



Universidad
Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

**Optimización y confiabilidad del sistema
de izaje del Loading Pocket Nv. 250 mediante
la automatización del proceso en Winche
Esperanza (Minera Animon Cerro de Pasco)**

Uver Frank Coris Rojas

Huancayo, 2017

Tesis para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electricista



Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

ASESOR

Ing. Jorge Eliseo Lozano Miranda

AGRADECIMIENTO

A mis padres por el apoyo que siempre me brindan, al encargado del laboratorio de ingeniería en el área de energía, por el préstamo de los equipos de medición y al encargado del área de soporte y energía por permitirme realizar las mediciones.

El Autor

DEDICATORIA

A mi familia y a todos aquellos que de alguna manera me apoyaron en la realización del mismo.

Uver

ÍNDICE GENERAL

Portada	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
Agradecimiento.....	IV
Dedicatoria	V
Índice general.....	VII
Índice de tablas	IX
Índice de gráficos.....	XI
Resumen.....	XI
Abstract.....	XII
Intruducción.....	XIII
Capítulo I.....	15
1. Planteamiento del estudio.....	15
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.1.1.Planteamiento del problema	19
1.1.2.Formulación del problema.....	19
1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.2.1.Objetivo general	19
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	20
1.3.1.Justificación social	20
1.3.2.Justificación técnica.....	20
1.3.3.Justificación económica	21
1.3.4.Importancia.....	21
1.3.5.Datos de la empresa	22
1.4. HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES	26
1.4.1.Hipótesis general	26
1.5. VARIABLES.....	27
1.5.1.Variable independiente.....	27
1.5.2.Variable dependiente.....	27
1.5.3.Operación de las variables	28
Capítulo II.....	29
2. Marco Teórico.....	29
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	29
2.1.1. Nacional	29
2.1.2. Internacional.....	30
2.2. BASES TEÓRICAS	33
2.2.1 Sistema de izaje.....	33
2.2.1.1 Transporte en el sistema izaje.....	35
2.2.1.2 Parámetros del sistema izaje	38
2.2.1.3 Winche izaje	38
2.2.1.4 Componentes de un winche izaje	38

2.2.1.5 Piques	39
2.2.1.6 Sistema De Arranque Del Winche De Izaje	40
2.2.2 Ingeniería de control	43
2.2.2.1 Teoría de control matemático	43
2.2.2.2 Nociones de sistema	45
2.2.2.3 Acción proporcional, integral y derivativa (P&Id)	55
2.2.2.4 PLC (Controlador Lógico Programable)	64
2.2.3 Automatización de procesos:	68
2.2.3.1 Control manual típico	70
2.2.3.2 Control de retroalimentación	71
2.2.3.3 Control de avance manual	72
2.2.3.4 Control automático avanzado	74
2.2.3.5 Control de procesos y gestión de procesos	75
2.2.3.6 Automatización en el sector minero:	77
2.2.4 Confiabilidad:	79
2.2.5 Optimización y productividad:	80
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	81
2.3.1. Automatización	81
2.3.2. Optimización	82
2.3.3. Confiabilidad	82
Capitulo III	83
3. Metodología	83
3.1. MÉTODO, TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN	83
3.1.1. Método de la investigación	83
3.1.2. Tipo de la investigación	83
3.1.3. Nivel de la investigación	83
3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	84
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN	84
3.3.1. Población	84
3.3.2. Técnicas e instrumentos de medición	84
3.3.3. Instrumentos	96
3.3.4. Técnicas de procesamiento	97
3.3.5. Técnicas de análisis de datos	97
Capitulo IV	98
4. Análisis e interpretación de resultados	98
4.1. SISTEMA DE EXTRACCIÓN MANUAL	98
4.2. SISTEMA DE EXTRACCIÓN AUTOMATIZADO	99
4.3. INCREMENTO DE PRODUCCIÓN CON EL SISTEMA LOANDIG POCKET NV 250	99
4.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	100
Capitulo V	104
5.1. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	104
Conclusiones	106
Recomendaciones	107
Referencias bibliográficas	108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Evolución de la capacidad de tratamiento, Minera Chungar.....	17
Figura 2: Evolución de la producción de finos – Minera Chungar.....	17
Figura 3: Ubicación minera Chungar Animon.....	23
Figura 4: Centro de operaciones Minera Chungar	24
Figura 5: Sistema de izaje.....	35
Figura 6: <i>Loading Pocket</i> Nv 250 <i>Poquet</i> Esperanza	36
Figura 7: Proceso de extracción de minerales	36
Figura 8: Yacimiento de mineral	37
Figura 9: Modelo de un pique en minas	40
Figura 10: Transformadores.....	41
Figura 11: Acción de control derivada.....	63
Figura 12: El algoritmo del controlador PID estándar (no interactivo).....	64
Figura 13: Equipo – PLC.....	65
Figura 14: Las variables involucradas en la automatización.....	69
Figura 15: Control manual típico	71
Figura 16. Control de retroalimentación.	72
Figura 17. Control de avance manual	73
Figura 18. Control automático avanzado.....	75
Figura 19. Control de procesos y gestión de procesos.....	76
Figura 20: Filosofía de control.....	87
Figura 22: Flujo de la segunda fase del proceso.....	92
Figura 23: Flujo de la tercera fase del proceso.	93
Figura 21: Flujo de la cuarta fase del proceso.....	95
Figura 26: Winche de Izaje	112
Figura 27: Funcionamiento del sistema <i>Loading Pocket</i>	112
Figura 28: Reportes y tiempos de parada nulos.....	115
Figura 29: Lógica de control del <i>Loading Pocket</i> nv 250 pique esperanza	124

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ciclo de izaje <i>Loading</i>	25
Tabla 2: Tiempos del sistema de izaje	25
Tabla 3: Operacionalización de las variables	28
Tabla 4: Tabla de parámetros de sistema de izaje	38
Tabla 5: Tabla de reporte de producción.....	96
Tabla 6: Reporte diario de operación Winche Esperanza	96
Tabla 7: Reporte diario de operación Winche Esperanza	97
Tabla 8: Minera Animon - Producción del mineral proceso manual.....	99
Tabla 9: Minera Animon - Producción del mineral proceso automatizado	99
Tabla 10: Minera Animon - Producción del mineral y personal.....	100
Tabla 11: Correlaciones Rho de Spearman	100
Tabla 12: Correlaciones T–Student.....	103
Tabla 13: Modelo de un sistema circuito de reles y contactores para confiabilidad en operaciones	114

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Grafico 1: Modelo de operacionalidad en las mejoras productivas mediante el izaje	113
Grafico 2: Modelo de automatizacion del proceso Winche Esperanza	114

RESUMEN

La presente tesis titulada: “Optimización y confiabilidad del sistema de Izaje del *Loading Pocket* Nv. 250 mediante la automatización del proceso en Winche Esperanza. (Minera **Animon** Cerro de Pasco)”, trata de un sistema automatizado el cual dota de optimización y confiabilidad para el proceso de Winche, que es un componente vital en el equipo de extracción de minerales (zinc y plomo básicamente) de la Minera Animon ubicada entre los límites de las regiones Junín y Pasco. Este sistema ha permitido mejorar la extracción y reducir paradas por mantenimientos. Como parte de la comparación entre los procesos manual y automatizado, la presente investigación ha pretendido determinar la influencia de la automatización del sistema de Izaje *Loading Pocket* Nv. 250 acerca de la optimización y confiabilidad del proceso en Winche Esperanza desde dos puntos de vista: sobre los registros documentarios de la propia minera, primero a base de la correlación entre las variables y sobre la diferencia de los promedios de estas, las cuales son informaciones relevantes para esta investigación. Con una base de datos diaria de los procesos productivos de la empresa que datan desde agosto del 2016 hasta agosto del 2017, se hace uso de una metodología correlacional para contrastar la influencia de este cambio técnico en base a los estadísticos Chi-Cuadrado y T-Student. Con un nivel descriptivo correlacional, los principales resultados de la investigación apuntan a una influencia positiva entre estas variables por el efecto de la mejora técnica explicada y contrastada por el P-valor del estadístico Rho de Spearman igual a 0, siendo que la optimización se ve incrementada en 31% en el lado de la producción y 60% en la reducción de la fuerza laboral, mientras que la confiabilidad se duplicó, teniendo además estos resultados, un nivel de confianza al 5%.

Palabras clave:

Sistema izaje, confiabilidad, minería, automatización, Winche Esperanza

ABSTRACT

The present thesis titled: "Optimization and reliability of the Izaje Loading System Nv. 250 by automating the Winche Esperanza process. (Minera **Animon** Cerro de Pasco) ", is an automated system which provides optimization and reliability for the Winche process, which is a vital component in the mining equipment (zinc and lead basically) of the Minera Animon located in between the limits of the regions Junín and Pasco. This system has improved the extraction and reduced maintenance stops. As part of the comparison between the manual and automated processes, this research has sought to determine the influence of the automation of the Izaje *Loading Pocket* Nv. 250 about the optimization and reliability of the Winche Esperanza process from two points of view: on the documentary records of the mining company, firstly based on the correlation between the variables and on the difference of the average of these, which are information relevant to this research. With a daily database of the company's production processes that date from August 2016 to August 2017, a correlation methodology is used to compare the influence of this technical change based on the Chi - square and t - Student statistics. With a descriptive correlational level, the main results of the research point to a positive influence among these variables due to the effect of the technical improvement explained by the p-value of the rho-Spearman statistic equal to 0, with optimization being increased 31% on the production side and 60% on the reduction of the workforce, while reliability doubled, with these results also having a confidence level of 5%.

Keywords:

System Izaje, Reliability, Mining, Automation, Winche Esperanza

INTRODUCCIÓN

Es indudable que el Perú tiene un gran potencial minero, los numerosos proyectos mineros que se tienen en el país y los que vendrán tienen un impacto significativo sobre la economía nacional. A pesar de la caída sustancial de los precios internacionales de los minerales a nivel mundial a causa de la grave crisis internacional del 2008, aún el sector minero sigue siendo uno de los que más aporta a las finanzas nacionales y el Perú sigue siendo atractivo para la inversión privada. El 6% de todos los ingresos fiscales en el país derivan de este sector [1]. Aun cuando la actividad se ha visto seriamente contraída por la reducción de los precios de los minerales, el escenario minero aun representa una gran oportunidad de negocio tanto para inversionistas como para la sociedad peruana. En un entorno de alta competitividad, la minería se acopla a los últimos avances tecnológicos de este, haciendo uso de formas cada vez más sofisticadas y maquinaria que permite tener mayor precisión y menor riesgo asociado [2]. Dentro del proceso de extracción minera, la que interesa a la presente investigación es la de extracción subterránea, la cual tiene diversas formas de realizarse y una de ellas corresponde al sistema de izaje que comenzó como sistema mecánico sumamente rudimentario a sistemas que hacen uso de altos estándares de calidad, energía eléctrica y controles electrónicos dependiendo de las necesidades según la extracción de cada compañía minera.

La tecnología está siendo cada vez mayor a beneficio del desarrollo de los procesos productivos, haciéndolos cada vez más eficientes, es por eso que la empresa minera Volcan, busca ello. Dentro de su dominio se encuentra la Minera Animon, ubicada en Cerro de Pasco la cual ha tenido que manejar su sistema de izaje de manera manual; sin embargo, a partir del año 2017, el *Loading Pocket* Nv. 250 debido a las deficiencias que presenta de modo manual, se sistematiza el proceso de extracción del mineral mediante la automatización del proceso en Winche Esperanza. La optimización y confiabilidad ha sido una necesidad para el logro de los objetivos de la empresa.

Así, la presente investigación ha buscado determinar la influencia de la percepción de la automatización del sistema de izaje *Loading Pocket* Nv. 250 acerca de la optimización y confiabilidad del proceso en Winche Esperanza en los ámbitos de la producción, disponibilidad mecánica y sobre la percepción de los trabajadores de la unidad minera en estudio. Dado que la literatura actual hace hincapié acerca de la importancia de confiabilidad y su relación con la productividad, se hace pertinente realizar la siguiente investigación.

La investigación se divide en seis partes: en el Capítulo I, se presenta el problema, el objetivo y las razones que nos motivan a realizarla, además de las hipótesis; en el Capítulo II, se exponen los antecedentes de la investigación, las teorías que nos ayudan a explicar la investigación, el marco conceptual y la operacionalización de las variables; en el Capítulo III, se explica la metodología que se usó en la investigación; de igual manera se muestra la exposición de los datos y el análisis estadístico asociado a la contrastación de las hipótesis; en el Capítulo IV, se discute en contraste con lo revisado en la literatura; el Capítulo V, concluye.

El Autor

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema.

