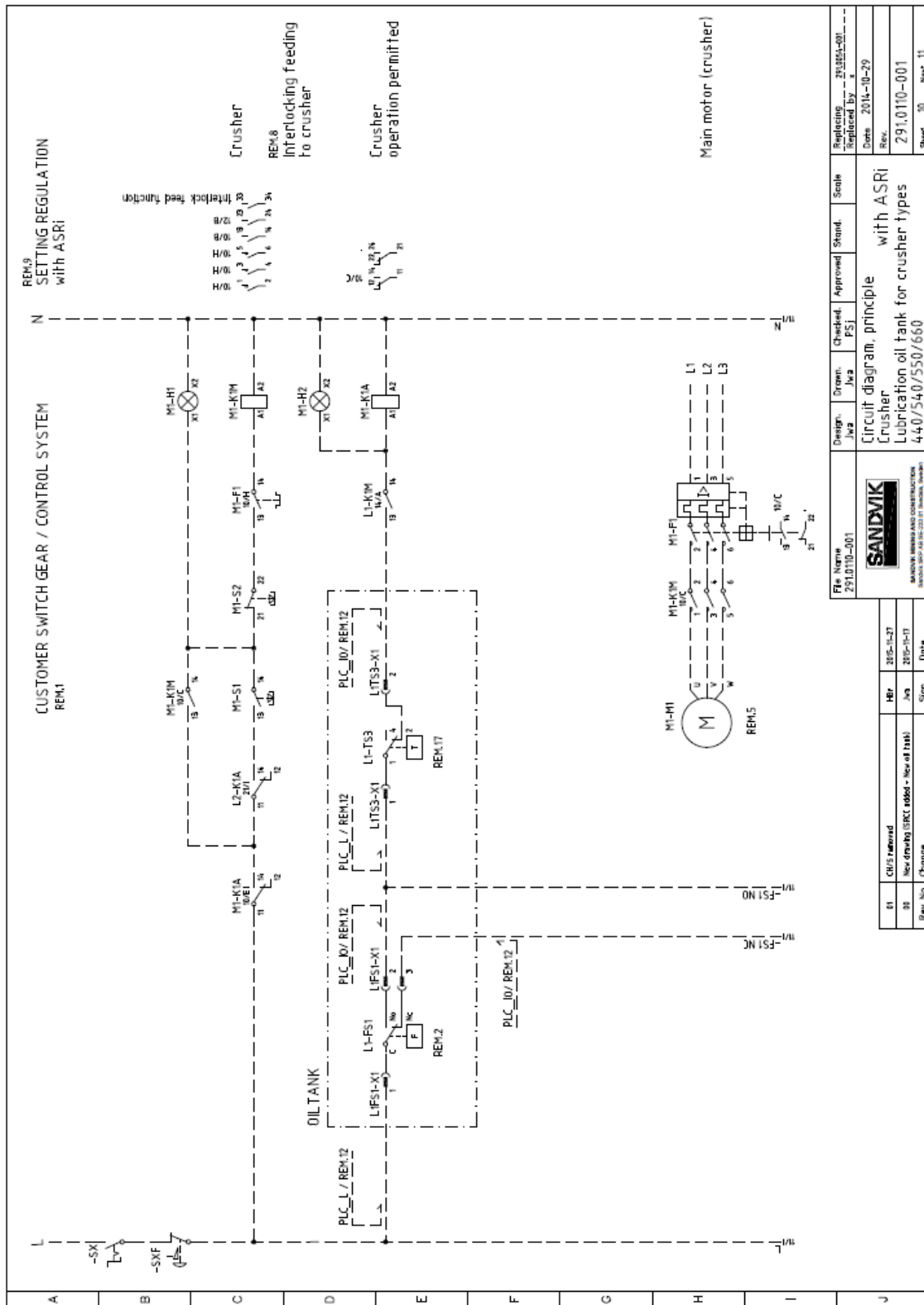


Figura 72. Diagrama eléctrico – Motor Principal

Fuente: Sandvik Crusher 440 - Biblioteca Volcan – Planta Victoria

El esquema eléctrico del motor principal está diseñado de la siguiente manera, según la figura 73.

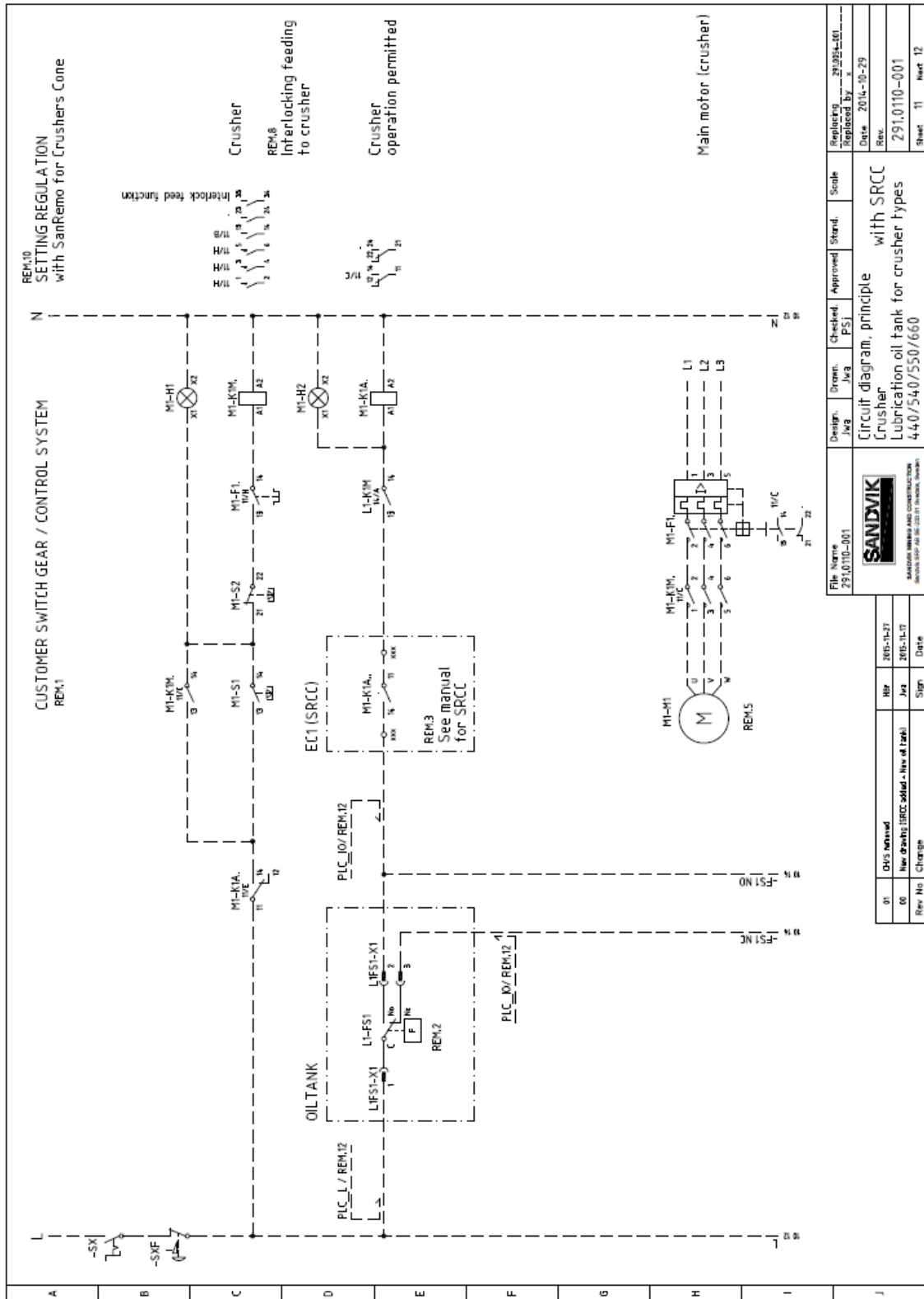


Figura 73. Diagrama eléctrico – Señales de Confirmación de Motor Principal

Fuente: Sandvik Crusher 440 - Biblioteca Volcan – Planta Victoria

El esquema eléctrico del sentido de giro del motor principal está diseñado de la siguiente manera, según la figura 74.

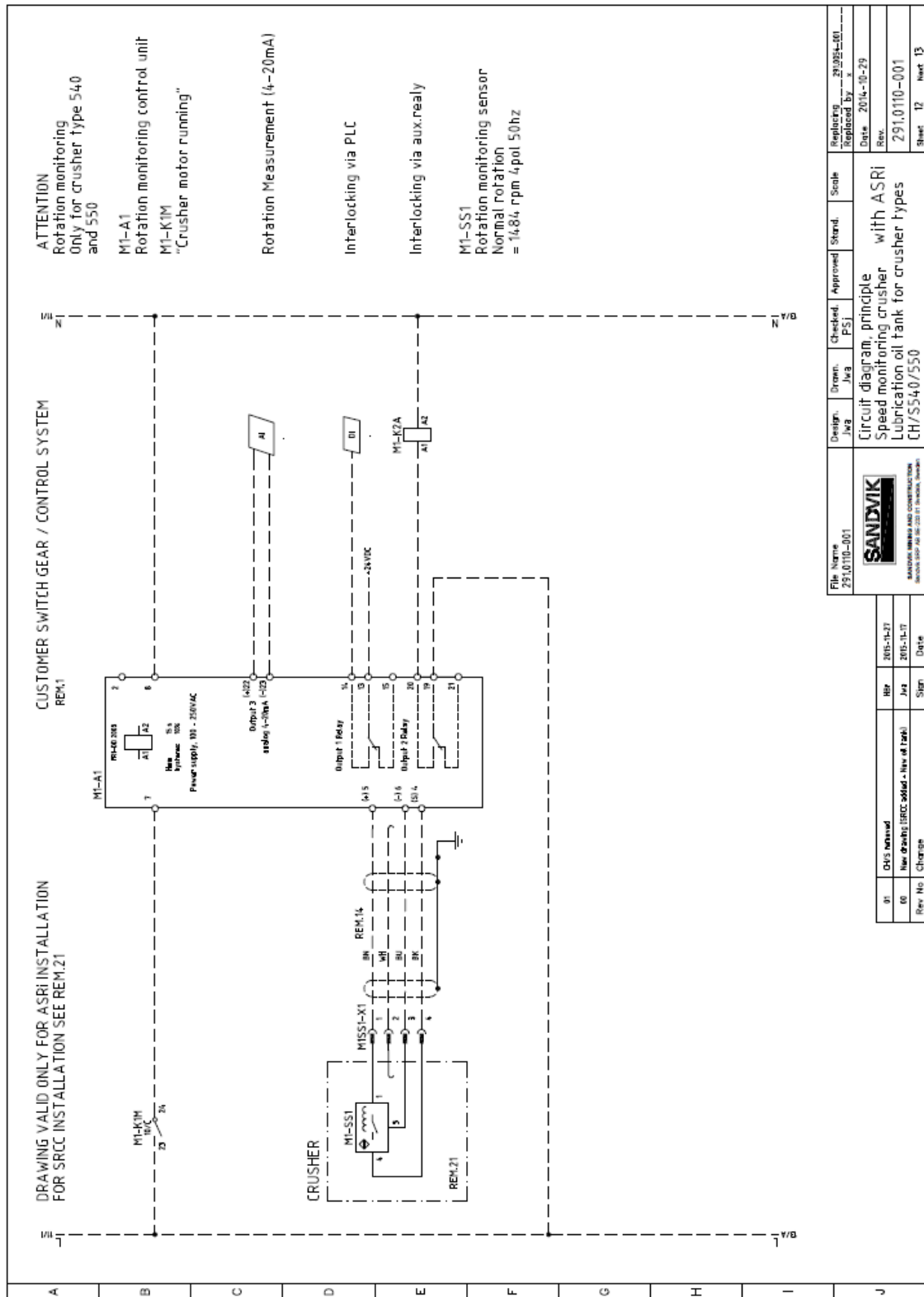


Figura 74. Diagrama eléctrico – Sentido de giro de Motor Principal

Fuente: Sandvik Crusher 440 - Biblioteca Volcan – Planta Victoria

El esquema eléctrico del sistema de lubricación está diseñado de la siguiente manera, según la figura 75.

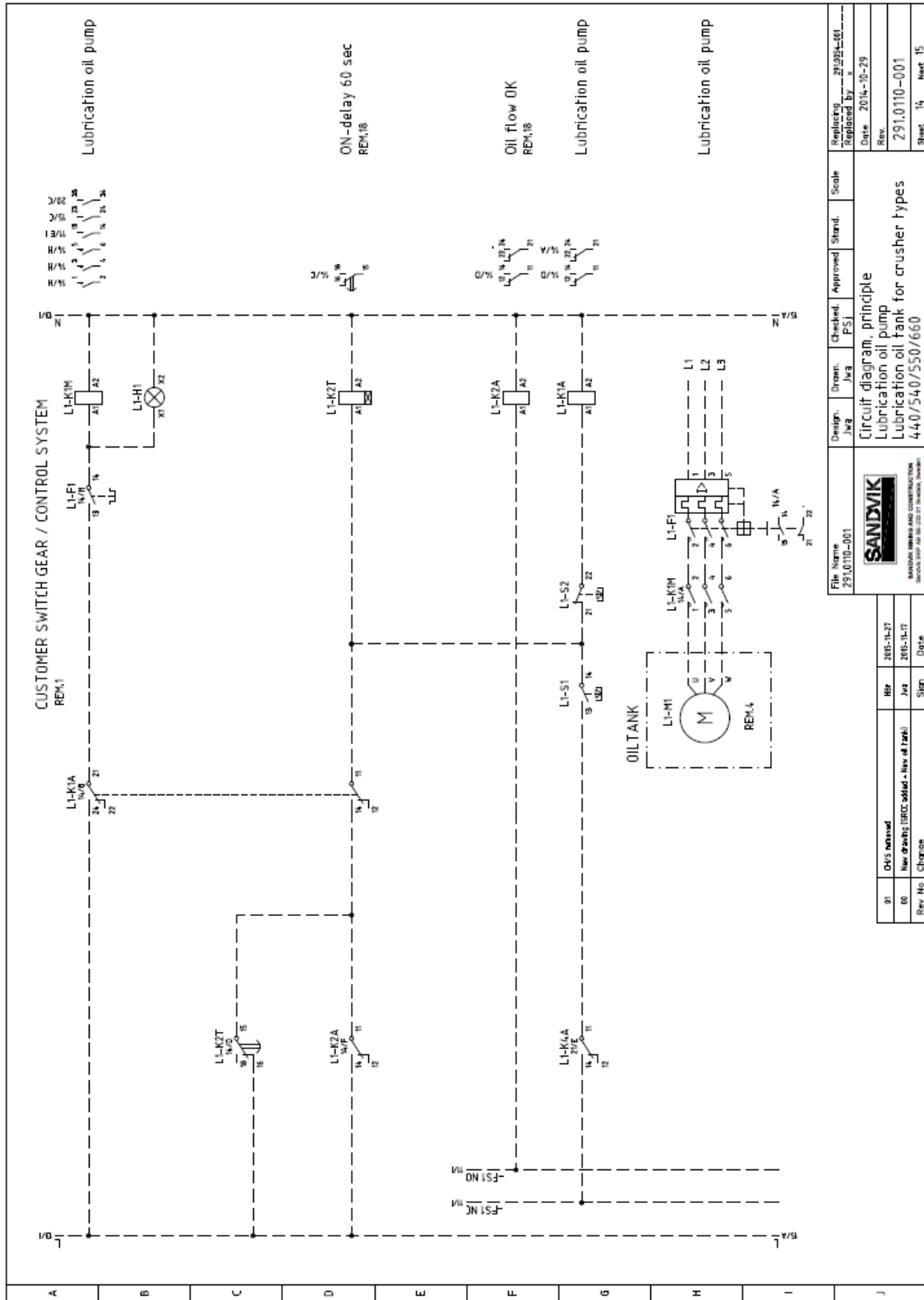


Figura 75. Diagrama eléctrico – Sistema de Lubricación

Fuente: Sandvik Crusher 440 - Biblioteca Volcan – Planta Victoria

El esquema eléctrico del setting de la chancadora está diseñado de la siguiente manera, según la figura 76.

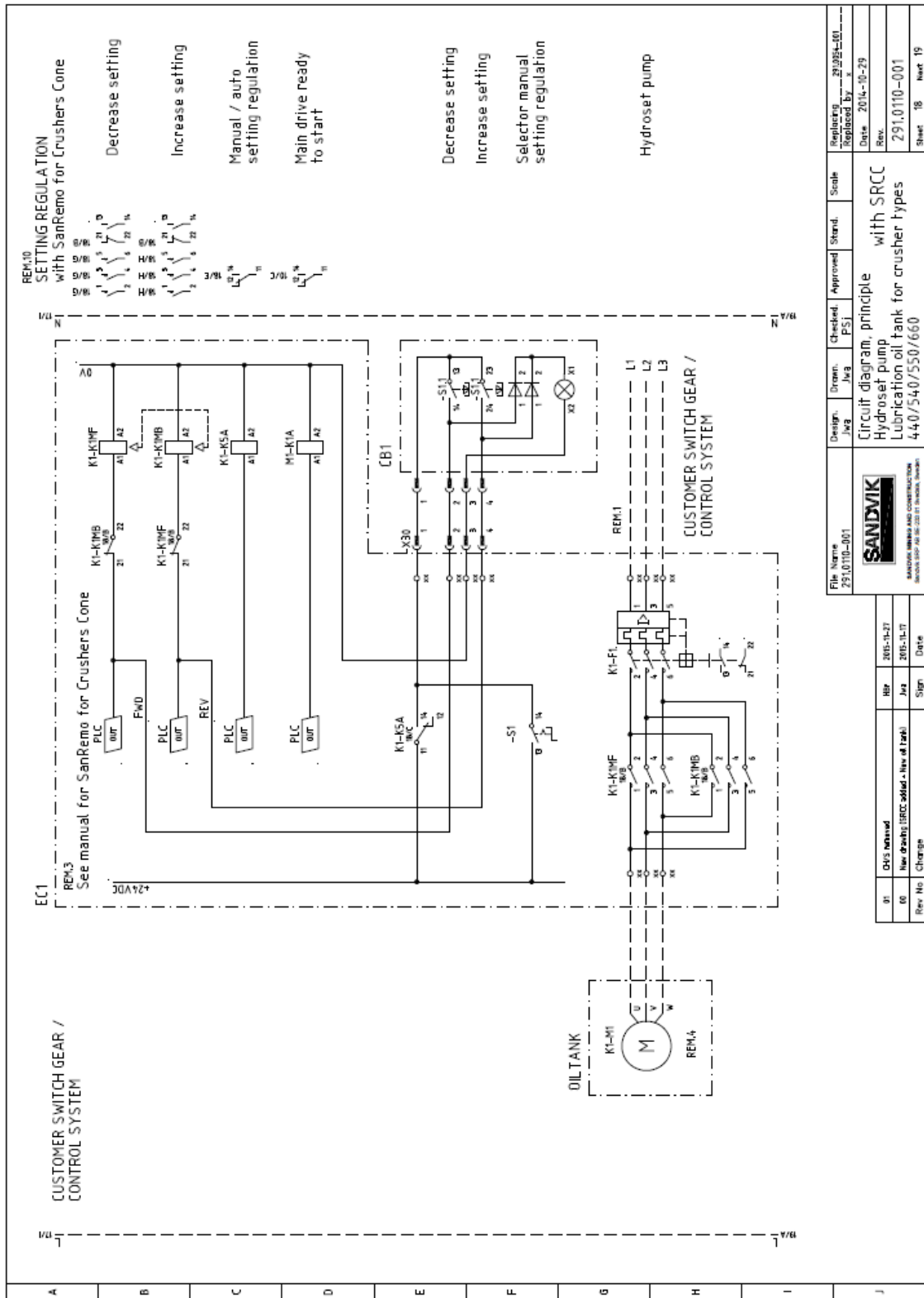


Figura 76. Diagrama eléctrico – Regulación de apertura de Cámara de trituración

Fuente: Sandvik Crusher 440 - Biblioteca Volcan – Planta Victoria



## Funcionamiento

El funcionamiento de la presente tesis consta de 02 etapas:

### Etapas de recolección de datos

La primera etapa de la implementación de la tesis consiste en la recolección de datos por captura de imágenes mediante la cámara de fotos instalada sobre la faja transportadora que transporta el mineral desde el proceso de chancado primario, todo el procesamiento de imágenes y el control dimensional se desarrollara en el proceso de chancado secundario; las condiciones de trabajo en el área de trabajo en el área de chancado secundario son las de un típico ambiente de planta industrial, el ambiente contiene polvo, humedad relativa 60%, ambiente cerrado sin ingreso de lluvias ni rayos solares, etc.

La cámara instalada sobre un soporte en la faja transportadora nos permitirá capturar imágenes del tamaño del mineral que ingresara en la cámara de trituración de la chancadora cónica, esta cámara realizara el muestreo de captura de imágenes cada 05 segundos, el tiempo que fue determinado en la relación a la distancia que existe entre la cámara de imagen a la cámara de trituración y la velocidad con la que trabaja la faja transportadora, la distancia entre la cámara y la parte final de la faja transportadora es de 4.5 metros, la velocidad de la faja transportadora es de 1.2m/s, el tiempo de llegada del mineral hacia la cámara de trituración es de 3.75 segundos, para las pruebas realizadas se está tomando un tiempo de 3.5 segundos para que el actuador pueda realizar el control, ver figura 77.

Las imágenes son almacenadas en una de las memorias del PLC y es borrado automáticamente cada 5 minutos de acuerdo a nuestra programación ya que es demasiadas imágenes capturadas que no serán necesarias luego del procesamiento.

La instalación de la cámara de imagen se muestra en la figura 77.

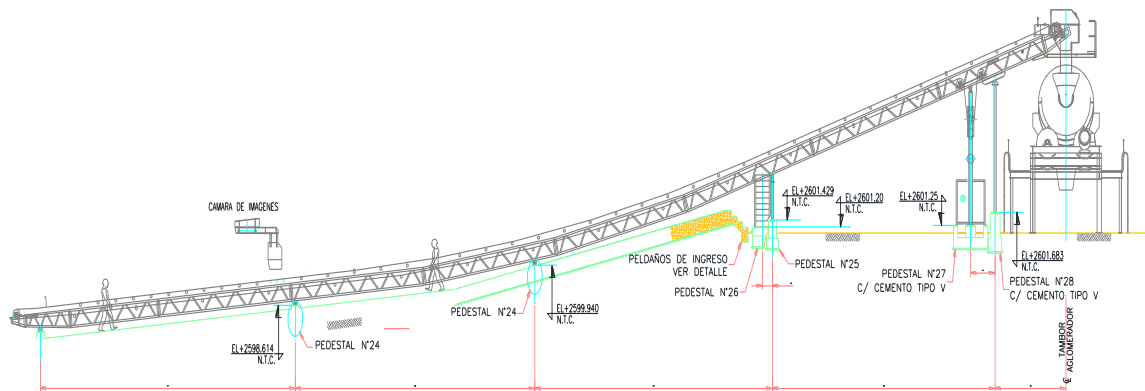


Figura 77. Sistema Faja transportadora – Cámara instalada

Fuente: Elaboración propia

La segunda etapa consiste en la activación del actuador que se realizara siempre y cuando la imagen captada de la cámara sea mayor a 20.25cm<sup>2</sup>, este valor fue determinado en relación al tamaño de roca que se va procesar por la chancadora cónica.

Este valor es determinado en relación al área aproximada de la roca, la aproximación del área de la roca es comparada con la de una circunferencia, el radio estimado es la de 1 pulgada, y según esta medida el área aproximada seria de 20.25cm<sup>2</sup>.

La cámara de trituración se encuentra seteado para una apertura de 20.25cm<sup>2</sup>, si el valor es mayor a este, la cámara se abrirá hasta 3 pulgadas es decir la lectura del área en la imagen deberá ser mayor a 45.5cm<sup>2</sup>, ya que estamos seteando la apertura para aproximar el área de una figura circular con radio de 1.5 pulgadas, ver figura 78.

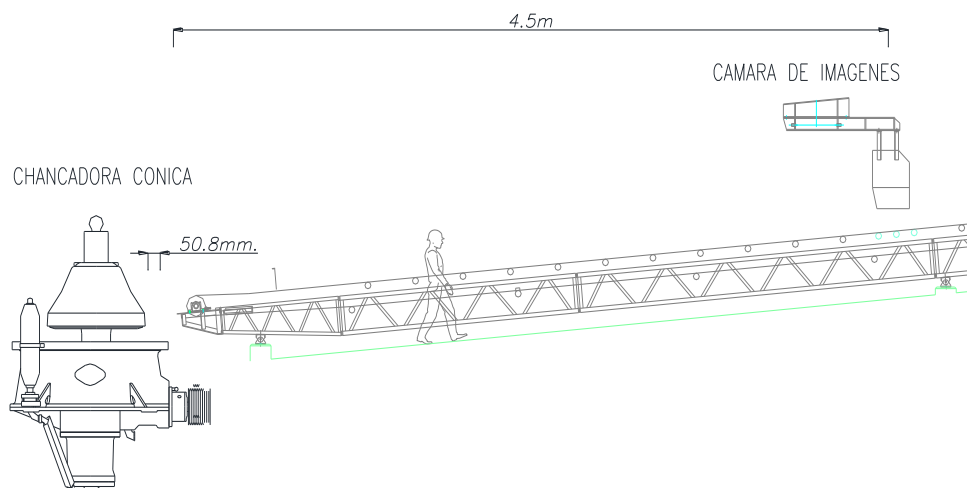


Figura 78. Sistema Faja transportadora – Cámara instalada – Chancadora Cónica

Fuente: Elaboración propia

## Implementación del prototipo

### Sistema mecánico – electrónico

La implementación de nuestro prototipo de controlador dimensional se basa en 02 sistemas: prototipo de cámara de trituración de chancadora cónica para la cual hemos fabricado en acrílico una pequeña compuerta mediante un sistema de transmisión de cierre por tornillo eje sin fin y poleas hacia el piñón de un motor paso a paso el cual será nuestro actuador a controlar, la mayor parte de la estructura está fabricado en base a material acrílico.

El diseño de la estructura está basado en la compuerta según diseño de la compuerta de la cámara de trituración de la chancadora cónica, esta compuerta solo posee un movimiento en un eje cardinal.

La implementación se puede ver en la figura 79.