Sin duda alguna, la minería es una de las actividades más necesarias dentro del desenvolvimiento económico y social de la humanidad. Capaz de proveer una serie de recursos minerales, la minería sustenta casi la mayoría de industrias manufactureras y del entorno tecnológico, quienes demandan los minerales que se extraen.

Es así que el nivel de minerales que se pueden aprovechar a medida que se extraen es limitado y por ende escaso, puesto que las reservas probadas de minerales lo son y su crecimiento está sujeto al proceso de exploración continua. Ante ello, la industria minera se torna más competitiva por el entorno con un porcentaje del 2.1% del PBI mundial según el Banco Mundial, mientras que para el país el porcentaje de participación del PBI minero es cercano al 15% [3], y en contraste se hace necesaria la reprogramación de la extracción de minerales, siendo necesario que los procesos de extracción sean cada vez más precisos y con menores riesgos [4].

Dado que hay dos tipos grandes de minería, la de tajo abierto y la subterránea, es esta última la que tiene una vital importancia sobre la evolución del sector, pues es la que ofrece la posibilidad de ejecutar la extracción sin el inconveniente de los conflictos sociales, muy comunes

cuando se realizan procesos de minería a tajo abierto, pues ellos requieren de gran amplitud de terreno y la degradación ambiental alrededor de ella es evidente, mientras que en el caso de la minería subterránea no se tiene ese inconveniente.

Así, la empresa minera Volcan S. A., una de las más importantes empresas mineras en el país, tiene sus inversiones aquí. Como concesionaria de 12 minas, busca siempre llegar a la eficiencia en sus procesos. Una de las minas de esta empresa, la Minera Animon, es de tipo subterráneo. Ubicada en Chungar, en la región Cerro de Pasco, la extracción de mineral hacia la superficie es realizada mediante un sistema de izaje, por labores auxiliares (galerías, chimeneas y subniveles) que se aprovechan con este fin en forma mecanizada usando *scooptrams* y volquetes. Sin embargo, la deficiencia que se tiene es la extracción de mineral hacia una de las superficies, denominada NV 250, la cual tiene un promedio de carga de 990 TM/Guardia, para la cual se hace necesaria una cantidad de trabajadores que intervienen en esta operación unitaria que es relativamente alta (5 trabajadores por guardia), esto implica un alto riesgo de la operación en lo que respecta a la seguridad de los trabajadores involucrados en este procedimiento y además de la ineficiencia que producen los procesos manuales dentro de la actividad minera a comparación de procesos automatizados que no contemplan el fallo humano en estos, mientras que con el proceso de tipo manual se debe tener en consideración el descanso de los trabajadores, la rotación de los mismos y fallas comunes en el proceso; en un proceso automatizado se omiten todos estos tipos de problemas.

En este sentido, respecto a la producción de los minerales que se dan en la mina, podemos notar que hay una reducción de la capacidad de tratamiento y una tendencia negativa acerca de la producción de minerales finos.

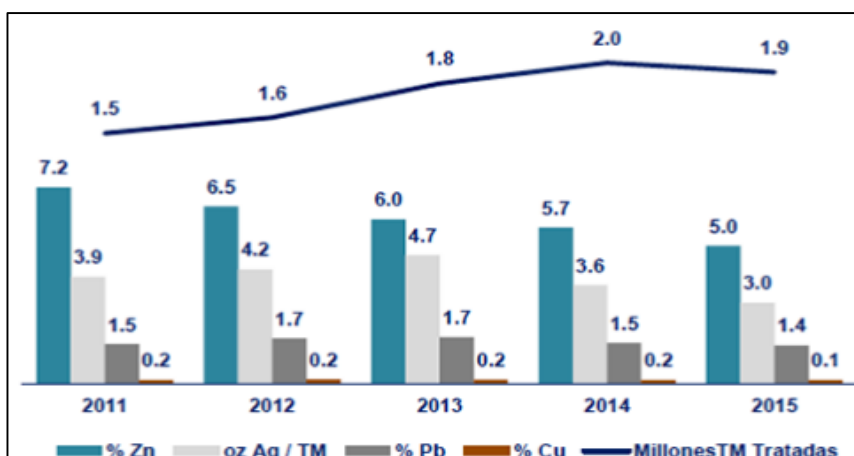


Figura 1: Evolución de capacidad de tratamiento, Minera Chungar
Fuente: Minera Chungar

Tal como se establece en la Figura 1, la capacidad de tratamiento diario de la planta Animon durante el periodo 2011-2015 ha sido de 1.76 mil toneladas de mineral de cabeza con una tendencia creciente progresiva de esta capacidad en estos años, con leyes de 6.08% de composición en zinc, 1.56% de composición en plomo, 0.18% de composición de cobre y 3.88 onzas de plata por tonelada en el promedio del periodo 2011-2015 que tienen también el comportamiento tendiendo a la reducción.

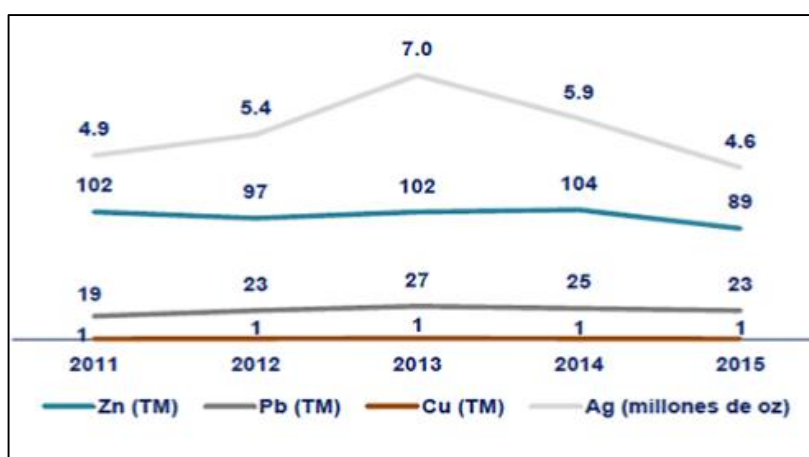


Figura 2: Evolución de la producción de finos – Minera Chungar
Fuente: Minera Chungar

Por otro lado, tal como se denota en la figura 2, en la producción de finos se ha tenido una producción tal, que se ha visto sostenida en el tiempo para casi todos los minerales producidos. Para la plata, donde se tuvo

un pico en el año 2013 de 7 millones de onza para luego volver al promedio de 4.5 millones de onzas que se establece en el periodo 2011-2015, la producción de zinc en este periodo, se ha visto reducida en un 14% (de 102 a 89 TM), mientras que la producción de plomo ha aumentado 21% (de 19 a 23 TM).

Por estas consideraciones, ha sido necesario optimizar e implementar un sistema de extracción automatizada utilizando sistemas lógicos programables el cual facilita el jalado del mineral del interior de la mina a la superficie, utilizando dos personas para la extracción mecanizada, lo cual es adecuado para poder sacar el mineral sin hacer mayor esfuerzo físico y de esta manera el trabajador tenga mayor comodidad y darle una facilidad para el trabajo y se libera trabajadores que pueden ser dirigidos hacia otras labores; a la par de que se consigue mayor eficiencia en este proceso, haciendo más provechoso al sistema integrado para la extracción. Entonces, se puede entender que el proceso de automatización puede generar un aumento en la eficiencia, explicada como un proceso de optimización de recursos, impulsado por alcanzar una mayor productividad y por el lado de la obtención de una mayor confiabilidad del proceso en su conjunto, pues se reducen drásticamente los fallos humanos y las deficiencias productivas que están asociados a estos.

En este sentido, se puso como alternativa al sistema *Scada* como aquel que permite la automatización del proceso mencionado anteriormente. De comprobarse ello, podemos establecer que, al tener este tipo de mejora, los costos de extracción del mineral se reducen de manera significativa [5], lo cual es un objetivo muy importante en el entorno actual, relativamente desfavorable para la minería en general y ello conlleva a realizar esfuerzos de todo tipo para obtener ventajas en un mercado cada vez más competitivo.

Bajo esta idea se plantean los siguientes problemas a fin de dar inicio a esta investigación.

1.1.1. Planteamiento del problema

Realizar la optimización del sistema de izaje en Winche Esperanza mediante una automatización del *Loading Pocket* Nv. 250 y la comunicación integrada en la Minera Animon de Cerro de Pasco.

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿Influye la automatización del sistema de izaje *Loading Pocket* Nv. 250 a la optimización y confiabilidad del proceso en Winche Esperanza?

1.1.2.2. Problemas específicos

¿Influye la automatización del sistema de izaje *Loading Pocket* Nv. 250 a la optimización del proceso en Winche Esperanza?

¿Influye la automatización del sistema de izaje *Loading Pocket* Nv. 250 a la confiabilidad del proceso en Winche Esperanza?

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo general

Determinar la influencia de la automatización del sistema de izaje *Loading Pocket* Nv. 250 sobre la optimización y confiabilidad del proceso en Winche Esperanza.

1.2.2. Objetivos específicos

Determinar la influencia de la automatización del sistema de izaje *Loading Pocket* Nv. 250 sobre la optimización del proceso en Winche Esperanza.

Determinar la influencia de la automatización del sistema de izaje *Loading Pocket* Nv. 250 sobre la confiabilidad del proceso en Winche Esperanza.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación social

El presente proyecto de investigación busca mejorar la calidad de entendimiento acerca de los procesos de *winche*, a través del sistema de izaje, por ello la justificación social deriva de la aplicación de esta automatización, para reducir las posibles fallas y peligros a los trabajadores de la minera. Esto es necesario, enmarcado en el actual régimen de salud y seguridad ocupacional, con el cual se protege con mayor amplitud a los integrantes de este sector, sobre todo cuando la inversión para esta automatización mejoran los ingresos, alineando los intereses pecuniarios de la empresa con la seguridad para sus trabajadores.

1.3.2. Justificación técnica

En base a lo encontrado, se puede establecer que la investigación propone un rango adicional de productividad y menor tasa de paro a partir de la automatización de una parte del sistema de izaje, por tanto, esto sirve como una referencia técnica para otras empresas mineras que tengan un problema similar y deseen entender los principios contra los cuales tengan que lidiar. De esta manera, se pueden entender los beneficios de hacer uso de la automatización para mejorar la optimización y confiabilidad de la extracción de

minerales en base a lo que se encuentre en la Mina Animon Chungar.

1.3.3. Justificación económica

Dada la cuestión económica, la Minera Animon Chungar, hace uso de todo tipo de medidas para poder reducir costos y asegurar la producción de su centro. En este sentido, el proceso de automatización tendrá como principal función reducir las paradas de mantenimiento y tiempo de producción como también del personal, todo esto se refleja en la reducción de costos, ampliando los márgenes de ganancia en este proceso.

1.3.4. Importancia

La importancia de la presente investigación radica en la mejora de los procesos productivos dentro de un entorno minero; el cual, se hace intensivo en capitales para los proyectos de exploración, compra de maquinarias, levantamiento del asentamiento minero, entre otros gastos adicionales. Sin embargo, la intuición muestra que hay un serio sobre costo en los primeros momentos de la extracción, con lo cual se ve reducida la vida útil de las maquinarias, haciendo ineficiente el uso de los recursos disponibles para la extracción. Se puede notar que hay proyectos mineros en los que se invierten grandes cantidades de dinero y que luego tienen como principal reto obtener un nivel de productividad lo bastante alto para poder sostener el proyecto a largo plazo.

Es así que la mejora de los procesos productivos esta enlazado intrínsecamente con la sostenibilidad del propio proyecto, de una forma analítica podemos inferir que, si se empieza a hacer mejoras en cada una de las partes del proyecto, esto a la larga producirá un impacto positivo sobre el proyecto en su conjunto. Tal como se ha establecido, la automatización propuesta, de tener éxito, podría dar resultados importantes sobre la productividad, la cual se entendería desde los conceptos de optimización y confiabilidad del sistema de

izaje *Loading Pocket* Nv. 250. Dado este entendimiento, la importancia más clara es la de dar información precisa y estadísticamente confiable acerca de la extracción de mineral, disminuir los tiempos de parada, programar los mantenimientos preventivos y supervisar los parámetros del winche Esperanza, así como la producción en tiempo real, a través del cambio de un proceso manual a la implementación de un sistema *Scada*.

1.3.5. Datos de la empresa

La Compañía Minera Volcan S.A. es una empresa minera que se establece en el Perú hace ya más de 70 años, con fecha de operaciones iniciales en 1943, la empresa inicia en las minas cercanas a Ticlio, en la sierra entre Junín y Lima, para luego seguir con su producción por Yauli, en la región Junín y en la región Cerro de Pasco, en las localidades de Alpamarca, Chungar y el propio Cerro de Pasco. De los minerales que explota esta empresa destacan la producción de zinc, la producción de plata y la de plomo como las de mayor trascendencia; mientras que, por otro lado, la empresa tiene bien ganada la reputación de tener uno de los costos de extracción de mineral más bajos a nivel del sector. Esta reputación se debe al formidable mineral que aún se mantiene en reserva dentro de sus depósitos comprobados.