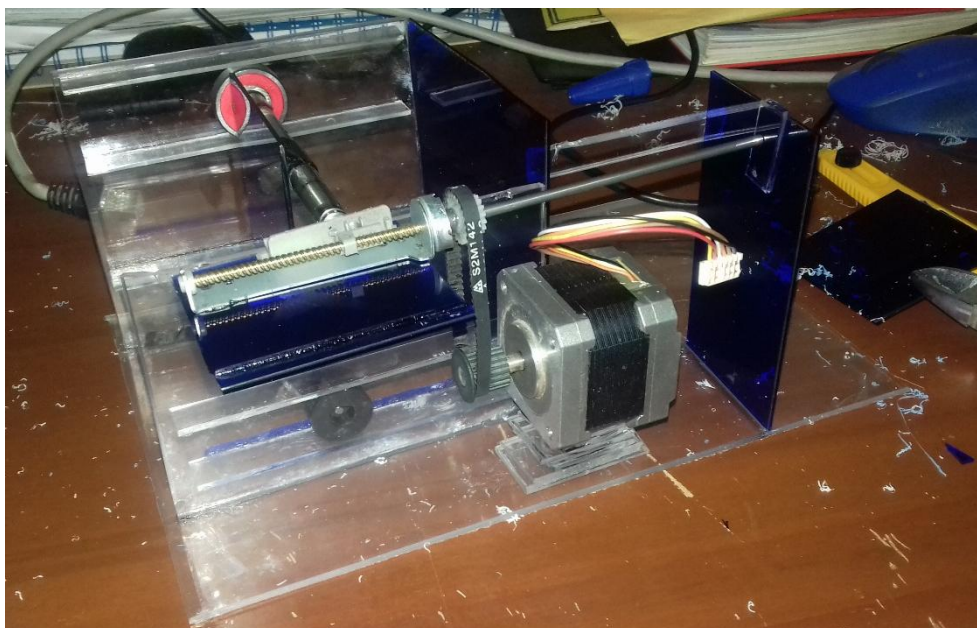


Figura 79. Prototipo del sistema de chancado

Fuente: Elaboración propia

Parte de la implementación se muestra en la figura 80 y figura 81.

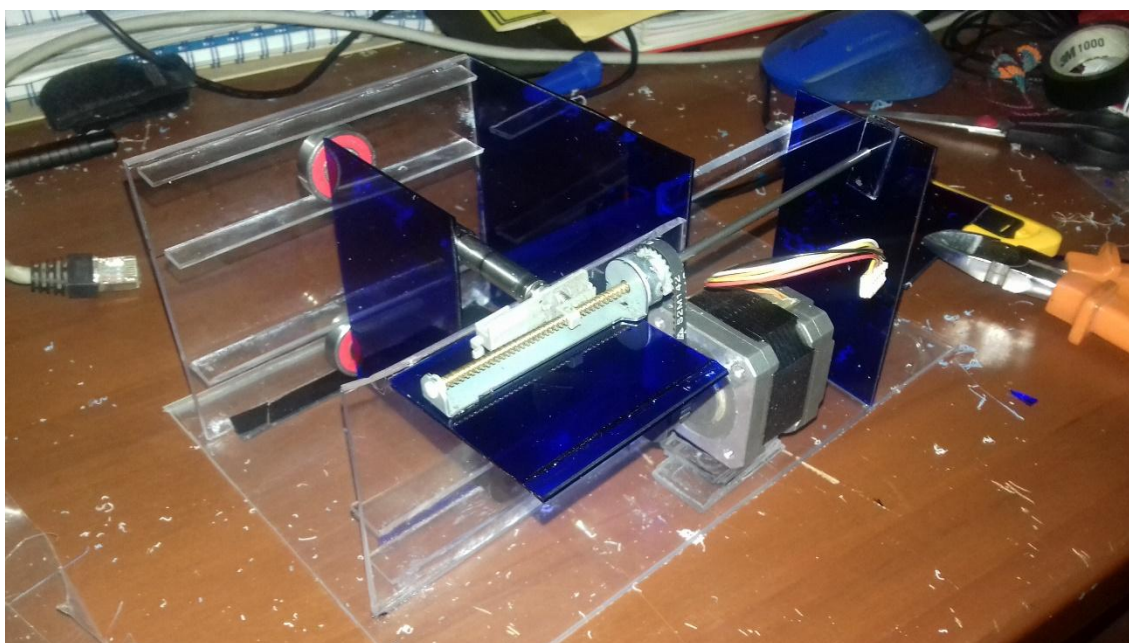


Figura 80. Prototipo del sistema de chancado

Fuente: Elaboración propia



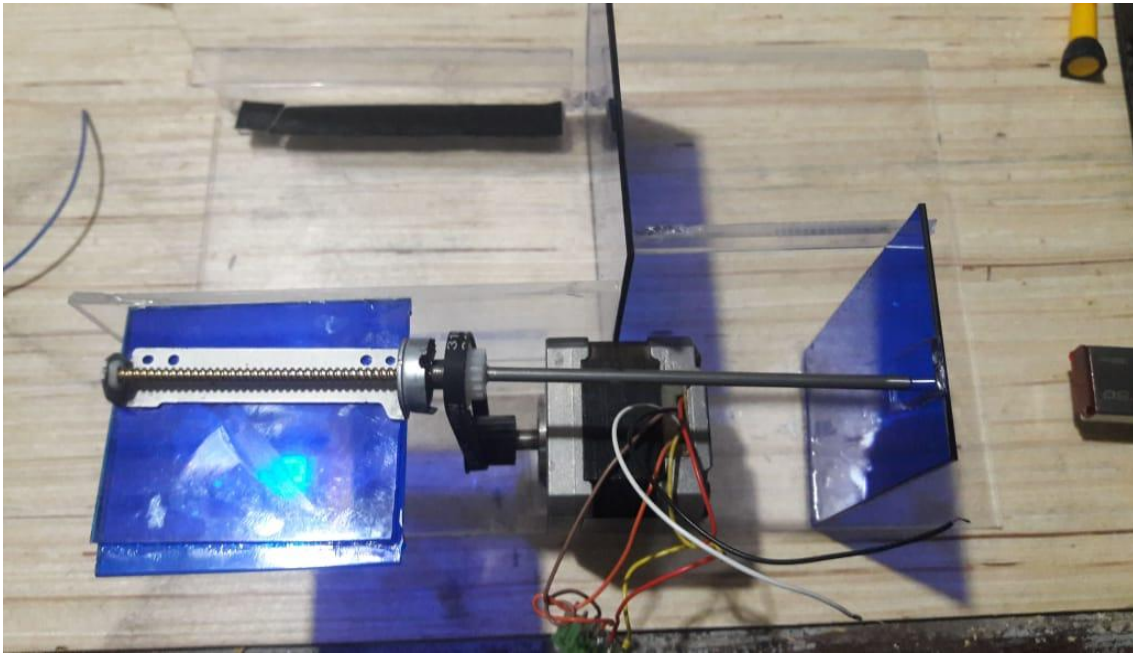


Figura 81. Prototipo del sistema de chancado

Fuente: Elaboración propia

El circuito integrado con el hardware del controlador se muestra en la figura 82.

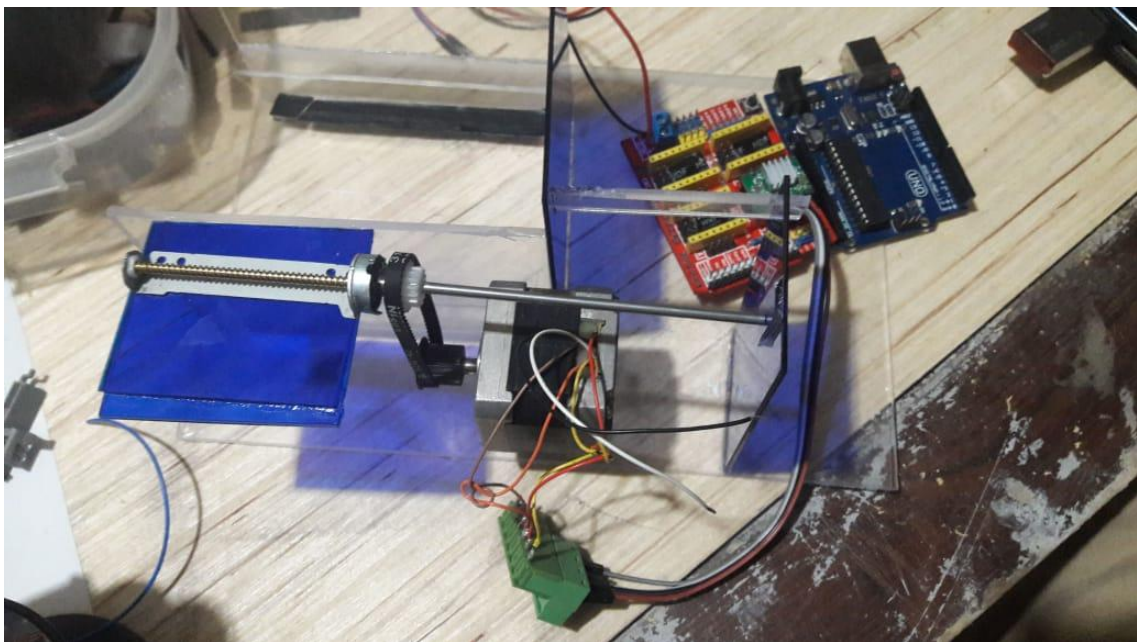


Figura 82. Prototipo del sistema de chancado

Fuente: Elaboración propia

La segunda etapa del sistema mecánico consiste en la implementación de una faja transportadora para poder simular el transporte del mineral, de acuerdo a los objetivos de nuestra tesis, en la faja transportadora de la planta Victoria se instalara un soporte de cámara para la captura de imágenes del mineral; para nuestro prototipo no hemos considerado este soporte de cámara ya que lo deberemos realizar por separado ya que el fondo de la imagen requerida deberá estar completamente en blanco, ver figura 83.

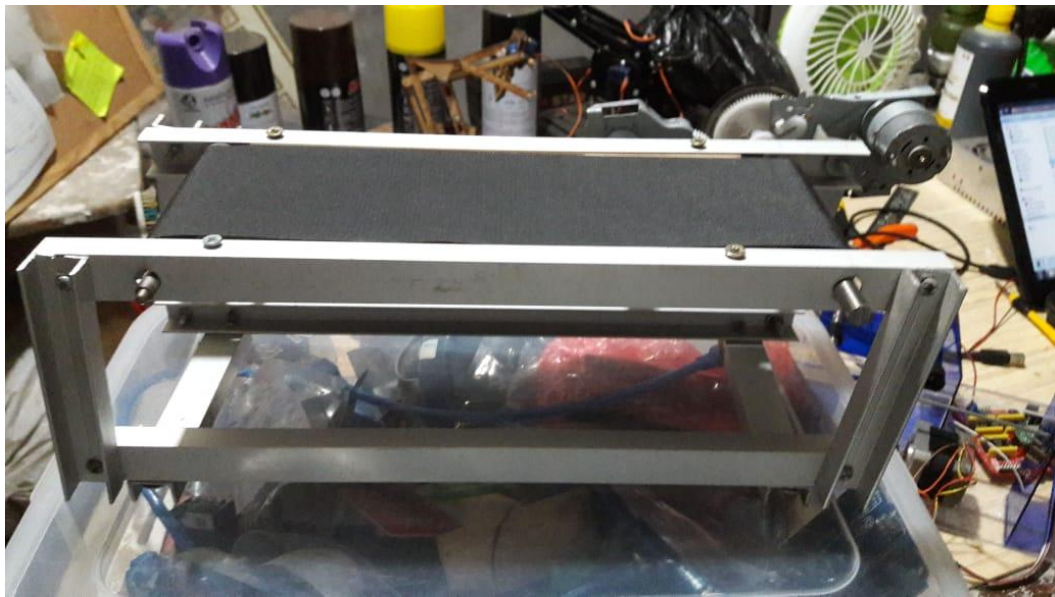


Figura 83. Prototipo del sistema de chancado

Fuente: Elaboración propia



El prototipo de la faja transportadora se muestra en las figuras 84 y 85.