Tal como se ha establecido, los distritos mencionados son parte de las unidades operativas de esta empresa, la cual cuenta con un total de 12 establecimientos mineros, 7 plantas que tienen la función de concretar el mineral y una planta de lixiviación.

El proceso de expansión de la compañía minera Volcan es constante, gracias a la carta de proyectos que maneja, además de poder hacer una serie de modificaciones y mejoras a sus propias plantas, con lo cual genera mayor eficiencia en sus procesos y, por otro lado, tiene proyectos de exploración minera que pueden ampliar el tamaño de las reservas probadas que tenga esta empresa.

Bajo el mando de Volcan, la empresa administradora Chungar S.A.C. es la encargada de todo el proceso que se da en esta unidad operativa, la cual vio por conveniente elevar la capacidad eléctrica de la empresa a mediados del año 2009, estableciéndose esta capacidad en 13 MW de potencia instalada para poder realizar labores.

Minera Animon Chungar

Ubicada a 342 kilómetros al este de Lima, la unidad operativa Chungar se encuentra en la región Pasco, esta tiene dos minas subterráneas: Animon e Islay, y una planta concentradora.

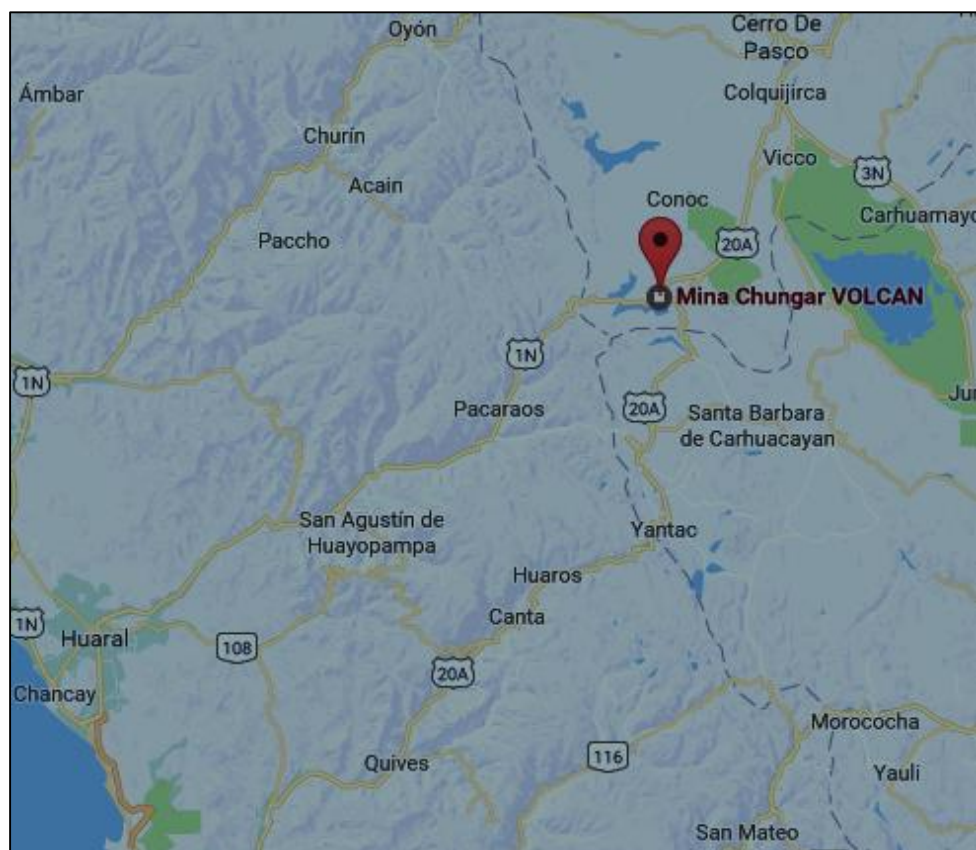


Figura 3: Ubicación Minera Chungar Animon
Fuente: Minera Chungar

Tal como se puede apreciar en la Figura 3, la mina se encuentra cercana a los distritos de Carhuamayo, en la región Junín y Conoc, en la región Pasco. Esto detalla que la mina se encuentra en la

frontera de estas dos regiones. Mientras que se detalla en la figura 4, el centro de operaciones de la mina.

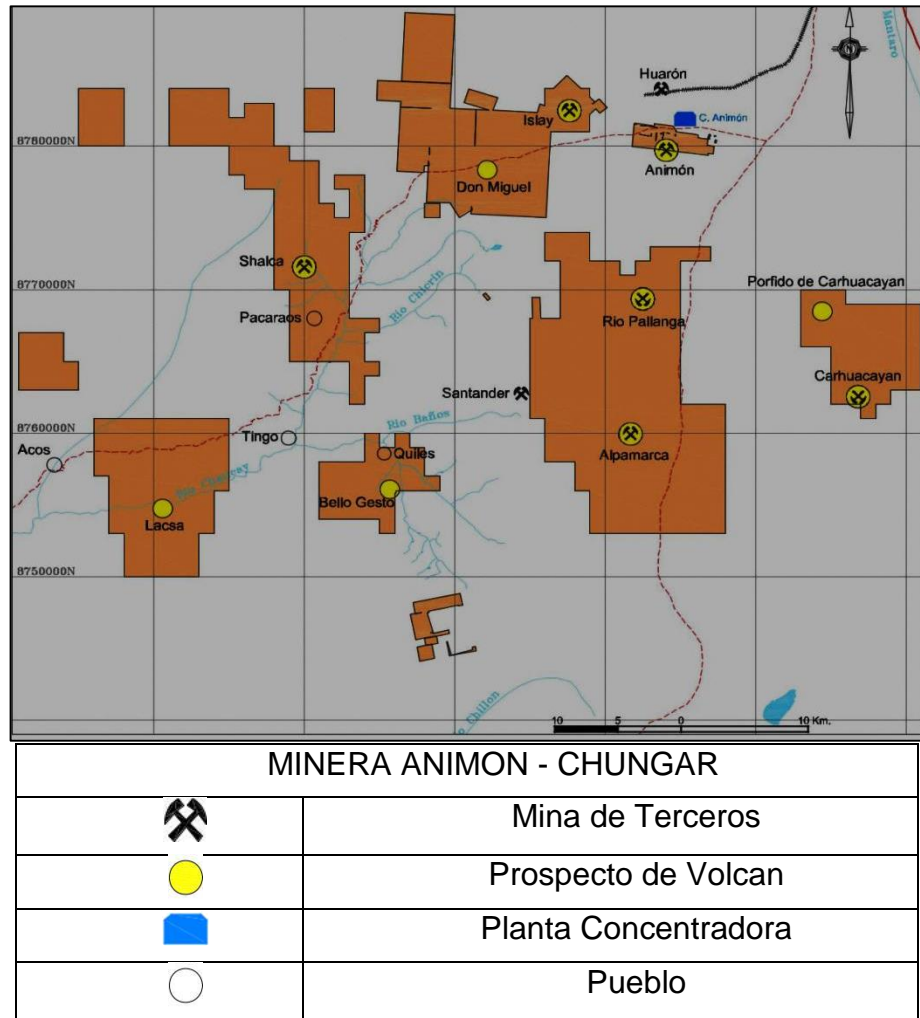


Figura 4: Centro de Operaciones Minera Chungar
Fuente: Minera Animon – Operaciones

Ciclo de transporte en el sistema de extracción del pique

Para este proceso se hará la descripción del ciclo de izado y la secuencia de trabajo del equipo de extracción del nivel 250. El descenso de *skips* mineros vacíos, en la estación superior del pique, el operador del winche esperanza timbrará con dos toques para bajar el *skip* vacío y el que está en el nivel 250 tocará dos timbres para afirmar que puede bajar.

Ciclo de izaje *Loading Pocket* Nv. 250 con tiempos estimados

Ciclo de izaje <i>Loading</i>	Tiempo
Descenso del <i>skip</i> vacío del Nv.650 al Nv.250	00:02:10
Llenado de carga al <i>skip</i> en Nv.250.	00:04:20
Izaje del <i>skip</i> con carga del Nv.250.al Nv.650	00:02:10
Volteo automático del <i>skip</i> con carga a la tolva	00:00:15
Total	00:08:55

Tabla 1: Ciclo de Izaje *Loading*

Fuente: Minera Animon Operaciones – Ciclo de izaje

Control de tiempo de extracción por viaje en el pique

La extracción de mineral es del nivel 250, se han tomado tiempos de cada viaje, que fueron promediados durante un periodo de veinte días, de los cuales se toma tiempo de un viaje, con la finalidad de tener referencia con mayor aproximación de los tiempos de ciclo de izaje *Loading Pocket* Nv 250

Número de viajes	Ciclo de izaje	Número de viajes	Ciclo de izaje
1	00:08:55	11	00:09:10
2	00:08:60	12	00:09:02
3	00:09:00	13	00:08:56
4	00:08:50	14	00:08:58
5	00:08:55	15	00:08:50
6	00:08:53	16	00:09:02
7	00:08:55	17	00:09:00
8	00:08:52	18	00:09:01
9	00:08:59	19	00:08:57
10	00:09:05	20	00:08:52
		Total	00:08:58

Tabla 2: Tiempos del Sistema de Izaje

Fuente: Minera Animon – Tiempos del sistema de izaje

1.4. Hipótesis y descripción de variables

1.4.1. Hipótesis general

- La automatización del sistema de izaje *Loading Pocket* Nv. 250 influye positivamente sobre la optimización y confiabilidad del proceso en Winche Esperanza.

Ho: No hay efecto de la automatización sobre la optimización y confiabilidad del sistema de izaje *Loading Pocket* Nv. 250.

Ha: Hay efecto positivo sobre la automatización, la optimización y confiabilidad del sistema de izaje *Loading Pocket* Nv. 250.

1.4.2. Hipótesis específicas

- La automatización del sistema de izaje *Loading Pocket* Nv. 250 influye positivamente sobre la optimización del proceso en Winche Esperanza.

Ho1: No existe diferencia entre el promedio del proceso manual y automatización de la optimización del sistema de izaje *Loading Pocket* Nv. 250.

Ha1: Existe diferencia entre el promedio del proceso manual y automatización de la optimización del sistema de izaje *Loading Pocket* Nv. 250.

- La automatización del sistema de izaje *Loading Pocket* Nv. 250 influye positivamente sobre la confiabilidad del proceso en Winche Esperanza.

Ho2: No existe diferencia entre el promedio del proceso manual y automatización de la confiabilidad del sistema de izaje *Loading Pocket* Nv. 250.

Ha2: Existe diferencia entre el promedio del proceso manual y automatización de la confiabilidad del sistema de izaje *Loading Pocket* Nv. 250.

1.5. Variables

1.5.1. Variable independiente

- La automatización del sistema de izaje *Loading Pocket* Nv. 250

1.5.2. Variable dependiente

- La optimización y confiabilidad del proceso winche esperanza

1.5.3. Operación de las variables

VARIABLES	TIPO DE VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
La automatización del sistema de izaje <i>Loading Pocket</i> Nv. 250	Independiente	Un cambio a un proceso automatizado para la extracción y movilización de los minerales hacia un sistema de izaje <i>Loading Pocket</i> Nv. 250 en el proceso de winche, que es un componente vital en el equipo de extracción de minerales (zinc y plomo básicamente) de la Minera Animon. mejorar del sistema convencional a automático.	<ul style="list-style-type: none"> - Sistemas de control que pueden suplir las necesidades usando los recursos con alta eficiencia. -Garantizar una productividad continua y al máximo. -Debido a las tendencias de globalización internacional del mercado minero la automatización representa una alternativa bastante considerable. 	<p>Registro del proceso manual comprendido entre agosto y diciembre del año 2016</p> <p>Registro del proceso automatizado comprendido entre enero y agosto del año 2017</p>	Análisis documentario de los procesos productivos del sistema de izaje Nv. 250. Mapeo de componentes electrónicos del sistema automatizado y los reemplazos de acuerdo a las recomendaciones de fabricante.
La optimización y confiabilidad del proceso winche esperanza	Dependiente	Mayor producción y menores tiempos de mantenimientos además de tener mayor disponibilidad mecánica dentro del proceso de winche, de la Minera Animon.	Optimización, maximizar ganancias y minimizar costos utilizando todos los recursos que intervienen de la manera más excelente posible.	Volumen de producción diaria medido por el número de <i>skips</i> /guardia promedio del sistema de izaje.	Análisis documentario de los procesos productivos del sistema de izaje Nv. 250, reportes diarios de los operadores
			Confiabilidad, prevenir o minimizar frecuencia de fallas en los procesos.	Disponibilidad mecánica del sistema de izaje.	Análisis documentario de los mantenimientos correctivos reportados por el personal mantenedor.

Tabla 3: operacionalización de las variables

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Nacional

- **Moreno [6]** en la tesis titulada “**Diseño e implementación de un controlador para corte de estratos**” tuvo como objetivo el realizar el diseño de un controlador para el corte de estratos, con la meta establecida de incrementar el detalle de los productos y mantener el nivel de optimización y productividad laboral en la Planta de Laminación N° 2 de la Corporación Aceros Arequipa. Esto se detalla en el entorno de un proceso manual en el área de acabados de la mencionada planta, lo cual termina por ser contraproducente pues por fallas netamente humanas se tiene distorsión en cuanto al tamaño de los productos que resultan de esta área, aumentando el valor de costos por maquinaria y mano de obra. Mediante el proceso planteado se mejoró sustancialmente el registro de productos sin fallas, generando así un ahorro sustancial y mayor productividad, además de reducir las paradas por cuestiones de falla humana.
- **Burga [7]** realiza una investigación sobre la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción, la misma que se

desarrolló inicialmente con la identificación de problemas o indicadores neurálgicos que obstaculizan la maximización de la función de los motores a gas de dos tiempos mediante un análisis de modo, fallas, causas y efectos; seguidamente a este diagnóstico se implantó la criticidad para cada una y el impacto en las metas de producción, mantenimiento, salud y medio ambiente; de esta forma se implementó estrategias de mantenimiento para la eliminación de las causas de las fallas identificadas a efectos de mejorar la confiabilidad operacional.

2.1.2. Internacional

- **Lee Ming Jie, [8]** en su tesis “**Implementación de Planta de Miniautomatización UMP Parte 1-Calefactor**”, estudia los PLC OMRON CJIM-CPU12 y la unidad de control de temperatura CJ1W-TC001 con el propósito de describir la implementación del diseño del controlador PID basado en el controlador lógico programable (PLC) para controlar el tiempo para calentar una solución particular a una temperatura deseada, Se detectó que la miniplanta de automatización UMP que participa en este proyecto se encontraba inicialmente en mal funcionamiento, por lo que volver a su estado funcional original se establece en la prioridad principal de esta investigación y seguido por el análisis de detalles PID del tanque de calefacción (tanque 2) de la miniplanta de automatización UMP. Los objetivos de este proyecto fueron la de asegurar que la miniplanta pueda volver a funcionar al final de este proyecto e implementar PID en el tanque de calefacción, analizar y obtener la mejor constante de afinación para permitir que la miniplanta trabaje en óptimas condiciones. Finalmente, para agregar algunas nuevas características al programa existente del PLC y de la pantalla táctil. A partir de ello, se tuvo una mejora sustancial en el tanque de calefacción.

- En la tesis de **Okpanachi [9]** titulada “**Desarrollo de estrategias de control avanzadas para un proceso de laboratorio de 4 tanques**” se trata de desarrollar y probar diferentes estrategias de control para un proceso de laboratorio de cuatro tanques. Su objetivo es comparar los resultados del controlador proporcional integral convencional con una estrategia de control avanzada (*Model Predictive Controller*) en el proceso de laboratorio. El proceso de laboratorio de cuatro tanques es un sistema de control multivariable que consta de cuatro tanques interconectados, dos bombas, dos sensores de nivel y dos válvulas. Se diseña un simulador que es un prototipo del proceso real basado en el modelo no lineal desarrollado a partir de datos físicos sobre el proceso. La dinámica lineal del sistema tiene una transmisión multivariable cero que posiblemente se mueve a lo largo del eje real cambiando la posición de la válvula, dándole los puntos de funcionamiento mínimos de fase y no fase. El controlador integral proporcional y el controlador predictivo modelo han sido implementados para controlar tanto el sistema como el simulador, respectivamente. Se utilizó un estimador de filtro de Kalman para estimar los niveles de los tanques que no se midieron, y estas estimaciones fueron satisfactorias con las mediciones del modelo. Es entonces confiable tener el estimador como una especie de respaldo para situaciones de fallas de sensores. Los controladores se han comparado con respecto a su estabilidad, influencia de las interacciones del proceso y la dinámica que varía en el tiempo. Y el modelo de controlador predictivo se considera más confiable en cuanto a la estabilidad, en la medida en que es difícil de afinar. Los cambios en las variables de entrada son más suaves en MPC. Y es capaz de detectar, corregir los efectos, así como las influencias que surgen de la interacción del proceso. Es una buena tesis de laboratorio

educativo escrita para ilustrar los efectos de los controladores en un proceso multivariable.

- En la tesis de **Granberg [10]** titulada “**Control de un proceso con grandes constantes de tiempo y retardo de tiempo significativo**”, se estudia el control de un sistema de utilidad con grandes constantes de tiempo y retardo de tiempo significativo. La planta de servicios se compone de una turbina de gas con capacidades postcombustión para la producción de vapor de alta presión. El vapor de alta presión se expande a vapor de baja presión con ayuda de las turbinas antes de que se condense o se utilice por el proceso. El problema es controlar la postcombustión basada en el flujo hacia el condensador, lo que implica grandes constantes de tiempo y retardo de tiempo significativo. Un modelo de la planta de utilidad fue desarrollado con la ayuda del *software* Dymola, que puede simular grandes procesos con muchas ecuaciones acopladas. A continuación, se analizaron diferentes métodos de ajuste para controladores PI y PID con ayuda del modelo para investigar las respuestas a cambios de referencia y perturbaciones de carga. Se concluye que el método más fácil para ajustar un controlador es mediante el método Lambda. Sin embargo, las respuestas a los cambios de referencia y la perturbación de la carga son lentas. Se puede utilizar un controlador PID para mejorar el rendimiento y mediante un relé para determinar los parámetros del controlador, se puede diseñar un controlador estable y rápido. La inclusión de un predictor de Smith con el controlador reducirá los problemas de superación/rebase en los cambios de referencia y de perturbación de la carga, pero un buen modelo es necesario para dar un buen rendimiento. La influencia del ruido de medición tiene diferentes efectos en diferentes controladores y se estudió con respecto a la actividad de control. Esto indica que los controladores PID a menudo tienen problemas con el ruido,

especialmente los controladores PID con Smith *predictor*. Por lo tanto, el filtrado de la señal es un factor importante a considerar.

- La tesis de **Rodríguez [11]**, titulada “**Control PID de agua en un tanque**” tuvo como objetivo construir un control PID que fuera capaz de controlar dos tanques de agua. El sistema debía ser capaz de leer un cierto valor, el valor que hablamos es el alto del agua. Allí, el sistema debe llenar el tanque correspondiente con agua, por supuesto, hasta el alto que fue elegido. Un control PID utiliza los valores esenciales del árbol para poder controlar con precisión, se llaman generalmente: P, I y D. Estos valores se pueden encontrar aplicando algunos procedimientos; en esta tesis se aplicaron dos procedimientos. Así que al final, obtenemos dos valores para cada constante (PID). En esta tesis estos dos valores se comparan con el fin de elegir qué método era el preciso.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1 Sistema de izaje

El sistema de izaje es un elemento importante de un equipo de perforación. Este sistema proporciona un medio por el cual se da movimiento vertical a la tubería que se halla dentro del pozo (bajar y sacar la sarta de perforación y la T.R.). Es decir, es un sistema de elevación de polea grande que se utiliza para bajar y elevar el equipo dentro y fuera del pozo. En particular, el sistema de elevación se utiliza para elevar y bajar la cadena de perforación y la envuelta dentro y fuera del pozo. Las partes componentes del sistema de elevación se muestran en la figura 3. El dibujo consiste en un tambor giratorio grande, alrededor del cual se enrolla un cable (línea de perforación). El tambor de las estiradoras está conectado a un motor eléctrico y sistema de engranajes. El taladrador controla los dibujos con un embrague y un sistema de engranajes cuando se levanta el equipo fuera del pozo y un freno

(fricción y eléctrico) al correr el equipo en el pozo. La línea de perforación se enrosca sobre un conjunto de poleas en la parte superior de la torre, conocido como el bloque de la corona y hacia abajo a otro conjunto de poleas conocido como el bloque de desplazamiento. Un gancho grande con un dispositivo de bloqueo de cierre rápido se suspende del bloque de desplazamiento. Este gancho se utiliza para suspender la cadena de perforación. Un conjunto de abrazaderas, conocidas como elevadores, que se utilizan al correr o tirar de la sarta de perforación o de la envoltura dentro o fuera del orificio, también están conectadas al bloque de desplazamiento.

Los principales componentes de este sistema son:

- Mástil y subestructura.
- El malacate.
- La corona y la polea viajera (sistema de poleas).
- El cable de perforación.
- Equipo auxiliar tal como elevadores, gancho, etc.

Después de haber revisado la línea de perforación alrededor del bloque de la corona y el bloque que viaja, un extremo de la línea de perforación se asegura a un punto de ancla algo debajo del piso de la plataforma. Dado que esta línea no se mueve se llama el plazo. El otro extremo de la línea de perforación se enrolla sobre los rodamientos y se denomina línea rápida. La línea de perforación es generalmente colocada alrededor de los bloques varias veces. La resistencia a la tracción de la línea de perforación y el número de veces que se recorre a través de los bloques dependerá de la carga que debe soportar el sistema de elevación. Se puede ver en la figura 5 que la carga de tracción (lb) en la línea de perforación, y por lo tanto en la línea rápida F_f y la línea muerta F_d en un sistema sin fricción, se puede determinar a partir de la carga

total soportada por las líneas de perforación W (libras) y el número de líneas.

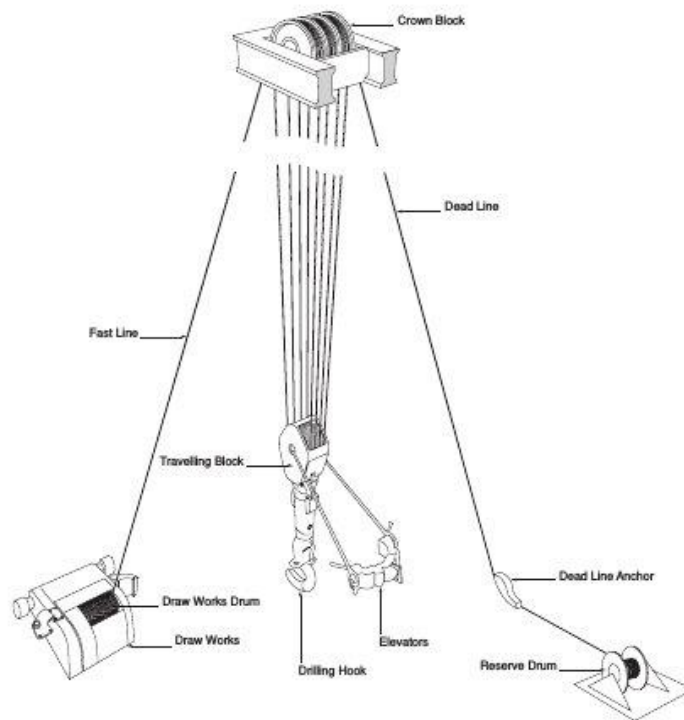


Figura 5: Sistema de izaje.

Ahora bien, el diseño del pique inclinado y el cálculo del cable y del winche eléctrico de izaje óptimo a utilizar, conforme a la exigencia de producción. Tal como lo menciona Colón [12], todas estas medidas tienen como propósito final constituir el ciclo de trabajo del sistema de elevación de forma total.

El diseño del sistema de izaje y transporte está supeditado a los requerimientos de producción y trabajos de preparación y desarrollo de labores establecidos en las metas físicas de acuerdo al plan anual de trabajo de las mineras.

2.2.1.1 Transporte en el sistema de izaje

La extracción comprende de trabajos en las estaciones del pique inclinado en los dos niveles, se tiene como transporte principal en interior de mina a los volquetes de 20 TM que extraen el mineral de los tajos de los niveles inferiores

alimentados por *scooptrams* de 6 y 7 yardas, tanto la carga sea de mineral o desmonte se tiene 2 *pockets* en el Nv 250 es ahí donde los volquetes acumulan la carga para que luego el sistema de *Loading Pocket* acumule a los 2 *skips* ubicados en los *chuts* para luego ser izado por el winche esperanza.