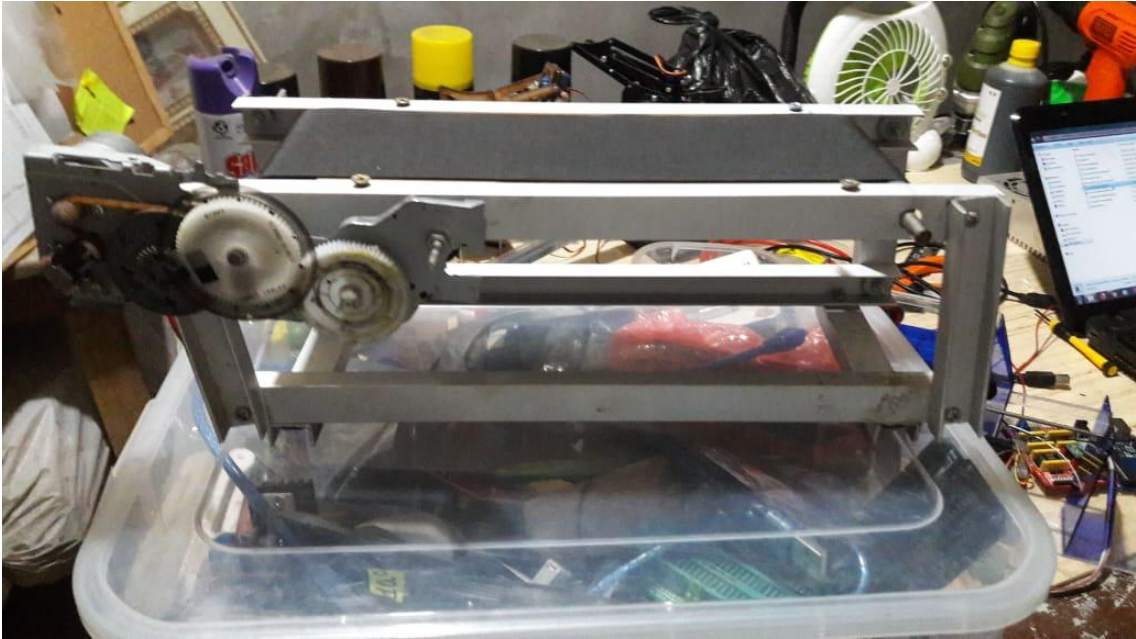


Figura 84. Prototipo del sistema de chancado

Fuente: Elaboración propia

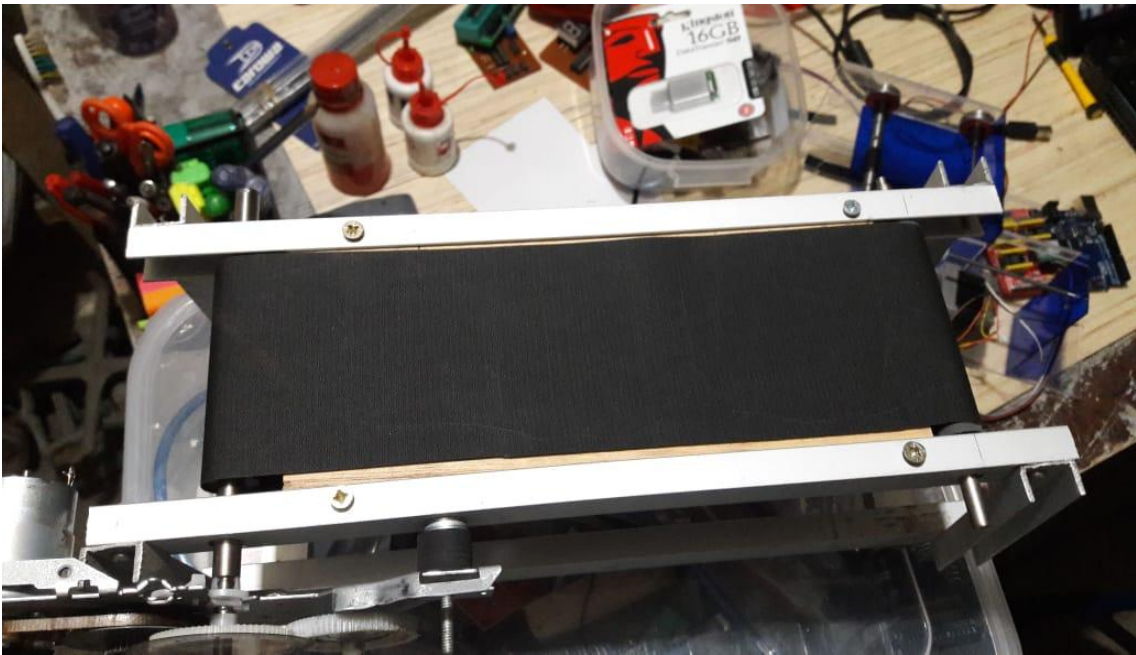


Figura 85. Prototipo del sistema de chancado

Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO IV: PRUEBAS Y RESULTADOS**

El presente capítulo corresponde a las pruebas y resultados sobre el controlador dimensional aplicando procesamiento de imágenes implementado. Los resultados obtenidos en cada una de las pruebas realizadas nos indicarán la eficiencia del diseño realizado, y sobre todo nos servirá como referencia para medir el cumplimiento de los objetivos propuestos y la confirmación de los objetivos.

### **4.1 Pruebas de funcionamiento**

Se realizaron pruebas de funcionamiento del controlador dimensional para controlar la apertura y cierre de la cámara de trituración de la chancadora cónica de la Planta Concentradora Victoria, con la finalidad de evitar atoramientos por ingreso de mineral de mayor tamaño a longitud de apertura de la cámara de trituración.

#### **Prueba 1**

Se implementó un controlador dimensional basado en procesamiento de imágenes en la prueba N°1 nos basamos en identificar correctamente el área de la piedra capturada en la imagen, para esta prueba se han tomado varias imágenes para proceder a correr el programa de Matlab, esta prueba requiere que la cámara sea movida en su eje vertical para obtener la dimensión real de la imagen en la figura 86.



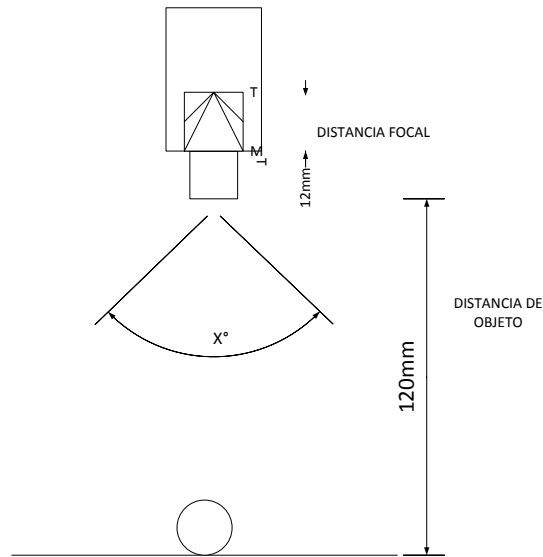


Figura 86. Distancia de cámara con objeto

Fuente: Elaboración propia

La regulación de la distancia de la cámara se muestra en la figura 87.

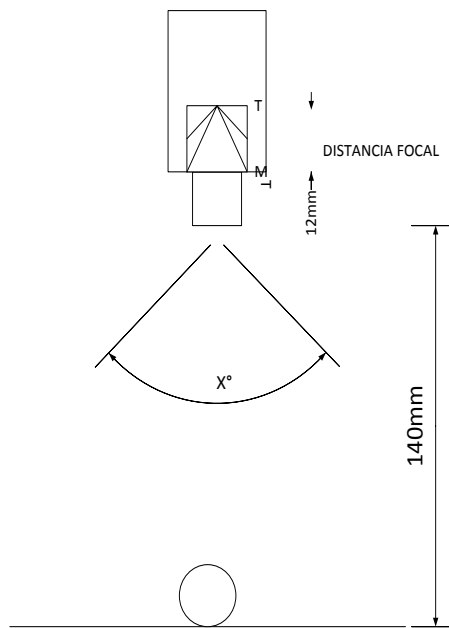


Figura 87. Distancia mayor de cámara con objeto

Fuente: Elaboración propia

Para las pruebas de integración de los sistemas, diseñaremos una interfaz gráfica en la plataforma del Matlab en la cual podremos observar la captura de la imagen junto con el procesamiento de la gráfica y el cálculo del área del mineral, tal como se muestra en la figura 88.

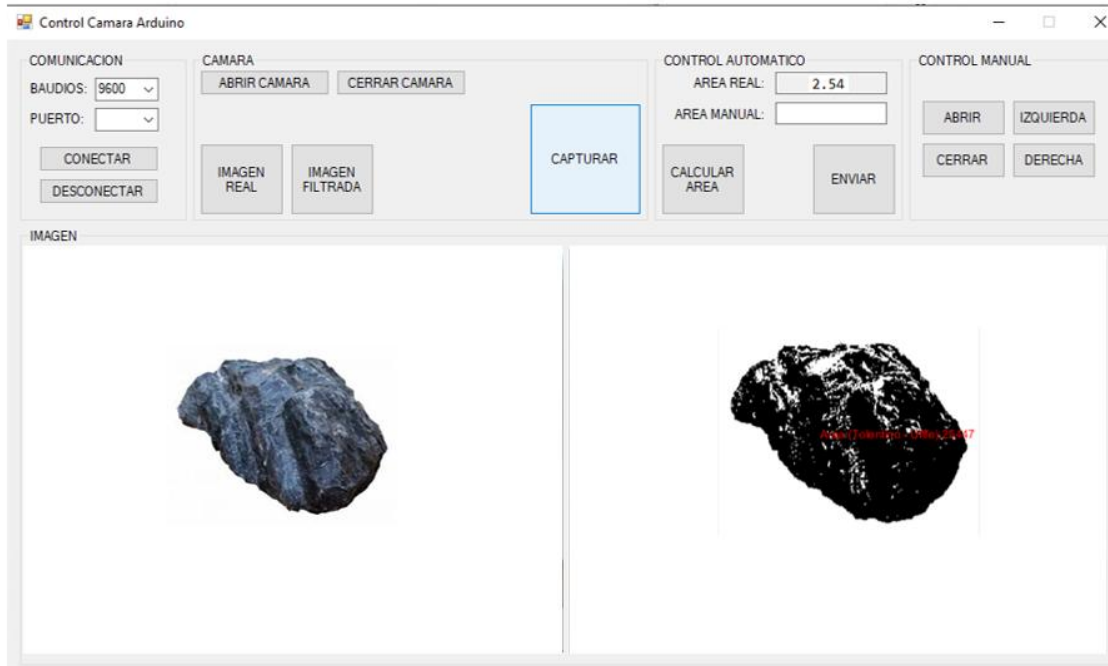


Figura 88. Captura de imagen n°1 – Procesamiento de imagen – Calculo de área de grafica

Fuente: Elaboración propia

Calculamos aproximadamente que la piedra tiene un área de  $2.80\text{cm}^2$  de acuerdo a nuestra medición manual, según el procesamiento de imagen nos indica que el área leída por la cámara es de  $2.54\text{cm}^2$ , el porcentaje de error es del 9% mostrado en la figura 89.

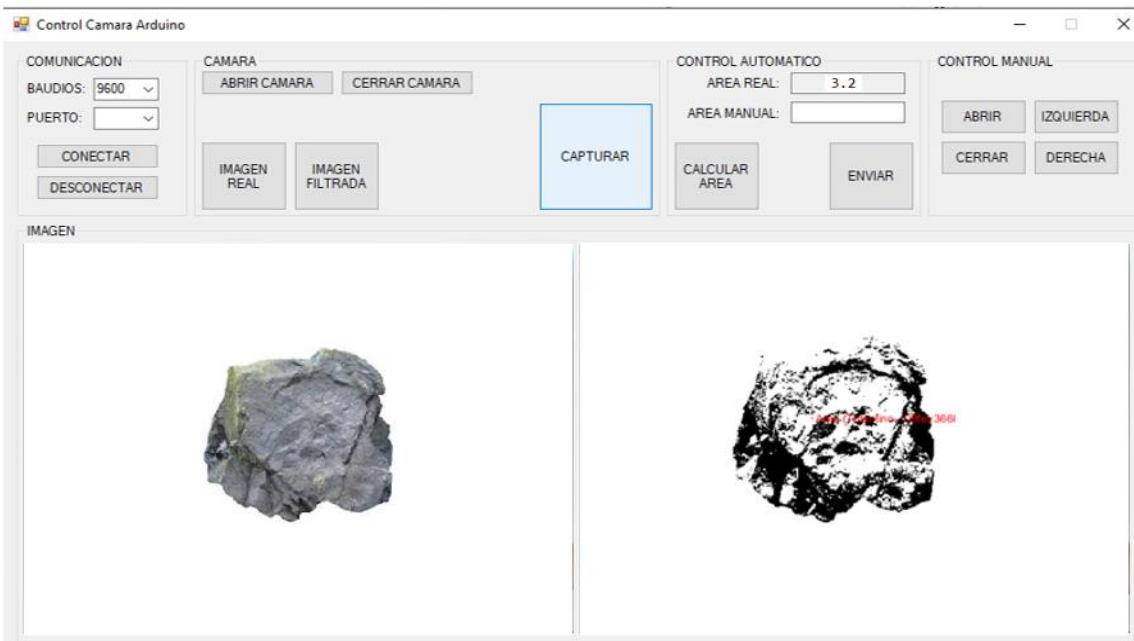


Figura 89. Mineral 2 - fotos prueba 1

Fuente: Elaboración propia

El área aproximada de la roca es de 3.2cm<sup>2</sup>, el procesamiento de la imagen nos indica que el área leída es de 3.25 cm<sup>2</sup>, como se observa en la figura 90.