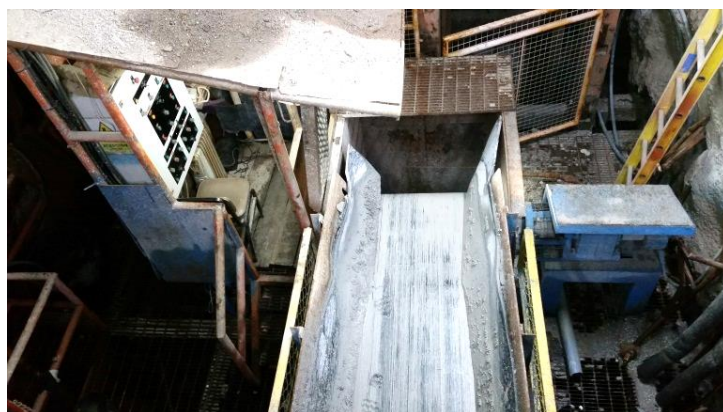


Figura 6: *Loading Pocket* Nv 250 *Poquet* Esperanza

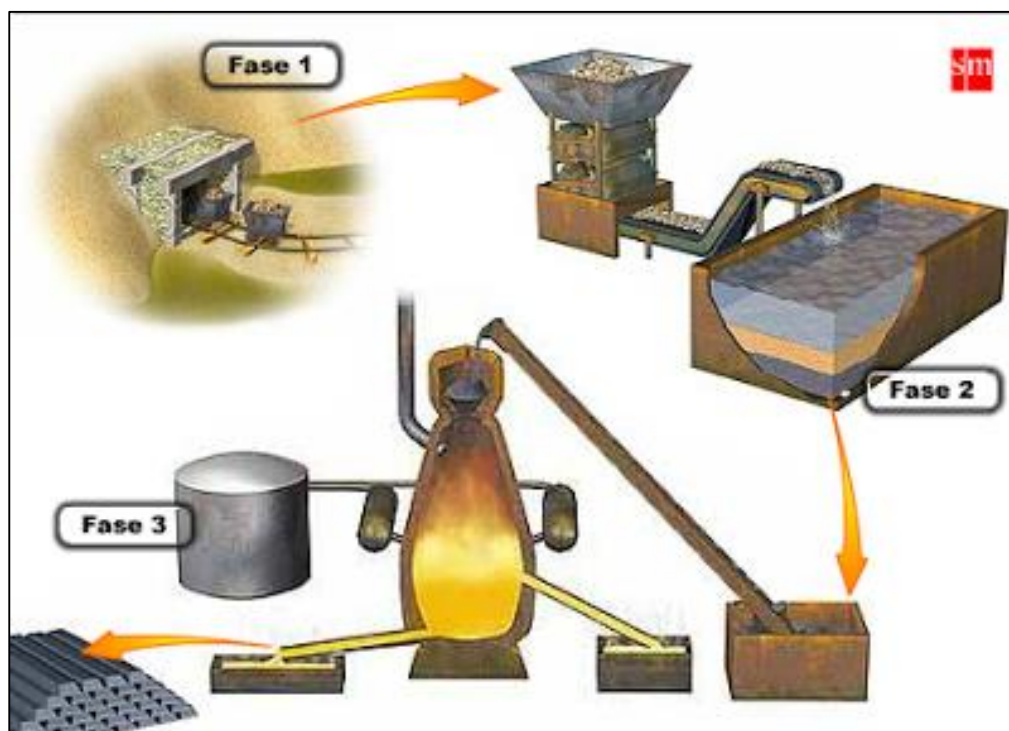


Figura 7: Proceso de extracción de minerales
Fuente: Minera Cerro Verde – Presentación de extracción

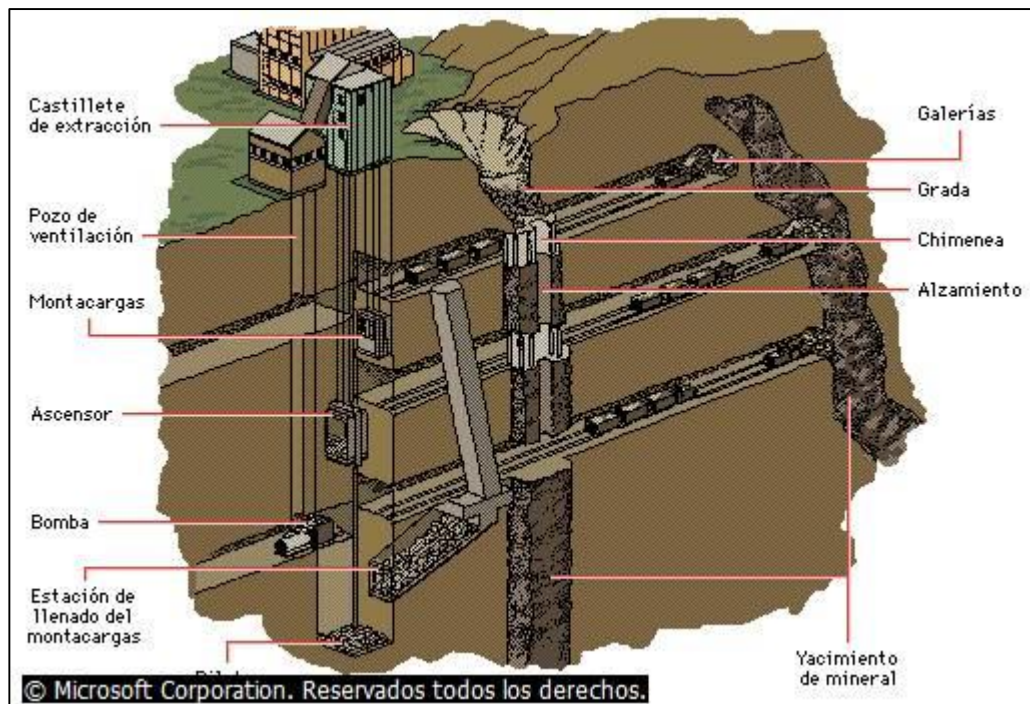


Figura 8: Yacimiento de mineral

El sistema de *Loading Pocket*, ingresa en la etapa de estación de llenado de montacargas como se indica en la imagen, en este caso la extracción de mineral desde la acumulación se realiza con los equipos diésel y volquetes acumulando en los echaderos de mineral y desmonte; estos a su vez, son acumulados en las tolvas para ser extraídos por el sistema de *Loading Pocket* [13], que mediante fajas traque se realiza cuando el yacimiento puede ser explotado en la superficie según su clasificación de extracción.

2.2.1.2 Parámetros del sistema de izaje

ITEM	DESCRIPCIÓN	ABREV	CANT	UNID
1	Operación en balancín			
2	Profundidad	(O)	400	Mt
3	Carga útil del <i>skip</i>	(SL)	4.5	Tn
4	Peso del <i>skip</i>	(SW)	2.5	tn
5	Capacidad de izaje		135	ton/hr
6	Tiempo de aceleración	AT	10.38	sec.
7	Tiempo de desaceleración.	DT	10.38	sec.
8	Tiempo muerto (<i>rest time</i>)	(RT)	20	Sec
9	Eficiencia <i>Esacele</i> – Eléctrica	®	78%	
10	Tipo de cable		1.1/4	pulg.
11	Peso unitario del cable	(Rw)	3.9	lb/ft..
12	Peso total del cable suspendido	®	7318.9	lb.
13	Velocidad del cable	(V)	22.83	ft/sec.
14	Acelerador y desacelerador	(A= O)	2.2	ft/sec ² .
15	Tiempo a velocidad constante	(TFS)	71.81	sec.
16	Tipo de motor	inducción		AC/DC

Tabla 4: Tabla de parámetros de sistema de izaje

2.2.1.3 Winche de izaje

El winche de izaje, bajo el principio de la polea, tiene como finalidad realizar procesos de transporte vertical. Así, esta máquina tiene la capacidad para usarse en el transporte de carga pesada en la mina; sin embargo, no solo puede transportar minerales, sino que también puede hacer lo propio con el personal encargado, asumiendo que se cumplen los requisitos mínimos de seguridad. Equipos similares de izaje son los elevadores eléctricos de aire o hidráulicos, grúas móviles, puentes-grúa y tecles [14].

2.2.1.4 Componentes de un winche de izaje

A partir de los requerimientos de carga que tenga la extracción minera, un winche de izaje tiene los siguientes componentes:

- Tambora (una o dos).

- Motor.
- Lilly control, frenos, etc.
- Palancas de control.
- Cables.
- Jaula, baldes o *skips*.
- Poleas.
- Estructura de desplazamiento o castillo.

2.2.1.5 Piques

Los piques son todo tipo de transporte que se realiza para mantener un proceso de constante comunicación entre la superficie de la mina y el respectivo espacio perforado. Esto se realiza con el fin de movilizar personal entre estos dos espacios, además de mover material, equipos, desmonte y el mineral. Respecto de la instalación de un pique se debe de hacer un profundo análisis de costos comparativo, tener en consideración la seguridad y el suficiente espaciado para la logística en superficie, tener en cuenta las características del suelo en el cual se pretende construir los espacios, además de contribuir a la facilidad de acceso en la mina. Para su elaboración, los piques primero deben de tener una perforación piloto, para luego ser ensanchados desde la parte inferior de la perforación.

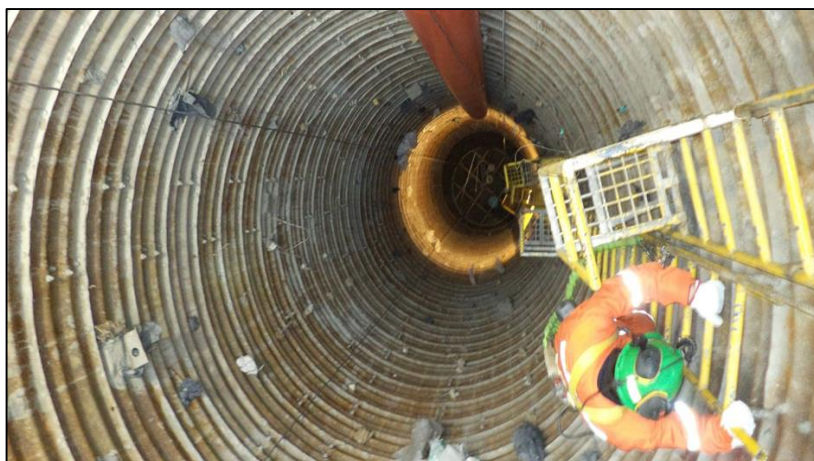


Figura 9: Modelo de un pique en minas

2.2.1.6 Sistema de arranque del winche de izaje

A. PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN:

Los parámetros de producción son un punto de suma importancia para la selección de las potencias de todos los sistemas que intervienen en el izaje y es aquí donde se seleccionan las capacidades de izaje, tiempos operativos, horas de trabajo, ciclo de izaje para un buen desempeño de la wincha en función a la producción diaria.

B. SISTEMA MECÁNICO:

Para la implementación, el sistema mecánico ha sido fabricado por empresas nacional y extranjera teniendo como socios estratégicos a la empresa Graña y Montero y la empresa *Hepburn engineering inc*, esta última de procedencia canadiense.

En el proceso de selección para el cálculo respectivo de la potencia mecánica se tiene que tener en cuenta el *rope pull* del sistema de izaje, el cual contempla:

- Carga útil a izar, con factor de esponjamiento, humedad y carguío.
- Peso del *skips* o balde, contempla pesos de fabricación en función al material utilizado, contemplando reforzamientos de impacto entre el material y el sistema.
- Peso total del cable suspendido, contempla la distancia total del cable multiplicado por su peso de fabricación en libras/metro.

- Fricciones, contempla factores de rozamiento entre el *skips*, guidores y ruedas guía.
- Factor de seguridad.

C. SISTEMA ELÉCTRICO:

Al ser un sistema de izaje por winche que estará ubicado en el interior de la mina, aprovechando la infraestructura del lugar; será necesaria la construcción de ambientes adecuados y entre ellas tenemos a las subestaciones eléctricas ubicadas en puntos estratégicos y equipados.

Para nuestro diseño y en función a los cálculos realizados se contempló una potencia eléctrica tal como sigue:

- SS.EE Principal :2 MVA/22.9 KV -2.3 KV
- Transformador secundario: 1 MVA /2.3KV- 0.660 KV
- Transformador secundario de 0.66 Kv – 0.110 Kv



Figura 10: Transformadores

D. SISTEMA DE FRENOS:

Para seleccionar el sistema de frenos, se contempla la fuerza necesaria para frenar el sistema en toda su capacidad considerando 5 veces el *rope pull*.

Para nuestro sistema se contempló un sistema electro hidráulico para frenar 2 tamboras y 2 frenos de motor tipo *caliper*.

E. SISTEMA CCTV:

El sistema de circuito cerrado de televisión, permite al operador del sistema de izaje, monitorear su equipo en los niveles principales, así como las zonas de carguío y de descarga.

Este sistema está instalado en todo el pique, así como sus sistemas de alimentación de mineral (chancadora, rompe bancos entre otros).

F. POR CONSTRUCCIÓN SOLDADA.

La automatización es un sistema donde se trasfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos.

Un sistema automatizado consta de dos partes principales:

- Parte operativa
- Parte de mando

La Parte operativa es la parte que actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada.

Los elementos que forman la parte operativa son los accionadores de las máquinas como motores, cilindros, compresores, los captadores como fotodiodos, finales de carrera, etc.

2.2.2 Ingeniería de control

La ingeniería de control tiene la finalidad de realizar el manejo automático de un proceso que de otra forma tendría que ser controlado manualmente; para muchas aplicaciones en materia de la ingeniería la automatización es fundamental para asegurar calidad y aumentar eficiencia [15].

Este control automático ejecuta una función importante tanto en el avance de la ingeniería como de la ciencia en sí; debido que el control automático se ha vuelto una parte imprescindible e integral de los procesos modernos industriales y de manufactura. Por su parte los avances en la teoría y la práctica del control automático brindan los medios para obtener el funcionamiento óptimo de sistemas dinámicos, mejora en la calidad y directamente el abaratamiento de costos de producción e incluso reducción de mano de obra, cuya complejidad originaria traía consecuencias en el desarrollo de técnicas dirigidas al proyecto, construcción y procedimiento; de igual manera sea cualquier tipo de control liberan de la complejidad de incontables rutinas de tareas manuales respectivas.

En tal sentido, el sistema de control es dinámico; motivo por el cual la teoría de control matemático es la base del conocimiento que proporciona lineamientos a cualquier sistema automático materia de investigación.

2.2.2.1 Teoría de control matemático

La teoría del control matemático es el área de las matemáticas orientadas a la aplicación que se ocupa de los

principios básicos que subyacen al análisis y diseño del control de sistemas [16]. Controlar un objeto significa influir en su comportamiento para lograr una meta deseada, para implementar esta influencia, los ingenieros construyen dispositivos que incorporan varias técnicas matemáticas. Estos dispositivos van desde *watt's* (gobernador del motor de vapor, diseñado durante la Revolución Industrial) hasta los sofisticados controladores de microprocesadores que se encuentran en artículos de consumo como: reproductores de CD y automóviles o en robots industriales y pilotos automáticos de aviones.

A grandes rasgos, hubo dos líneas principales de trabajo en la teoría del control, que a veces parecen proceder en direcciones muy diferentes, pero que son de hecho complementarias. Una de ellas se basa en la idea de que un buen modelo del objeto a controlar está disponible y que uno quiere de alguna manera optimizar su comportamiento. Por ejemplo, los principios físicos y la ingeniería cuyas especificaciones pueden ser y son- usadas para calcular esa trayectoria de una nave espacial que minimiza el tiempo de viaje total o el consumo de combustible. Las técnicas aquí están estrechamente relacionadas con el cálculo clásico de las variaciones y, otras áreas de la teoría de la optimización; el resultado final es típicamente un plan de vuelo preprogramado. La otra línea principal de trabajo es la basada en las limitaciones impuestas por la incertidumbre sobre el modelo o sobre el entorno en el que el objeto funciona. La herramienta central aquí es el uso de retroalimentación para corregir desviaciones del comportamiento deseado. Por ejemplo, varios controles de realimentación donde se utilizan durante el vuelo espacial real para compensar los errores desde la trayectoria precalculada. Matemáticamente, la teoría de la estabilidad,

la dinámica de sistemas, y especialmente la teoría de funciones de una variable compleja, por lo que han tenido una fuerte influencia en este enfoque. Hoy se reconoce ampliamente que estas dos grandes líneas de trabajo tratan solo con diferentes aspectos de los mismos problemas, por lo que se complementan más que diferencian.

2.2.2.2 Nociones de sistema

Se sabe que es posible describir el comportamiento de varios objetos, naturales o artificiales, por medio de expresiones matemáticas (diferencial o ecuaciones de diferencias) de diversas formas, y con diversas propiedades. La noción de sistema se introduce así para proporcionar herramientas para estudiar una variedad tan amplia de los objetos sobre la base de su descripción matemática, por lo tanto, abstracta. Por lo tanto, por definición, un sistema abstracto es una entidad que no depende de la condición física o propiedades del objeto asociado [16]. Esto implica que es posible asociar el mismo sistema a varios objetos diferentes, y al mismo tiempo se pueden asociar varios sistemas al mismo objeto (dependiendo de las propiedades que tienen que ser investigadas). Subrayamos que la definición de noción abstracta de sistema tiene la ventaja que permite interpretar y estudiar, en un marco unificado, diversos fenómenos y procesos, y proporciona un lenguaje único para varias áreas de aplicaciones. Sin embargo, porque de su generalidad, plantea varias cuestiones difíciles, que pueden ser resueltas o abordadas desde varias perspectivas.

Por lo que la definición de sistema que se basa en la consideración de entrada y salida. Es decir, la manera más

simple de sistema de un objeto es considerar todos los posibles comportamientos (en función de las señales de entrada y de las señales de salida correspondientes). Este enfoque no depende sobre las propiedades físicas de las señales y sobre los mecanismos que determinan señales. En otras palabras, se asume que los objetos bajo estudio son deterministas. Consideraciones similares pueden realizarse en un entorno probabilístico. Sin embargo, estos requieren de herramientas matemáticas algo más sofisticadas.

El proceso de asociación de un sistema a un objeto puede considerarse como datos de experimentos realizados sobre el objeto pensado como caja negra. Los experimentos pueden llevarse a cabo de la siguiente manera: fijar un instante de tiempo inicial t_0 , considerar una posible señal de entrada para todo $t \geq t_0$ y las correspondientes señales de salida. De esta manera recolectamos uno o más pares de funciones, denotadas como pares de entrada-salida, que están definidas para todo $t \geq t_0$. Recolección de todos estos pares tenemos un conjunto de pares de entrada-salida, que se utilizan para obtener la definición del sistema. En particular, si consideramos el conjunto "U" de todas las señales de entrada y el conjunto "Y" de todas las señales de salida, tenemos que todos los pares de entrada y salida determinan una relación "S" tal que:

$$S \subset U \times Y.$$

Esto implica que la forma natural de dar una definición formal del sistema es definir un sistema abstracto como un conjunto de relaciones, donde cada relación describe todos los pares de entrada-salida obtenido a partir de experimentos realizados a partir de un instante de tiempo dado. En particular, considere un subconjunto ordenado T

del conjunto \mathbb{R} , que es el conjunto de instantes de tiempo de interés para el sistema, y definir el subconjunto de instantes de tiempo futuros: $F(t_0) = \{t \in T \mid t \geq t_0\}$; el conjunto $U F(t_0)$ de todas las funciones de entrada definidas para $t \geq t_0$, y el conjunto $Y F(t_0)$ de todas las funciones de salida definidas para $t \geq t_0$. Entonces, se halla una relación:

$$S_{t_0} \subset U^{F(t_0)} \times Y^{F(t_0)}$$

Este, puede usarse para describir todos los experimentos, por lo tanto, todos los pares de entrada-salida, comenzando en t_0 .

De la discusión anterior concluimos que un sistema abstracto puede definirse como el conjunto de todas las relaciones S_{t_0} para todo $t_0 \in T$. Obsérvese sin embargo que los conjuntos S_{t_0} y S_{t_1} , para $t_1 > t_0$ no son independientes, ya que podemos considerar algunos de los pares en S_{t_1} obtenido de los experimentos que comenzaron en t_0 y sin tener en cuenta todos los datos para $t < t_1$. Una definición formal de sistema debe tener en cuenta esta cuestión.

Ahora bien, los sistemas de control en ingeniería se clasifican en sistemas de lazo abierto y lazo cerrado. La distinción la determina la acción de control, que es la que activa al sistema para producir la salida.

Un sistema de **control de lazo abierto** es aquel en que solo actúa el proceso sobre la señal de entrada y da como resultado una señal de salida independiente a la señal de entrada. El control de bucle abierto es, con mucho, el más simple de los dos tipos de teoría de control. En el control de lazo abierto, hay algún tipo de señal de entrada (digital

o analógica), que luego pasa a través de amplificadores para producir la salida adecuada, y luego se pasa fuera del sistema. Los controles de bucle abierto no tienen retroalimentación y requieren que la entrada regrese a cero antes de que la salida regrese a cero.

Un sistema de **control de lazo cerrado** es aquel en el que la acción de control está en función de la señal de salida. Estos sistemas usan la retroalimentación desde un resultado final para ajustar la acción de control. Es decir, en el control de bucle cerrado, el sistema se autoajusta. Los datos no fluyen de alguna manera, pueden retroceder desde un amplificador específico (como velocidad o posición) hasta el inicio del sistema de control, diciéndole que se ajuste en consecuencia. Muchos sistemas físicos son control de lazo cerrado en el nivel más bajo, puesto que los datos sobre la velocidad y la posición actual modifican la salida (también la posición) en la tarifa constante.

Las operaciones de control automático se pueden describir como lazo abierto o lazo cerrado. La diferencia es la retroalimentación:

Podría decirse que la herramienta más ingeniosa de la profesión de ingeniería de control es el bucle de retroalimentación mostrado en el gráfico Bucle de retroalimentación básico. Consta de cinco elementos fundamentales:

- El proceso que se va a controlar
- Un instrumento con un sensor que mide la condición del proceso
- Un transmisor que convierte la medición en una señal electrónica

- Un controlador que lee la señal del transmisor y decide si la condición actual del proceso es o no aceptable
- Un actuador que funciona como el elemento de control final que aplica un esfuerzo correctivo al proceso según las instrucciones del controlador

En un sistema de control de bucle cerrado, la información fluye alrededor de un bucle de realimentación desde el proceso del sensor hasta el transmisor, al controlador, al actuador y de vuelta al proceso. Esta secuencia de medición-decisión-actuación-conocida como control de bucle cerrado se repite tantas veces como sea necesario hasta que se alcanza la condición de proceso deseada. Ejemplos familiares incluyen el uso de un termostato que controla un horno para mantener la temperatura en un cuarto o control de crucero para mantener la velocidad de un automóvil.

Pero no todas las operaciones de control automático requieren retroalimentación. Una clase mucho mayor de comandos de control puede ejecutarse en una configuración de bucle abierto sin confirmación o ajuste adicional. El control de lazo abierto es suficiente para operaciones predecibles como abrir una puerta, arrancar un motor o apagar una bomba.

Control continuo en circuito cerrado: para un proceso continuo, un bucle de realimentación intenta mantener una variable de proceso (o variable controlada) a un valor deseado conocido como punto de ajuste. El controlador resta la última medición de la variable de proceso del punto de consigna para generar una señal de error. La magnitud y la duración de la señal de error determinan entonces el valor de la salida del controlador o de la variable

manipulada que a su vez dicta los esfuerzos correctivos aplicados por el actuador.

Por ejemplo, un coche equipado con un control de crucero utiliza un velocímetro para medir y mantener la velocidad del coche. Si el automóvil está viajando demasiado lentamente, el controlador ordena al acelerador que suministre más combustible al motor. Si el vehículo está viajando demasiado rápido, el controlador deja de funcionar en el acelerador. El coche es el proceso, el velocímetro es el sensor, y el acelerador es el actuador.

La velocidad del coche es la variable del proceso. Otras variables comunes del proceso incluyen temperaturas, presiones, caudales y niveles de tanque. Estas son todas las cantidades que pueden variar constantemente y se pueden medir en cualquier momento. Los actuadores comunes para manipular tales condiciones incluyen elementos de calefacción, válvulas y amortiguadores.

Control discreto de lazo cerrado: para un proceso discreto, la variable de interés se mide sólo cuando se produce un evento de disparo y la secuencia de medida-decisión-actuación se ejecuta típicamente una sola vez para cada evento. Por ejemplo, el controlador humano que conduce el coche utiliza sus ojos para medir los niveles de luz ambiente al comienzo de cada viaje. Si decide que está demasiado oscuro para ver bien, enciende las luces del coche. No se requiere ningún ajuste adicional hasta el siguiente evento de activación, tal como el final del viaje.

Los bucles de realimentación para procesos discretos son generalmente mucho más simples que los bucles de control continuos, ya que los procesos discretos no implican tanta inercia. El conductor que controla el coche

obtiene resultados instantáneos después de encender las luces, mientras que el control de cruceo ve resultados mucho más graduales, como el coche que lentamente se acelera o se ralentiza.