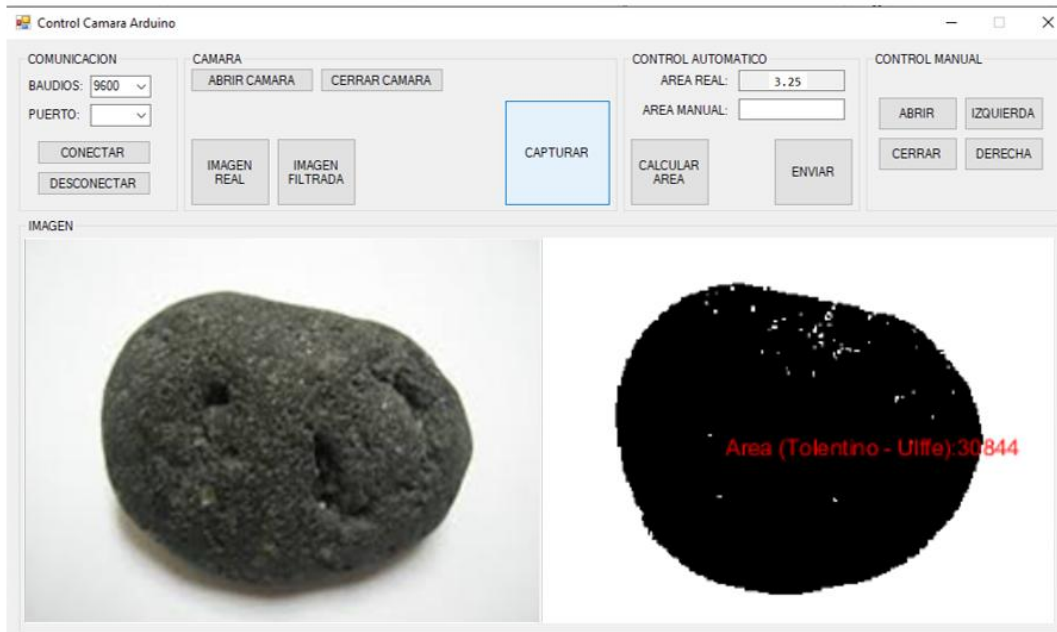


Figura 90. Mineral 3 - fotos prueba 1

Fuente: Elaboración propia

El área aproximada de la roca es de 3.25cm<sup>2</sup>, el procesamiento de la imagen nos indica que el área leída por la cámara es de 3.08cm<sup>2</sup>, el porcentaje de error de la prueba es del 5% mostrado en la figura 90. Para estas tomas se utilizó coloco la cámara a una altura de 120mm.

## Prueba 2

La prueba 2 consiste en verificar la lógica de control de la compuerta para la apertura y cierre automático, mediante la lectura y transmisión de la data del procesamiento hacia el Plc, para hemos realizado la simulación de 2 casos que nos ayudaran a definir el correcto funcionamiento y asegurar que no se atore el chute de la chancadora.

### Caso 1:

El área de la imagen captada mediante la imagen es menor a 3.0cm<sup>2</sup>, la lógica de la apertura de la compuerta está programado para abrirse cuando el área es mayor a 3.0cm<sup>2</sup>, en el caso 1 la cámara de trituración

no realizara acción alguna. En la figura 91 se muestra el cuadro de comunicación entre la chancadora y la PC.

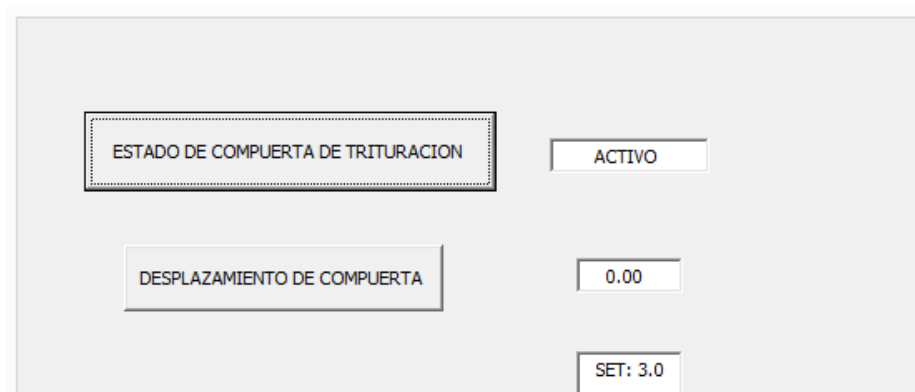


Figura 91. Cerrado de Cámara de trituración (piñón cremallera)

Fuente: Elaboración propia

Caso 2:

El área de la imagen es mayor a  $3.0\text{cm}^2$  (setpoint de controlador dimensional)  $A > 3.0\text{cm}^2$  se aprecia en la interfaz, el comando que indicara que la compuerta se desplazara hasta  $3.00\text{cm}$ .

En la figura 92 se muestra la interfaz de la apertura de la cámara de trituración.

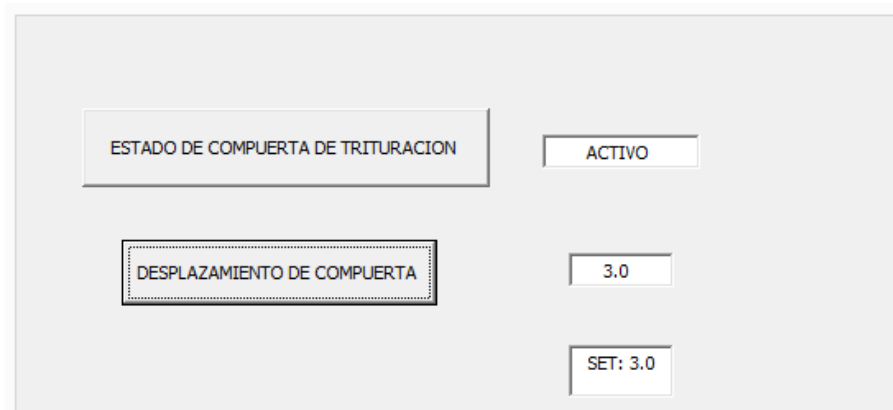


Figura 92. Apertura de Cámara de trituración (piñón cremallera)

Fuente: Elaboración propia

### Prueba 3

La prueba 3 consiste en poder comprobar la retroalimentación del sistema para comprobar el funcionamiento de la apertura y/o cierre de la compuerta de trituración de la chancadora, de acuerdo al diseño electrónico de nuestro prototipo, la cámara de video captura la imagen y procesa la imagen para hallar el valor del área de la imagen para controlar la apertura o cierre de la compuerta de la chancadora.

El valor seteado para nuestro caso es de 3cm<sup>2</sup>, como se muestra en la figura 93.

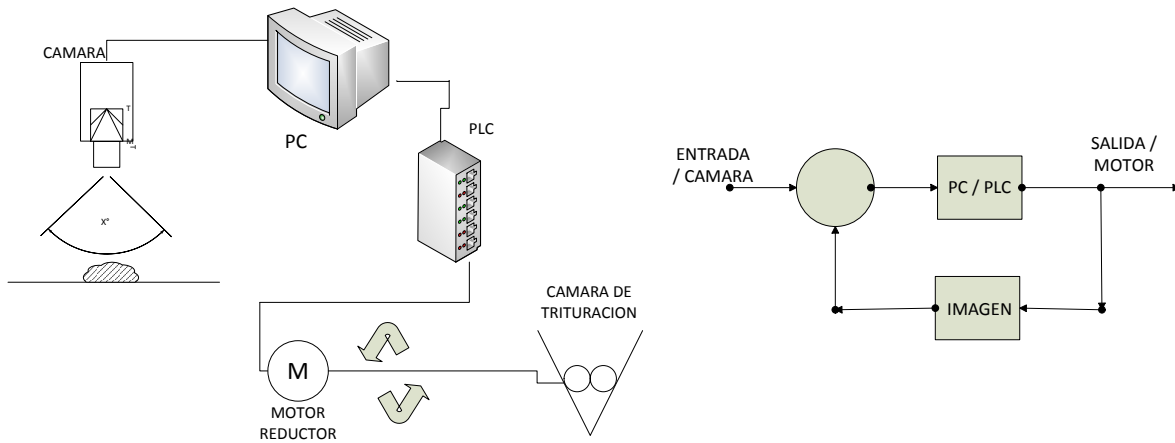


Figura 93. Bloque de control – Sistema de retroalimentación

Fuente: Elaboración propia

En la figura 94 se muestra el comando del tiempo de espera que el sistema del motor pueda iniciar un nuevo ciclo de control.

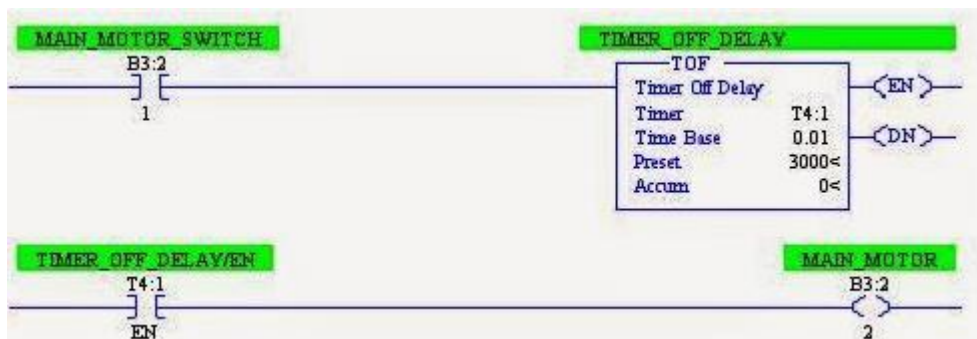


Figura 94. Motor enable – Plc sistema

Fuente: Elaboración propia

## Resultado de la Prueba 1

En los resultados de la prueba 1 podemos concluir que la mejor distancia de la cámara con respecto al objeto es el de 120mm ya que el porcentaje de error es el mínimo, de acuerdo a la tabla 14.

Tabla14. Resultados de prueba 1

RESULTADOS AREA DE PRUEBA 1				
CASO	REAL	PDI	%ERROR	ALTURA DE CAMARA
1	2.8	2.54	9.2	115 mm
2	3.2	3.25	1.5	120 mm
3	3.25	3.08	5.2	125 mm

Fuente: Elaboración propia.

## Resultado de la Prueba 2

En los resultados de la prueba 2 se observa que la lógica de control de nuestro prototipo funciona según correctamente, el valor de seteo de la apertura de la compuerta se respeta para los valores de área mayor a 3.0cm<sup>2</sup>.

El estado de funcionamiento de la compuerta cuenta con un indicador que nos permite saber si se encuentra operando, este indicador está enclavado con la fuente de alimentación del motor de compuerta de trituración.

## Resultado de la Prueba 3

En la prueba 3 observamos el bit de confirmación que enviamos cada lapso de tiempo el cual permite habilitar al motor de la compuerta de la chancadora para continuar con el control dimensional. Esta confirmación de bit de control está programada dentro del hardware de control libre Arduino.

## CONCLUSIONES

De la presente investigación, podemos citar las siguientes conclusiones:

1. Fue posible diseñar e implementar un controlador dimensional aplicando procesamiento de imágenes para disminuir y eliminar el número de paradas del proceso de chancado de Planta Victoria, esto fue posible de acuerdo a la prueba 1 en la cual consistió en el procesamiento digital de imágenes utilizando el software Matlab, en donde se utilizó una cámara para detectar correctamente los colores blancos y negros, en la cual se obtuvo imágenes con tonos blancos, también la altura de la cámara fue importante para obtener el factor de escalamiento en donde el resultado fue el valor del área de las imágenes captadas de las rocas.
2. Fue posible diseñar e implementar un controlador que mediante el procesamiento de imágenes se pueda controlar la apertura y cierre de la cámara de trituración de la chancadora cónica de la Planta esto fue posible con la prueba N° 2 se corrobora que el controlador identifica correctamente el valor del área de la imagen y envía la señal al PLC para poder abrir y cerrar la compuerta según el valor seteado, se puede concluir que el escalamiento de los valores de voltaje son los correctos para poder controlar el motor – reductor. Como resultado se obtuvo la apertura y cierre de las compuertas de la chancadora.
3. Fue posible diseñar e implementar un sistema automatizado de control para que el circuito de potencia de cierre de la cámara de trituración pueda tener la señal de retroalimentación para el control automático , con la prueba 3 ha sido posible verificar la retroalimentación del sistema, esto fue dado gracias la programación en la plataforma de la cámara de video y generando tiempos de captura “snapshots continuos”, como resultado la cámara pudo tomar capturas de imágenes cada cierto tiempo, generando la retroalimentación al controlador dimensional.

## OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

De la presente investigación, podemos citar las siguientes observaciones y recomendaciones:

1. Habiendo cumplido con el objetivo de diseñar e implementar un controlador dimensional aplicando procesamiento de imágenes para disminuir el número de paradas del proceso de chancado de la Planta Victoria, se recomienda acondicionar el área de encapsulado de la cámara para la captura de imágenes que permita mejorar la calidad de las tomas y que los efectos de brillos y sombras del ambiente exterior no contaminen la imagen final.
2. Habiendo cumplido con el objetivo de diseñar e implementar un controlador dimensional que mediante el procesamiento de imágenes podamos controlar la apertura y cierre de la cámara de trituración de la chancadora cónica de la Planta Victoria, se recomienda utilizar una plataforma virtual que pueda realizar el procesamiento de imagen de manera continua para contar con un control fino y de mayor confiabilidad en comparación al emplear el programa Matlab.
3. Habiendo cumplido con el objetivo de diseñar e implementar un sistema automatizado de control para que el circuito de potencia de cierre de la cámara de trituración pueda tener la señal de retroalimentación para el control automático, se recomienda que registrar las paradas de la chancadora cónica por atoramientos en la cámara de trituración, para poder conocer la confiabilidad del controlador y así poder conocer la verdadera disminución de paradas de la chancadora.
4. Habiendo cumplido con el objetivo de diseñar e implementar un controlador dimensional aplicando procesamiento de imágenes, se recomienda la supervisión de un personal que pueda corroborar el tamaño del mineral del proceso anterior de chancado secundario, ya que, si el tamaño del mineral fuese demasiado grande, la apertura de la cámara de trituración sufriría de atoramiento aun así aplicando el control de apertura.



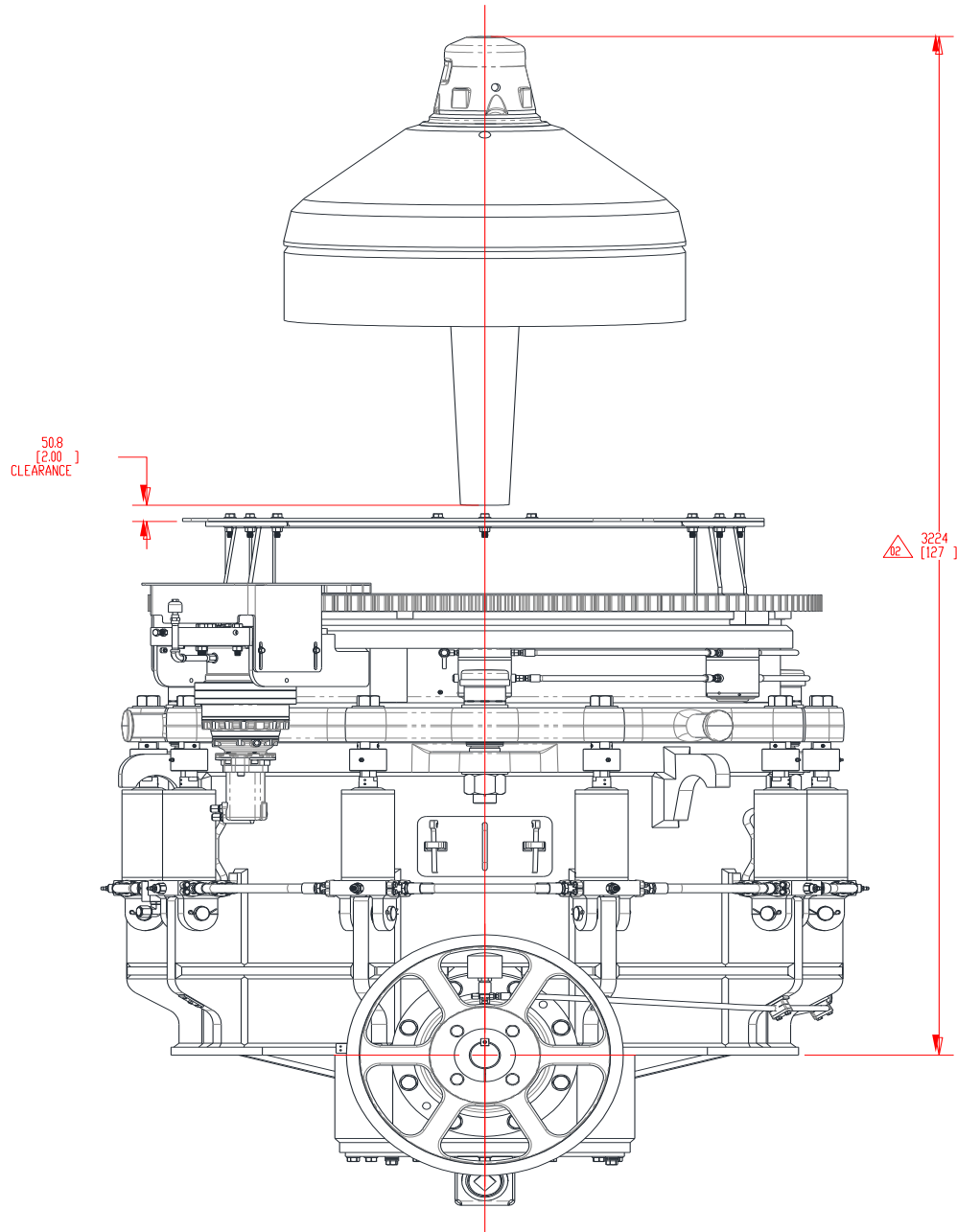
## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Arcausto, D. & Bustinza V. (2010), *Análisis de Minerales*, Perú, Universidad Nacional San Agustín.
2. Arias, P. (2014). *Optimización de la sección de chancado para incrementar la producción diaria de 7000 toneladas de mineral triturado en la empresa ICM*, Perú, Universidad Nacional del Callao.
3. Asmat. J. (2014). *Sistemas de reconocimiento y seguimiento de objetos en tiempo real a través de visión artificial*, Perú, Universidad Nacional de Trujillo.
4. Balsero, O. (2005). *Reconocimiento e interpretación de gestos manuales por medio de video*, España, Pontificia Universidad Javeriana.
5. Bolt, A. & Almerco W. (2011). *Multidimensional Process Mining using Process Cubes*, Holanda, Eindhoven University of Technology.
6. Delgado, C. (2013). *Evaluación de un cambio tecnológico para el procesamiento de minerales de alta dureza*, Chile, Universidad de Chile.
7. Diaz, G. (1996). *Visión y Procesamiento de Imágenes para Control de Calidad*, Colombia: Editorial EAFIT.
8. Garcia, E. (2008). *Detección y clasificación de objetos dentro de un salón de clases empleando técnicas de procesamiento digital de imágenes*, México, Universidad Autónoma Metropolitana.
9. González, R. C., Woods, R. E., Eddins, S. L. (2004). *Digital Image Processing Using MATLAB 2da Edición*, EE.UU.: Editorial Pearson Education.
10. Gonzales, R. (2012), *Procesamiento de Imágenes Digitales 2da Edición*, EEUU.: Editorial Pentince Hall.
11. Goodman, W. (1988). *Introduction to Fourier Optics*, EEUU.: Editorial McGraw Hill.
12. Isamar, G. (2017). *Procesamiento de imágenes usando opencv aplicado en raspberry pi para la clasificación del cacao*, Perú, Universidad de Piura.

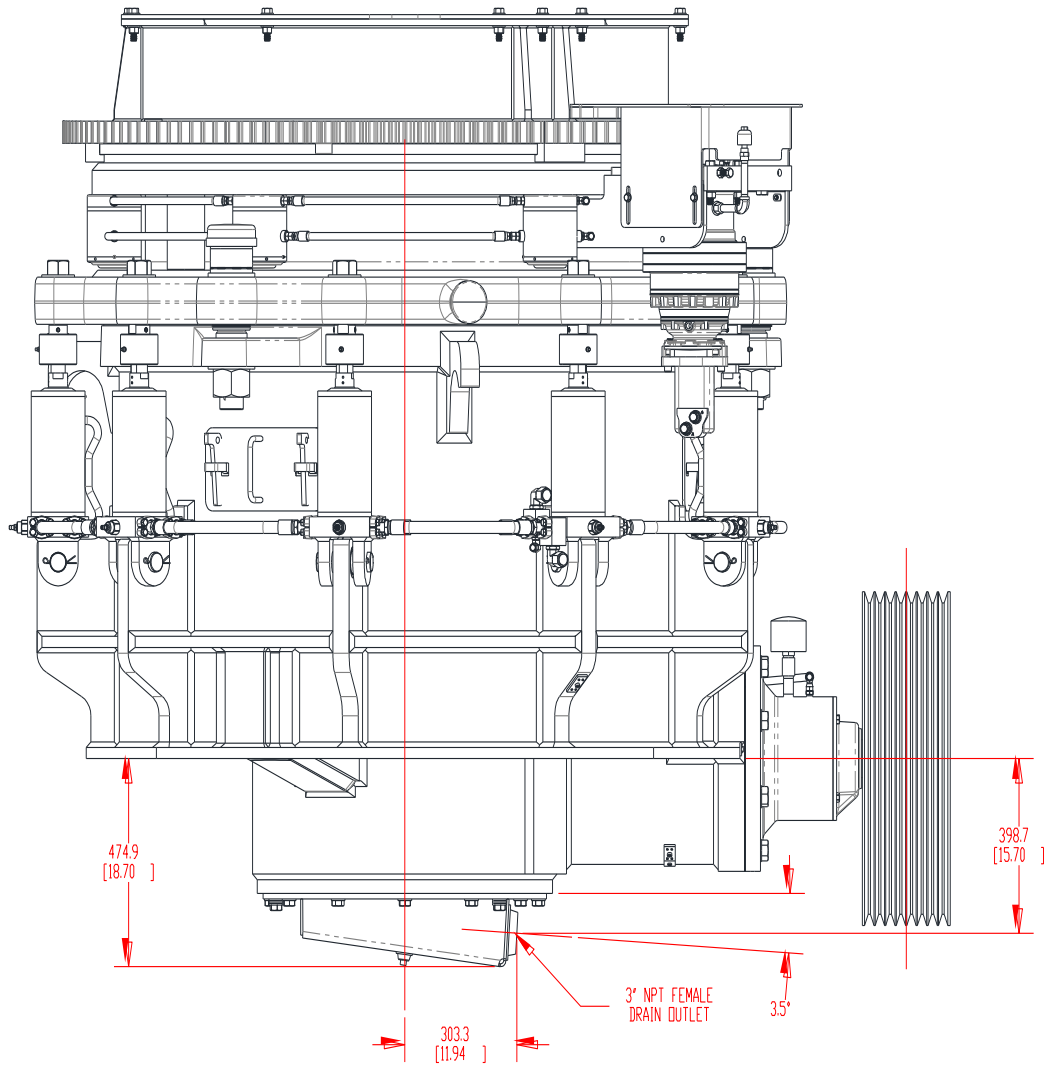
13. Jahne, B. (2002). *Digital Image Processing (5ª Ed.)*, Alemania: Editorial Springer.
14. Jarimopas, B., Jaisin, N. (2008). *An experimental machine vision system for sorting sweet tamarind*. *Journal of Food Engineering*, EEUU.: Editorial Board.
15. Montalvan, C. (2010). *Rediseño del control del proceso productivo de la division de Bronces para implementarlo en un centro integrado de operaciones*, Chile, Universidad de Chile.
16. Pastor, D. (2006). *Sistemas de clasificación de papas capiro y canchan teniendo en cuenta su forma, tamaño y daños mecánicos*, Perú, Universidad Nacional de Ingeniería.
17. Raponi Ogata, K. (2010). *Ingeniería de Control Moderna - 5ta Edición*, EEUU.: Editorial Dossat
18. Raponi, M. & Arcusin L. & Delrieux C. (2009). *Procesamiento de imágenes en tiempo real utilizando tecnología embebida con aplicación en rehabilitación visual*, Argentina, Universidad Tecnica de Argentina.
19. Russ, J. C. (1999). *The Image Processing Handbook (3ª Ed.)*, EEUU.: Editorial CRC Press LLC.
20. Smith, R. (2014). *Control Automático de Procesos*, México: Editorial Limusa.
21. Shih, F. Y. (2010). *Image Processing and Pattern Recognition. Fundamentals and Techniques*. Hoboken, EEUU.: Editorial John Wiley & Sons, Inc.
22. Yllanez, P. (2009). *Implementación de un sistema automatico de control de tamaño de particulas para aumentar los niveles de recuperación de oro de la pulpa cianurada de la planta Gold*, Perú, Universidad Peruana del Norte.

# ANEXOS

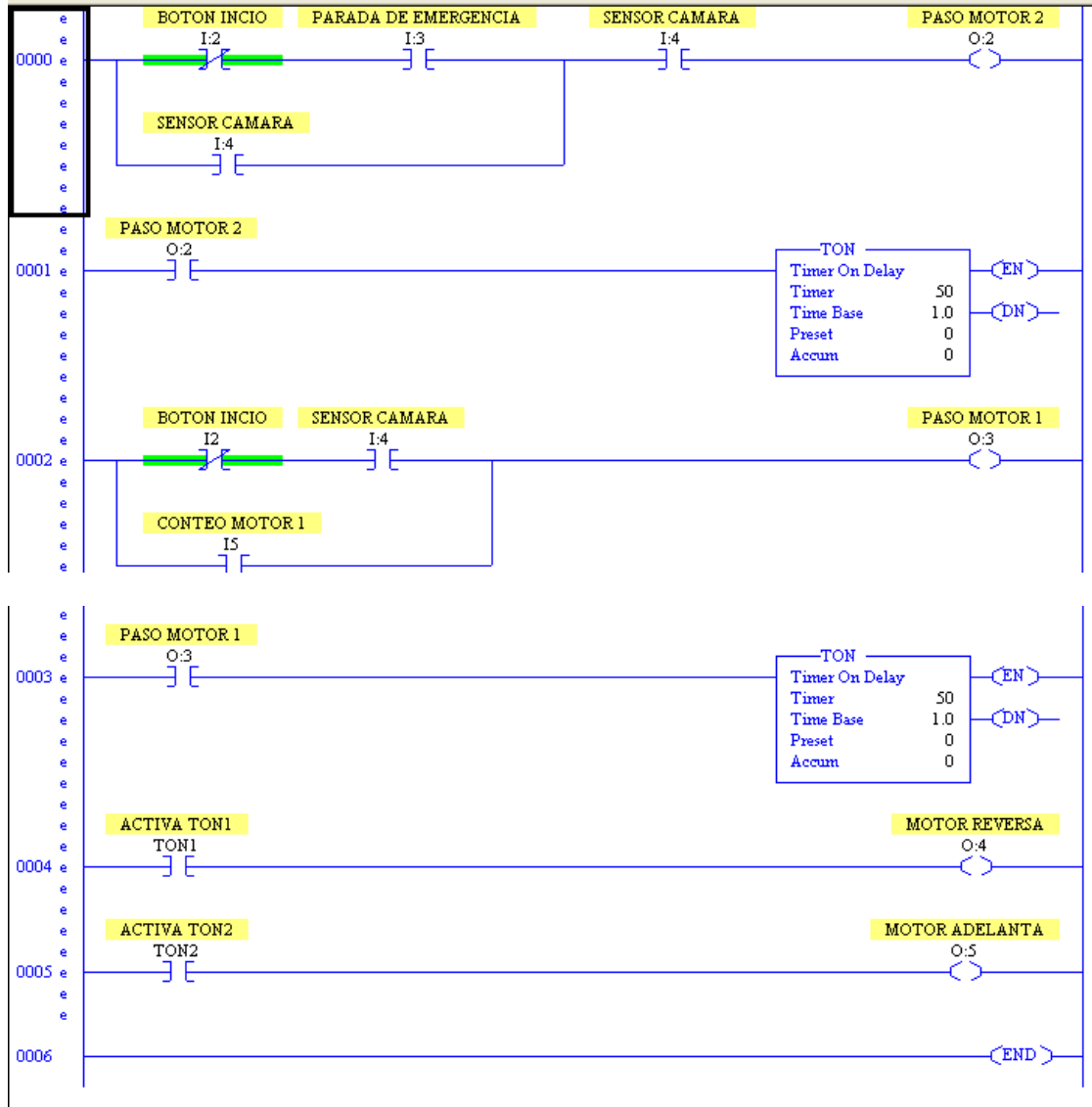
## ANEXO 1: PLANO MECANICO 1 DE CHANCADORA