La inercia tiende a complicar el diseño de un circuito de control continuo, ya que un controlador continuo normalmente necesita tomar una serie de decisiones antes de que los resultados de sus esfuerzos anteriores sean completamente evidentes. Tiene que anticipar los efectos acumulativos de sus esfuerzos correctivos recientes y planificar los esfuerzos futuros en consecuencia. Esperando a ver cómo cada uno resulta antes de intentar otro, ya que simplemente toma demasiado tiempo.

Por su parte en el **control de lazo abierto**; los controladores de bucle abierto no utilizan retroalimentación *per se*. Aplican un solo esfuerzo de control cuando así se comanda y asumen que los resultados deseados serán alcanzados. Un controlador de lazo abierto puede medir los resultados de sus comandos: ¿la puerta se abrió?, ¿empezó a actuar realmente el motor?, ¿está la bomba realmente apagada? Generalmente, estas acciones son para consideraciones de seguridad y no como parte de la secuencia de control.

Incluso los controladores de realimentación de circuito cerrado deben operar en un modo de bucle abierto en ocasiones. Un sensor puede fallar al generar la señal de realimentación o un operador puede asumir el control de la operación de realimentación para manipular manualmente la salida del controlador.

Generalmente se requiere intervención del operador cuando un controlador de realimentación no puede mantener un control de bucle cerrado estable. Por ejemplo, un controlador de presión particularmente agresivo puede sobrecompensar una caída en la presión de línea. Si el controlador se sobrecompensa por su sobrecompensación, la presión puede terminar más baja que antes, luego más alta, incluso más baja, incluso más alta, etc. La forma más sencilla de terminar tales oscilaciones inestables es romper el bucle y recuperar el control manualmente.

También hay muchas aplicaciones donde operadores experimentados pueden hacer correcciones manuales más rápido de lo que puede hacer un controlador de realimentación. Usando su conocimiento del comportamiento pasado del proceso, los operadores pueden manipular las entradas del proceso ahora para alcanzar los valores de salida deseados más adelante. Un controlador de realimentación, por otro lado, debe esperar hasta que los efectos de sus últimos esfuerzos sean medibles antes de que pueda decidir sobre la siguiente acción de control apropiada. Los procesos predecibles con constantes de larga duración o tiempos muertos excesivos son particularmente adecuados para el control manual de lazo abierto.

El principal inconveniente del control de lazo abierto es una pérdida de precisión. Sin retroalimentación, no hay garantía de que los esfuerzos de control aplicados al proceso realmente tengan el efecto deseado. Si la velocidad y la precisión son necesarias, se puede aplicar simultáneamente el control de bucle abierto y de bucle cerrado utilizando una estrategia de retroalimentación. Un controlador retroalimentador utiliza un modelo matemático

del proceso para realizar sus movimientos de control iniciales como lo haría un operador experimentado. A continuación, mide los resultados de sus esfuerzos de bucle abierto y hace correcciones adicionales según sea necesario, como un controlador de retroalimentación tradicional.

La retroalimentación es particularmente útil cuando los sensores están disponibles para medir una perturbación inminente antes de que llegue al proceso. Si sus efectos futuros sobre el proceso pueden predecirse con precisión con el modelo de proceso, el controlador puede tomar acciones preventivas para contrarrestar la perturbación a medida que se produce.

Por ejemplo, si un automóvil equipado con control de crucero y radar puede ver una colina que viene, podría comenzar a acelerar incluso antes de que comience a disminuir la velocidad. El coche no puede llegar a la velocidad deseada cuando sube la colina, pero incluso ese error puede ser eliminado por el algoritmo de control de realimentación normal del controlador de crucero. Sin el aviso previo proporcionado por el radar, el controlador de crucero no sabría que la aceleración es necesaria hasta que el coche ya había ralentizado por debajo de la velocidad deseada hasta la mitad de la colina.

Finalmente hallamos al **control On/Off** donde, para equipos de dos posiciones, como válvulas de abierto o cerrado. El controlador On/Off tiene dos salidas que son, una para máxima apertura y otra para apertura mínima, o sea cierre. En algunos sistemas se determina que cuando la medición cae debajo del valor de consigna, la válvula debe abrirse, en tal caso, la salida del controlador será del

100%. A medida que la medición cruza el valor de consigna, la salida del controlador va hacia el 0%.

La salida del controlador On-Off, o de dos posiciones, solo puede cambiar entre dos valores al igual que dos estados de un interruptor. El controlador no tiene la capacidad para producir un valor exacto en la variable controlada para un valor de referencia dado pues que el controlador produce una continua desviación del valor de referencia.

La acción del controlador de dos posiciones tiene un simple mecanismo de construcción, por esa razón este tipo de controladores es de los de más amplio uso, y comúnmente utilizados en sistemas de regulación de temperatura.

Este ciclo continuará indefinidamente, debido a que el controlador no puede balancear el suministro contra la carga. La continua oscilación puede, o no puede ser aceptable, dependiendo de la amplitud y longitud del ciclo. Un ciclo rápido causa frecuentes alteraciones en el sistema de suministro de la planta y un excesivo desgaste de la válvula. El tiempo de cada ciclo depende del tiempo muerto en el proceso, debido a que el tiempo muerto determina cuánto tiempo toma a la señal de medición para revertir su dirección una vez que la misma cruza el valor de consigna y la salida del controlador cambia. El resultado es que el ciclo ocurre dentro de una banda muy estrecha alrededor del valor de consigna y que el control puede ser muy aceptable si el ciclo no es muy rápido. Sin embargo, si la medición del proceso es más sensible a los cambios, en el suministro, la amplitud y frecuencia del ciclo comienza a incrementarse; en algún punto, el ciclo se volverá inaceptable y alguna forma de control proporcional deberá ser aplicada.

2.2.2.3 Acción proporcional, integral y derivativa (P&ID)

A. Control PID:

El control PID es, con mucho, la forma más común de utilizar la retroalimentación en los sistemas hechos por el hombre. Los controladores PID se utilizan comúnmente en la industria y una gran fábrica puede tener miles de ellos, en instrumentos y laboratorios equipo. En aplicaciones de ingeniería los controladores aparecen en muchas formas diferentes: como un controlador independiente, como parte de la jerarquía, sistemas de control distribuidos o integrados en componentes integrados. La mayoría de los controladores no utilizan la acción derivada. En combinaciones con los controladores que tienen saturaciones de acciones integrales dan lugar a un efecto llamado enrollamiento integral. Este fenómeno que ocurre en prácticamente todo control, los sistemas serán discutidos en profundidad para los controladores PID. [17].

B. Acción de control proporcional:

Es un amplificador con ganancia ajustable, la que reduce el tiempo de subida, incrementa el sobretiro y reduce el error de estado estable, para este tipo de control la relación entre la salida del controlador $u(t)$ y la señal de error $e(t)$ es:

$$u(t) = K_p e(t)$$

donde K_p es la ganancia proporcional.

Si se aplica la transformada de Laplace se obtiene:

$$U(s) = K_p E(s)$$

$$\frac{U(s)}{E(s)} = Kp$$

Si se aplica la transformada Z se obtiene:

$$\begin{aligned} U(z) &= KpE(z) \\ \frac{U(z)}{E(z)} &= Kp \end{aligned}$$

De esta forma, la acción proporcional integral y derivativa son los elementos del control PID. La parte proporcional consiste en el producto entre la señal de error y la constante proporcional como para que hagan que el error en estado estacionario sea casi nulo, pero en la mayoría de los casos, estos valores solo serán óptimos en una determinada porción del rango total de control, siendo distintos los valores óptimos para cada porción del rango. Sin embargo, existe también un valor límite en la constante proporcional a partir del cual, en algunos casos, el sistema alcanza valores superiores a los deseados. Este fenómeno se llama sobre oscilación y, por razones de seguridad, no debe sobrepasar el 30%, aunque es conveniente que la parte proporcional no produzca sobre oscilación. Hay una relación lineal continua entre el valor de la variable controlada y la posición del elemento final de control. La parte proporcional no considera el tiempo, por lo tanto, la mejor manera de solucionar el error permanente y hacer que el sistema contenga algún componente que tenga en cuenta la variación respecto al tiempo, incluyendo y configurando las acciones integral y derivativa.

En el control de procesos la variable que se integra es el error (la diferencia entre PV y SP) respecto del tiempo. Así, el modo integral de un controlador cambia la salida ya sea hacia arriba o hacia abajo en el tiempo en respuesta a la cantidad de error existente entre PV y SP, y el signo de este error. La razón de esta acción de cambio es para incrementar o disminuir el valor de la salida tanto como sea necesario para eliminar completamente cualquier error y forzar a la variable de proceso a ser igual al *set point*.

A diferencia de la acción proporcional, la cual simplemente mueve la salida en una cantidad proporcional entre cualquier cambio de PV o SP, la acción de control integral no para de mover la salida hasta que todo el error haya sido eliminado. La acción integral se define por el error diciéndole a la salida cuán rápido moverse.

El elemento final del control PID es el término “D” que es la acción derivativa. La función de la acción derivativa es mantener el error al mínimo corrigiéndolo proporcionalmente con la misma velocidad que se produce; de esta manera evita que el error se incremente. Cuando el tiempo de acción derivada es grande, hay inestabilidad en el proceso. Cuando el tiempo de acción derivada es mínimo, la variable oscila demasiado con relación al punto de consigna. Suele ser poco utilizada debido a la sensibilidad, al ruido que manifiesta y a las complicaciones que ello conlleva. El tiempo óptimo de acción derivativa es el que retorna la variable al punto de consigna con las mínimas oscilaciones. La salida

de estos tres términos, el proporcional, el integral y el derivativo son sumados para calcular la salida del controlador PID.

Bien, en la acción de control proporcional integral, al igual que el controlador *P-Only*, el algoritmo Proporcional-Integral (PI) calcula y transmite una señal de salida de controlador (CO) cada tiempo de muestreo T, al elemento de control final (por ejemplo, válvula, bomba de velocidad variable). El CO calculado del algoritmo PI está influenciado por los parámetros de ajuste del controlador y el error del controlador, e (t).

Los controladores PI tienen dos parámetros de ajuste para ajustar. Aunque esto los hace más difíciles de sintonizar que un controlador *P-Only*, no son tan complejos como el controlador de tres parámetros PID .

La acción integral permite a los controladores PI eliminar el *offset*, una debilidad importante de un controlador *P-Only*. Por lo tanto, los controladores PI proporcionan un equilibrio de complejidad y capacidad que los convierte en el algoritmo más ampliamente utilizado en aplicaciones de control de procesos.

El algoritmo PI, por su parte mientras que diferentes vendedores lanzan lo que es esencialmente el mismo algoritmo en diferentes formas , aquí exploramos lo que se describe de manera diferente como la forma de posición dependiente, ideal, continua:

$$CO = CO_{bias} + K_C \cdot e(t) + \frac{K_C}{T_I} \int e(t) dt$$

Dónde:

- CO = señal de salida del controlador (la salida de cable)
- CO_{bias} = polarización del controlador o valor nulo; definido por SP - PV
- SP = punto de consigna
- PV = variable de proceso medida (entrada de cable)
- Kc = ganancia del controlador, un parámetro de ajuste
- T_i = tiempo de reposición, parámetro de ajuste

Los dos primeros términos a la derecha del signo igual son idénticos al controlador *P-Only* al que se hace referencia en la parte superior de este artículo.

El modo integral del controlador es el último término de la ecuación. Su función es integrar o sumar continuamente el error del controlador, $e(t)$, con el tiempo.

La función del término proporcional: Al igual que con el controlador *P-Only*, el término proporcional del controlador PI, $K_c \cdot e(t)$, suma o resta del sesgo de CO basado en el tamaño del error del controlador $e(t)$ en cada instante t .

A medida que el t crece o se encoge, la cantidad añadida al sesgo de CO crece o se contrae inmediatamente y proporcionalmente. La historia pasada y la trayectoria actual del error del controlador no tienen influencia en el cálculo proporcional del término.

La función del término integral: mientras que el término proporcional considera el tamaño actual de $e(t)$ solo en el momento del cálculo del controlador, el término integral considera el historial del error, o cuánto y hasta qué punto la variable de proceso medido ha sido desde el punto de ajuste en el tiempo.

La integración es una suma continua: la integración de errores en el tiempo significa que resumimos el historial completo de errores del controlador hasta el momento actual, comenzando desde cuando el controlador se cambió por primera vez a automático.

El error del controlador es $e(t) = SP - PV$. En la gráfica de abajo la suma integral de error se calcula como las áreas sombreadas entre los trazos SP y PV.