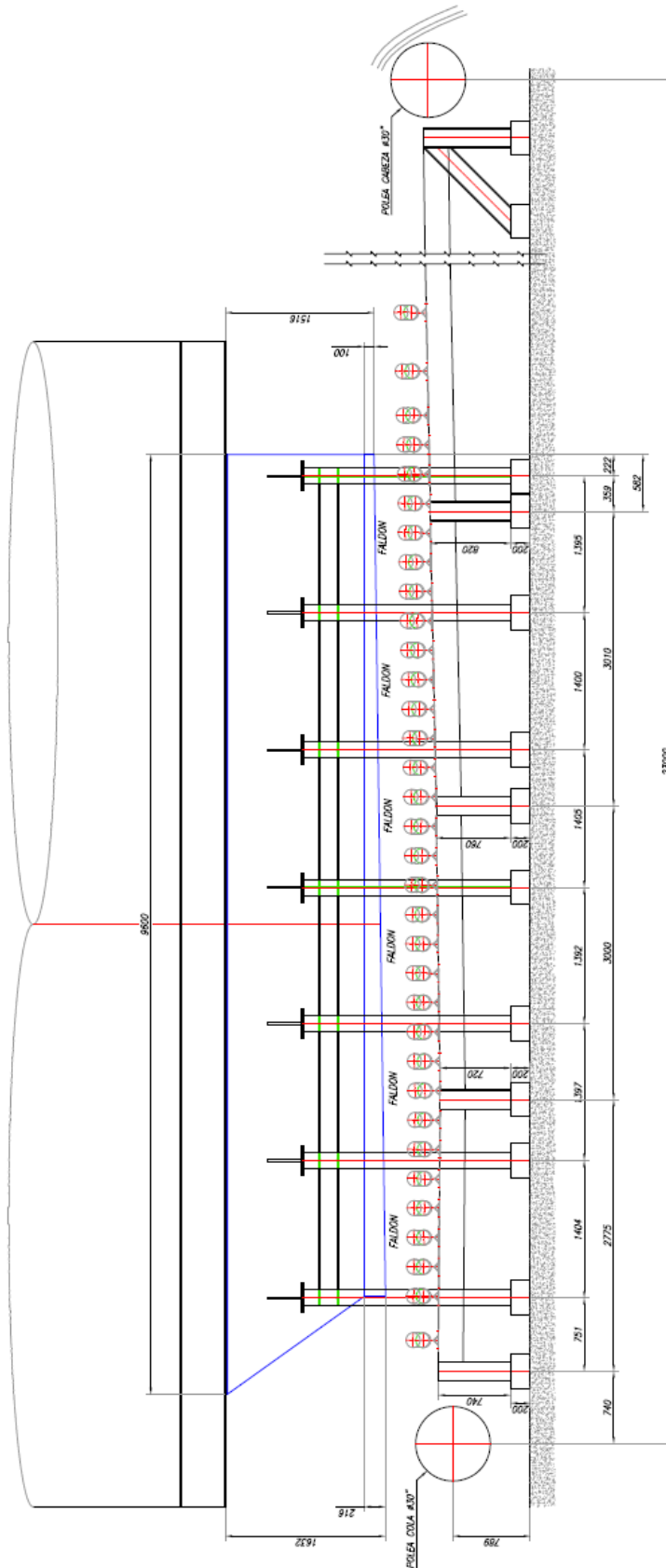
## ANEXO 2: PLANO MECANICO 2 DE CHANCADORA



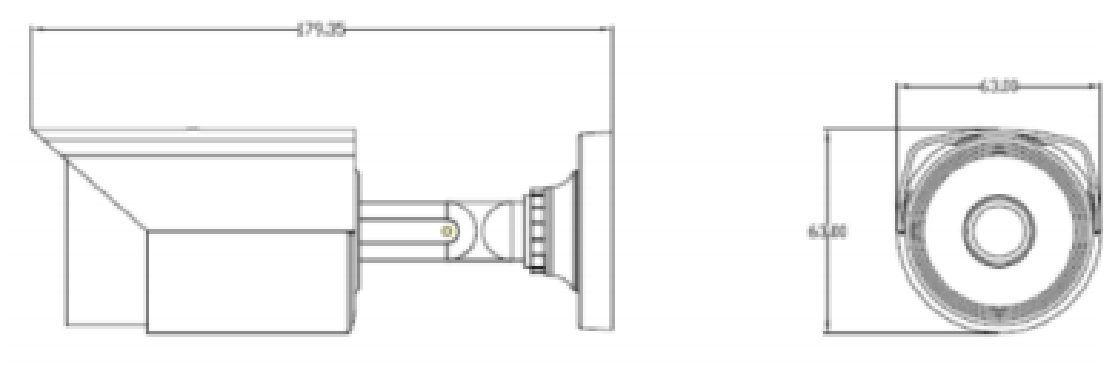
### ANEXO 3: PROGRAMA DE CONTROL – LENGUAJE LADDER



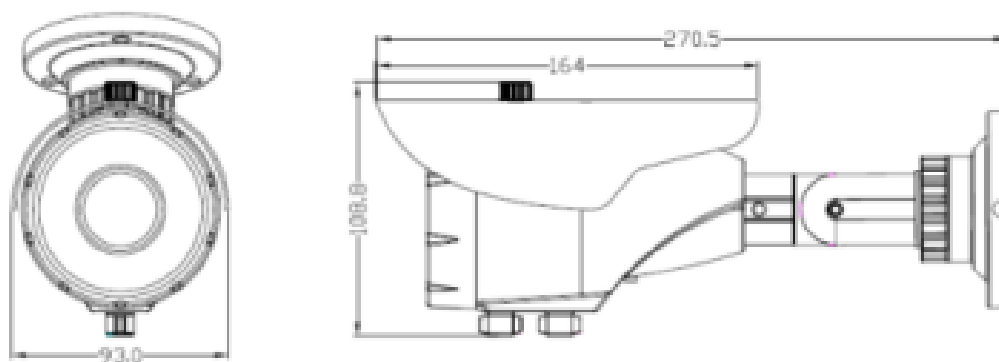
# ANEXO 4: PLANO MECANICO – FAJA TRANSPORTADORA



## ANEXO 5: CAMARA DE IMAGEN



### Modelo TBK-BUL4541EIR



<b>Sensor de Imagen</b>	CMOS 1/2,7" color (1080P/2 MP)
<b>Formato</b>	PAL/NTSC
<b>Resolución</b>	TVI / CVI /AHD: 1920 x 1080P CVBS: 650 / 700 LTV
<b>Sensibilidad</b>	0.1 lux F1.2 (0 lux con IR LED ON)
<b>Salida de Vídeo</b>	Conmutable (no simultáneas): HD 1080P:TVI/ AHD/ CVI o CVBS
<b>Tasa de Frames</b>	30fps (60Hz) 25fps (50Hz)
<b>Conmutac.Día/Noche</b>	Mecánica
<b>SNR</b>	>52dB (AGC off)
<b>Shutter Electrónico</b>	1/50(60)~1/100.000 sg
<b>Otros</b>	Menú OSD. BLC automático.



<b>Índice IP de Protección</b>	TBK-MD5541: Interior TBK-MD5542_5543_5741_5742EIR/ TBK-BUL4542_4741EIR: IP65.		
<b>Entorno de trabajo</b>	-20°C ~ +50°C, 10% ~ 90% humedad		
<b>Alimentación</b>	12VDC ±10%. Se recomienda utilizar una fuente de 12VDC 2A.		
	<b>Consumo</b>	<b>Peso gr</b>	<b>Dimensiones mm</b>
TBK-MD5541IR	665 mA	250	H70 x Ø100
TBK-MD5542EIR	800 mA	460	H64 x Ø97
TBK-MD5543EIR	665 mA	510	H93 x Ø119
TBK-MD5741EIR	815 mA	840	H90 x Ø146
TBK-MD5742EIR	800 mA	830	H90 x Ø146
TBK-BUL4541EIR	800 mA	450	L180 x Ø63
TBK-BUL4741EIR	900 mA	910	L271 x Ø93

## ANEXO 6: PLC

### AC500-XC PLC operating in eXtreme Conditions



DC551-CS31-XC



CI541-DP-XC



CI581-CN-XC

5

#### Communication interface modules

Number of	Input signal	Output type	Output signal	Terminal units	Type	Order code	Price	Weight (1 pce)
<b>AI/AO/DI/DO/DC</b>								
<b>Communication interface module for CS31-Bus</b>								
- / - / 8 / - / 16	24 V DC	Transistor	24 V DC, 0.5 A	TU552-CS31-XC	DC551-CS31-XC	1SAP420500R0001		0.200
- / - / - / 16	24 V DC	Transistor	24 V DC, 0.5 A	TU552-CS31-XC	DC552-CS31-XC	1SAP421100R0001		0.200
4 / 2 / 8 / - / 8	24 V DC / 0...10 V, -10...+10 V, 0...20 mA, 4...20 mA, PT100, PT1000, NI100, NI1000	Transistor	24 V DC, 0.5 A / -10...+10 V, 0...20 mA, 4...20 mA	TU552-CS31-XC	CI592-CS31-XC	1SAP421200R0001		0.200
<b>Communication interface module for PROFIBUS®-DP</b>								
4 / 2 / 8 / 8 / -	24 V DC / 0...10 V, -10...+10 V, 0...20 mA, 4...20 mA, PT100, PT1000, NI100, NI1000	Transistor	24 V DC, 0.5 A / -10...+10 V, 0...20 mA, 4...20 mA	TU510-XC / TU518-XC	CI541-DP-XC	1SAP424100R0001		0.200
- / - / 8 / 8 / 8	24 V DC	Transistor	24 V DC, 0.5 A	TU510-XC / TU518-XC	CI542-DP-XC	1SAP424200R0001		0.200
<b>Communication interface module for CANopen®</b>								
4 / 2 / 8 / 8 / -	24 V DC / 0...10 V, -10...+10 V, 0...20 mA, 4...20 mA, PT100, PT1000, NI100, NI1000	Transistor	24 V DC, 0.5 A / -10...+10 V, 0...20 mA, 4...20 mA	TU510-XC / TU518-XC	CI581-CN-XC	1SAP428100R0001		0.200
- / - / 8 / 8 / 8	24 V DC	Transistor	24 V DC, 0.5 A	TU510-XC / TU518-XC	CI582-CN-XC	1SAP428200R0001		0.200
<b>Communication interface module for Ethernet based protocol - PROFINET® IO RT</b>								
4 / 2 / 8 / 8 / -	24 V DC / 0...10 V, -10...+10 V, 0...20 mA, 4...20 mA, PT100, PT1000, NI100, NI1000	Transistor	24 V DC, 0.5 A / -10...+10 V, 0...20 mA, 4...20 mA	TU508-ETH-XC	CI501-PNIO-XC	1SAP420600R0001		0.200
- / - / 8 / 8 / 8	24 V DC	Transistor	24 V DC, 0.5 A	TU508-ETH-XC	CI502-PNIO-XC	1SAP420700R0001		0.200

#### Terminal units

For digital and analog expansion modules and interface modules. Please note: for modules with relay outputs, terminal units for 230 V AC (TU532-XC) is required.

For	Supply	Connection type	Type	Order code	Price	Weight (1 pce)
Ethernet interface modules	24 V DC	Spring	TU508-ETH-XC	1SAP414000R0001		0.300
CANopen®/PROFIBUS® DP interface modules	24 V DC	Spring	TU510-XC	1SAP410900R0001		0.300
I/O modules	24 V DC	Spring	TU516-XC	1SAP412000R0001		0.300
CANopen®/PROFIBUS® DP interface modules	24 V DC	Spring	TU518-XC (1)	1SAP411200R0001		0.300
Ethernet gateway modules	24 V DC	Spring	TU520-ETH-XC	1SAP414400R0001		0.300
I/O modules AC / Relay	230 V AC	Spring	TU532-XC	1SAP417000R0001		0.300
CS31 interface modules	24 V DC	Spring	TU552-CS31-XC	1SAP410400R0001		0.300

(1) TU518-XC Terminal units can also be used with PROFIBUS® DP with limited baud rate.

## AC500-XC CPUs

Type	PM573-ETH-XC	PM582-XC	PM583-ETH-XC	PM591-ETH-XC	PM592-ETH-XC
Supply voltage	24 V DC				
Current consumption on 24 V DC					
Min. typ. (module alone)	0.110 A	0.050 A	0.110 A	0.150 A	
Max. typ. (all couplers and I/Os)	0.810 A	0.750 A	0.810 A	0.850 A	
User program memory - Flash EPROM and RAM	512 kB	512 kB	1024 kB	4096 kB	
Integrated user data memory	512 kB thereof 288 kB saved	416 kB thereof 288 kB saved	1024 kB thereof 288 kB saved	5632 kB thereof 1536 kB saved	
User Flashdisk (Data-storage, program access or also external with FTP)	-				Yes, 4 GB Flash non removable
Plug-in memory card	depending on SD-Card used; no SD-HC card allowed; use MC502 accessory				
Web server's data for user RAM disk	1.024 kB	-	4.096 kB	8 MB	
<b>Cycle time for 1 instruction (minimum)</b>					
Binary	0.06 µs	0.05 µs		0.002 µs	
Word	0.09 µs	0.06 µs		0.004 µs	
Floating-point	0.7 µs	0.5 µs		0.004 µs	
<b>Max. number of centralized inputs/outputs</b>					
Max. number of extension modules on I/O bus	up to max. 10 (5500 allowed)				
Digital					
inputs	320				
outputs	240				
Analog					
inputs	160				
outputs	160				
<b>Max. number of decentralized inputs/outputs</b>					
depends on the used standard Fieldbus (1)					
Data buffering	battery				
Real-time clock (with battery back-up)	●				
<b>Program execution</b>					
Cyclical	●				
Time controlled	●				
Multi tasking	●				
User program protection by password	●				
<b>Internal interfaces</b>					
<b>COM1</b>					
RS232 / RS485 configurable	●				
Connection (on terminal bases)	pluggable spring terminal block				
Programming, Modbus® RTU, ASCII, CS31 master	●				
<b>COM2</b>					
RS232 / RS485 configurable	●				
Connection (on terminal bases)	Sub-D female 9 poles				
Programming, Modbus® RTU, ASCII	●				
<b>FieldBusPlug</b>					
Serial neutral interface	-				
Connection (on terminal bases)	-				
Functions	-				
<b>Ethernet</b>					
Ethernet connection (on terminal bases)	RJ45	-	RJ45		
Ethernet functions:					
Programming, TCP/IP, UDP/IP, Modbus® TCP, integrated Web server, IEC60870-5-104 remote control protocol, SNMP (simple Network Time Protocol), DHCP, PING, SMTP FTP server	●	-	●		

## Digital S500-XC I/O modules

Type	DI524-XC	DC522-XC	DC523-XC	DC532-XC	DO524-XC	DX522-XC
<b>Number of channels per module</b>						
Digital inputs	32	--	--	16	--	8
Digital outputs	--	--	--	--	32	8 relays
Configurable channels DC (configurable as inputs or outputs)	--	16	24	16	--	--
<b>Additional configuration of channels as</b>						
Fast counter	configuration of max. 2 channels per module, operating modes see table on page 112					
Occupies max. 1 DO or DC when used as counter	--	●	●	●	--	--
Connection via terminal unit	●	●	●	●	●	●
<b>Digital inputs</b>						
Input signal voltage	24 V DC	--	--	--	--	24 V DC
Input characteristic acc. to EN 61132-2	Type 1	--	--	--	--	Type 1
0 signal	-3...+5 V DC	--	--	--	--	-3...+5 V DC
Undefined signal state	5...15 V DC	--	--	--	--	5...15 V DC
1 signal	15...30 V DC	--	--	--	--	15...30 V DC
Input time delay (0 → 1 or 1 → 0)	8 ms typically, configurable from 0.1 up to 32 ms	--	--	--	--	8 ms typically, configurable from 0.1 up to 32 ms
<b>Input current per channel</b>						
At input voltage	24 V DC	5 mA typically	--	--	--	5 mA typically
	5 V DC	> 1 mA	--	--	--	> 1 mA
	15 V DC	> 5 mA	--	--	--	> 5 mA
	30 V DC	< 8 mA	--	--	--	< 8 mA
<b>Digital outputs</b>						
Transistor outputs 24 V DC, 0.5 A	--	●	●	●	●	--
Readback of output	--	●	●	●	●	--
Relay outputs, supplied via process voltage UP, changeover contacts	--	--	--	--	--	●
Switching of load	24 V	●	●	●	●	●
	230 V	●	●	●	●	●
Output voltage at signal state 1	--	process voltage UP minus 0.8 V				--
<b>Output current</b>						
Nominal current per channel	--	500 mA at UP = 24 V				--
Maximum (total current of all channels)	--	8 A				--
Residual current at signal state 0	--	< 0.5 mA				--
Demagnetization when switching off	--	by internal varistors				--
<b>Inductive loads</b>						
<b>Switching frequency</b>						
For inductive load	--	0.5 Hz max.			0.5 Hz max.	2 Hz
For lamp load	--	11 Hz max. at max. 5 W			--	--
Short-circuit / overload proofness	--	●	●	●	●	by external fuse / circuit breaker 5 A gL/gG per channel
Overload indication (I > 0.7 A)	--	after approx. 100 ms				--
Output current limiting	--	yes, with automatic reclosure				--
Proofness against reverse feeding of 24 V signals	--	●	●	●	●	--
<b>Contact rating</b>						
For resistive load, max.	--					3 A at 230 V AC 2 A at 24 V DC
For inductive load, max.	--					1.5 A at 230 V AC 1.5 A at 24 V DC
For lamp load	--					60 W at 230 V AC 10 W at 24 V DC

5

## ANEXO 7: PROGRAMA INTERFAZ GRAFICA

```
Imports AForge.Video.DirectShow
Imports AForge.Video
Imports System.Drawing.Imaging

Public Class Form_principaal

    Dim buffer_tx(32) As Byte
    Dim baudios() As String = {1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 34600, 57600, 115200}
    Dim portsCom() As String
    Dim imageCapturada As Image
    Dim camara As VideoCaptureDevice
    Dim bmp As Bitmap
    Dim fc As Boolean
    Dim _OFF As Boolean = 0
    Dim _ON As Boolean = 1

    Private Sub Form_principaal_Load(sender As Object, e As EventArgs) Handles MyBase.Load
        ComboBox_baudios.Items.AddRange(baudios)
        ComboBox_puerto.Items.AddRange(IO.Ports.SerialPort.GetPortNames)
        ComboBox_baudios.Text = baudios(3)
        If ComboBox_puerto.Items.Count > 0 Then
            ComboBox_puerto.Text = ComboBox_puerto.Items.Item(0)
        End If
        habilitadores(_OFF)
    End Sub

    Private Sub DateTime_Tick(sender As Object, e As EventArgs) Handles DateTime.Tick
        ToolStripStatusLabel_fecha.Text = Date.Now.ToLongDateString
        ToolStripStatusLabel_hora.Text = Date.Now.ToLongTimeString
    End Sub

    Private Sub Button_abrirCamara_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button_abrirCamara.Click
        Dim webcam1 As VideoCaptureDeviceForm = New VideoCaptureDeviceForm
        If webcam1.ShowDialog() = Windows.Forms.DialogResult.OK Then
            camara = webcam1.VideoDevice
        End If
    End Sub
End Class
```

```

        AddHandler camara.NewFrame, New NewFrameEventHandler(AddressOf
Captured1)
        camara.Start()
        fc = True
    End If
End Sub

Private Sub Captured1(sender As Object, EventArgs As NewFrameEventArgs)
    bmp = DirectCast(eventArgs.Frame.Clone(), Bitmap)
    PictureBox_imagenActual.Image = DirectCast(eventArgs.Frame.Clone(),
Bitmap)
End Sub

Private Sub Button_cerrarCamara_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
Button_cerrarCamara.Click
    If fc Then
        camara.Stop()
    End If
End Sub

Private Sub Button_capturarCamara_Click(sender As Object, e As EventArgs)
Handles Button_capturarCamara.Click
    If fc Then
        imageCapturada = PictureBox_imagenActual.Image
        PictureBox_imagenCapturada.Image = imageCapturada
    End If
End Sub

Private Sub Button_imagenReal_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
Button_imagenReal.Click
    If fc Then
        PictureBox_imagenCapturada.Image = imageCapturada
    End If
End Sub

Private Sub Button_imagenTratada_Click(sender As Object, e As EventArgs)
Handles Button_imagenFiltrada.Click
    If fc Then
        PictureBox_imagenCapturada.Image =
convierteImagenEscalaGris(imageCapturada)
    End If
End Sub

```

```

Public Function convierteImagenEscalaGrises(img As Bitmap) As Bitmap
    Dim _img As New Bitmap(img.Width, img.Height)
    Dim b As Graphics = Graphics.FromImage(_img)
    Dim c As New ColorMatrix(New Single()() {
        New Single() {0.3F, 0.3F, 0.3F, 0, 0},
        New Single() {0.59F, 0.59F, 0.59F, 0, 0},
        New Single() {0.11F, 0.11F, 0.11F, 0, 0},
        New Single() {0, 0, 0, 1, 0},
        New Single() {0, 0, 0, 0, 1}})

    Dim d As New ImageAttributes()
    d.SetColorMatrix(c)
    b.DrawImage(img, New Rectangle(0, 0, img.Width, img.Height), 0, 0,
img.Width, img.Height, GraphicsUnit.Pixel, d)
    b.Dispose()
    Return _img
End Function

Private Sub Button_conectar_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
Button_conectar.Click
    If Not Serial.IsOpen Then
        Serial.PortName = ComboBox_puerto.Text
        Serial.BaudRate = ComboBox_baudios.Text
        Serial.Open()
        buffer_tx(0) = 0
        buffer_tx(1) = 1
        Serial.Write(buffer_tx, 0, 2)
        habilitadores(_ON)
    End If
End Sub

Sub habilitadores(estado As Boolean)
    If estado Then
        Button_conectar.Enabled = False
        Button_desconectar.Enabled = True
        GroupBox_camara.Enabled = True
        GroupBox_control.Enabled = True
        GroupBox_manual.Enabled = True
        GroupBox_imagen.Enabled = True
        Label_estadoConexion.Text = "estado : CONECTADO"
        Label_estadoConexion.ForeColor = Color.DarkGreen
    Else

```

```

        GroupBox_camara.Enabled = False
        GroupBox_control.Enabled = False
        GroupBox_manual.Enabled = False
        GroupBox_imagen.Enabled = False
        Button_conectar.Enabled = True
        Button_desconectar.Enabled = False
        Label_estadoConexion.Text = "estado : DESCONECTADO"
        Label_estadoConexion.ForeColor = Color.DarkRed
    End If
End Sub

Private Sub Button_desconectar_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
Button_desconectar.Click
    If Serial.IsOpen Then
        buffer_tx(0) = 0
        buffer_tx(1) = 0
        Serial.Write(buffer_tx, 0, 2)
        Serial.Close()
        Serial.Dispose()
        If fc Then
            camara.Stop()
        End If
        habilitadores(_OFF)
    End If
End Sub

Private Sub Button_enviarArea_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
Button_enviarArea.Click
    If TextBox_areaManual.Text <> "" Then
        buffer_tx(0) = 1
        buffer_tx(1) = Convert.ToByte(TextBox_areaManual.Text)
        If Serial.IsOpen Then
            Serial.Write(buffer_tx, 0, 2)
        End If
    End If
End Sub

Private Sub Button_manualAbrir_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
Button_manualAbrir.Click
    buffer_tx(0) = 2
    buffer_tx(1) = 0
    If Serial.IsOpen Then

```



```

        Serial.Write(buffer_tx, 0, 2)
    End If
End Sub

Private Sub Button_manualCerrar_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
Button_manualCerrar.Click
    buffer_tx(0) = 2
    buffer_tx(1) = 1
    If Serial.IsOpen Then
        Serial.Write(buffer_tx, 0, 2)
    End If
End Sub

Private Sub Button_manualIzquierda_Click(sender As Object, e As EventArgs)
Handles Button_manualIzquierda.Click
    buffer_tx(0) = 2
    buffer_tx(1) = 2
    If Serial.IsOpen Then
        Serial.Write(buffer_tx, 0, 2)
    End If
End Sub

Private Sub Button_manualDerecha_Click(sender As Object, e As EventArgs)
Handles Button_manualDerecha.Click
    buffer_tx(0) = 2
    buffer_tx(1) = 3
    If Serial.IsOpen Then
        Serial.Write(buffer_tx, 0, 2)
    End If
End Sub

Private Sub LinkLabel1_LinkClicked(sender As Object, e As
LinkLabelLinkClickedEventArgs) Handles LinkLabel1.LinkClicked
    System.Diagnostics.Process.Start("www.makerelectronico.com")
End Sub

Private Sub Button_calcularArea_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
Button_calcularArea.Click

End Sub
End Class

```

## ANEXO 8: DIAGRAMA CONTROL DIMENSIONAL (PROTOTIPO)