La acción integral elimina el desplazamiento: Lo reconocemos desde el controlador *P-Only*:

$$CO = CO_{bias} + K_c \cdot e(t)$$

que CO siempre será igual a CO sesgo a menos que añadir o restar algo de ella.

La única manera en que tenemos algo que añadir o restar del CO sesgo en la ecuación *P-Only* anterior es si $e(t)$ no es cero. $E(t)$ no es constante en cero, entonces PV no es igual a SP y tenemos *offset*.

Sin embargo, con el controlador PI:

$$CO = CO_{bias} + K_c \cdot e(t) + \frac{K_c}{T_I} \int e(t) dt$$

ahora sabemos que la suma integral del error puede tener un valor final o residual después de que una

respuesta esté completa. Esto es importante porque significa que $e(t)$ puede ser cero, pero todavía podemos tener algo que añadir o restar de la CO sesgo para formar la salida final del controlador, CO.

Por tanto, siempre que haya un error (siempre que $e(t)$ no sea cero), el término integral crecerá o disminuirá en tamaño para impactar CO. Los cambios en CO sólo cesarán cuando PV es igual a SP (cuando $e(t) = 0$) durante un período de tiempo sostenido.

En ese punto, el término integral puede tener un valor residual como se acaba de discutir. Este valor residual de la integración, cuando se añade CO sesgo, crea esencialmente un nuevo valor de polarización global que corresponde al nuevo nivel de operación.

En efecto, la acción integral restablece continuamente el valor de polarización para eliminar el desplazamiento cuando cambia el nivel de operación.

Por otra parte, encontramos así mismo, la **acción de control proporcional derivativa**: donde el derivado actúa como freno o amortiguador en el esfuerzo de control. Cuanto más el controlador intenta cambiar el valor, más se contrarresta el esfuerzo. En nuestro ejemplo, la variable se eleva en respuesta al cambio de punto de ajuste, pero no tan violentamente. A medida que se aproxima a la consigna, se instala muy bien con un mínimo de rebasamiento. No se mueve tan rápido como el esfuerzo de PI solamente, pero sin las oscilaciones, la cantidad correcta de acción derivada puede

estabilizar la variable de proceso en el punto de ajuste anterior.

Bob Rice [18], resume los tres elementos: "el término proporcional observa dónde está mi valor actualmente. Integral, mira hacia dónde he estado con el tiempo, y el derivado intenta predecir a dónde voy. El derivado intenta trabajar opuesto de donde el proporcional e integral están intentando conducir el proceso. P y yo estamos tratando de conducir un camino, y D está tratando de contrarrestar eso. El derivado tiene su efecto más grande cuando el proceso está cambiando rápidamente en una dirección. Los términos P e I dicen: "sigue adelante". El derivado lo coge y dice: "vas muy rápido, tienes que frenar".

De esta forma el Modo de control derivado es el tercer modo de control en un controlador PID derivado. El control derivado se utiliza raramente en procesos que controlan, pero se utiliza a menudo en control del movimiento. Para el control de procesos, no es absolutamente necesario; es muy sensible al ruido de medición y hace más difícil el ajuste de prueba y error. Sin embargo, el uso del modo de control derivado de un controlador puede hacer que un bucle de control responda un poco más rápido que con el control PI solo.

El modo de control derivado produce una salida basada en la tasa de cambio del error, produce más acción de control si el error cambia a un ritmo más rápido. Si no hay ningún cambio en el error, la acción derivada es cero. El modo derivado tiene un ajuste graduable llamado "Tiempo Derivativo" (TD). Cuanto

mayor es el tiempo de derivación, más se produce la acción derivada. Un ajuste de tiempo derivado de cero efectivamente y se apaga este modo. Si el tiempo derivado se establece demasiado largo, se producirán oscilaciones y el bucle de control se ejecutará inestable. T_S es el intervalo de ejecución del controlador.

$$D = K_C \times \frac{T_D}{T_S} \times (E_{previous} - E_{now})$$

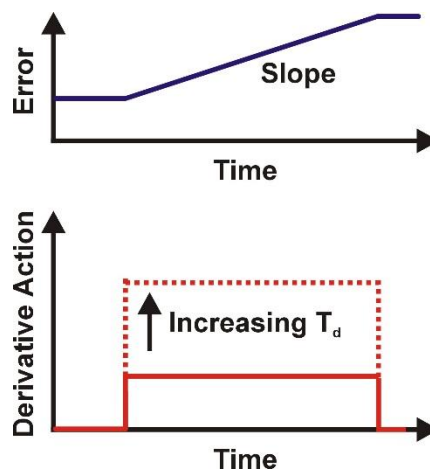


Figura 11: Acción de control derivada

Se usan dos unidades de medida para el ajuste derivativo de un controlador: minutos y segundos

Por su parte el Modo de control proporcional integral derivado: comúnmente denominado regulador PID, la salida del controlador se compone de la suma de las acciones de control proporcionales, integrales y derivadas (Figura 12). Hay otras configuraciones también.

$$CO = K_C \left(E + \frac{1}{T_I} \int E dt + T_D \frac{dE}{dt} \right)$$

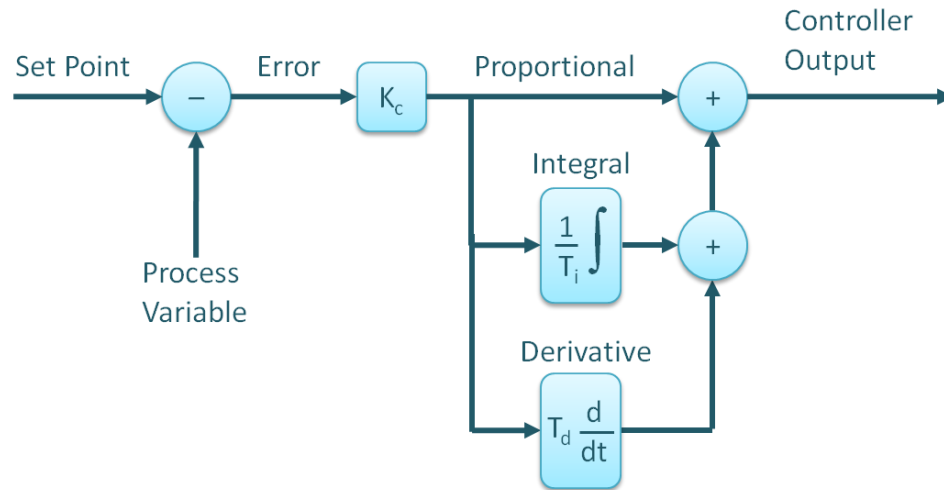


Figura 12: El algoritmo del controlador PID estándar (no interactivo).

El control PID proporciona más acción de control antes de lo que es posible con el control P o PI. Esto reduce el efecto de una perturbación y acorta el tiempo que tarda el nivel en volver a su punto de ajuste.

2.2.2.4 PLC (controlador lógico programable)

Un autómata programable industrial (API) o *Programmable Logic Controller* (PLC), es un equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente de tipo industrial de los procesos secuenciales. Un PLC trabaja en base a la información recibida por los captadores y el programa lógico interno, actuando sobre los accionadores de la instalación.



Figura 13: Equipo – PLC

El PLC por sus especiales características de diseño tiene un campo de aplicación muy extenso. La constante evolución del *hardware* y *software* amplía constantemente este campo para poder satisfacer las necesidades que se detectan en el espectro de sus posibilidades reales. Su utilización se da fundamentalmente en aquellas instalaciones en donde es necesario un proceso de maniobra, control, señalización, etc.; por lo tanto, su aplicación abarca desde procesos de fabricación industriales de cualquier tipo a transformaciones industriales, control de instalaciones, etc.; sus reducidas dimensiones, la extremada facilidad de su montaje, la posibilidad de almacenar los programas para su posterior y rápida utilización, la modificación o alteración de los mismos, etc., hace que su eficacia se aprecie fundamentalmente en procesos en que se producen necesidades tales como: espacio reducido, procesos de producción periódicamente cambiantes, procesos secuenciales, maquinaria de procesos variables, instalaciones de procesos complejos y amplios, chequeo de programación centralizada de las partes del proceso.

Es un equipo electrónico e inteligente. Consta de unidades o módulos que cumplen funciones específicas, las que permiten recibir información de todos los sensores y comandar todos los controladores del sistema, estos equipos tienen las siguientes ventajas:

- Velocidad y confiabilidad
- De tamaño reducido
- Modularidad y flexibilidad
- Facilidad de programación

Un PLC consta de:

- **Fuente** de alimentación: adapta la tensión de la red (220V y 60Hz) a la de funcionamiento de los circuitos internos del autómatas y otras tarjetas.

- **Unidad central de procesamiento CPU:** es el cerebro del controlador, hecho a base de microprocesadores y memorias como las memorias ROM y RAM.

- Módulos de Entrada/Salida

Módulos de entrada y salida discreta: los módulos de entrada discreta son los encargados de leer los datos del proceso de tipo discreto. A estos módulos se conectan pulsadores, interruptores, selectores, finales de carrera, detectores de proximidad, interruptores de nivel, etc. Los módulos de salida discreta convierten las señales procedentes de la CPU y las envían hacia los actuadores. Los actuadores que se conectan a estas interfaces pueden ser: relés, lámparas indicadoras, electroválvulas, displays, etc.

Módulos de entrada y salida analógica: los módulos de entrada analógica tienen como función, digitalizar las

señales análogas para que puedan ser procesadas por la CPU. Se conectan a éstas tarjetas: sensores de temperatura, presión, corriente, velocidad, etc. El tipo de señal puede ser de tensión o de corriente normalizada:

Señal de corriente: 0-20 mA, 4-20mA, ± 10 mA

Señal de tensión: 0-10V, 0-5V, 0-2V, ± 10 V

Los módulos de salida análoga transmiten hacia los actuadores análogos, señales de tensión o de corriente que varían continuamente. El tipo de señal puede ser de tensión o de corriente normalizada:

Señal de corriente: 0-20mA, 4-20mA, ± 20 mA

Señal de tensión: 0-10V, ± 10 V

- **Memorias ROM y RAM:** las memorias ROM (*Read Only Memory*) son memorias de solo lectura, que contiene el sistema operativo con que opera el controlador. Tiene la característica de que no se borra la información contenida. Las memorias RAM (*Random Access Memory*) son memorias volátiles, su información se borra al faltarle corriente. Por lo general en esta memoria se guarda el programa del usuario, que puede ser modificado cuando se requiera.

- **Módulos de memoria adicionales EPROM y EEPROM:** las memorias EPROM (*Enable Programmable Read Only Memory*) es un módulo de memoria no volátil y de solo lectura. Estos módulos son programados electrónicamente, mientras que borrarlos será a través del uso de luz ultravioleta. Las memorias EEPROM tienen las mismas características que el módulo EPROM, con la

diferencia que tanto la escritura como el borrado de la información se hace de manera electrónica.

- **Batería de respaldo:** sabiendo que el contenido de la memoria RAM es volátil, generalmente se salvaguarda mediante una batería de larga duración enchufable en la CPU, por lo tanto, es importante que se mantenga en buenas condiciones.

- **Diálogo Hombre – Máquina:** es la etapa que permite la comunicación entre el operador y el PLC. El dispositivo usado en esta comunicación se denomina terminal de programación.

- **Unidad de programación:** las unidades o terminales de programación, son el medio por el cual el hombre podrá acceder a la escritura, lectura, modificación, monitoreo, forzado, diagnóstico y la puesta a punto de los programas. Estos aparatos están constituidos por un teclado y un visualizador o pantalla.

- **Procesadores de comunicación - DP/PA Couplers:** estos módulos son usados para la comunicación global de datos, las redes de CPU pueden intercambiar datos cíclicamente con cada una de las otras unidades centrales de procesamiento. Existen diferentes tipos de procesadores de acuerdo a los diferentes protocolos de comunicación: *Profibus DP*, *Profibus PA*, *Ethernet*, *Modbus*, etc.

2.2.3 Automatización de procesos:

Se han aplicado muchas nuevas tecnologías al *hardware* de control del uso industrial de las técnicas de automatización que se han desarrollado y madurado en los últimos setenta años. Un ejemplo importante de esto fue la aplicación de computadoras digitales y las

capacidades de los microprocesadores para los años sesenta. Como resultado, la automatización de procesos recibió un especial impulso en la tecnología. Hoy en día, muchas industrias asignan más de 10 por ciento de los gastos de inversión de su planta en instrumentación y control. Este porcentaje se ha duplicado en los últimos treinta años y muestra que no hay signos de disminución.

La teoría subyacente del control automático también se ha desarrollado rápidamente, y se ha creado una firme y amplia base de entendimiento. Las aplicaciones de hoy se basan en esta fundación. Muchas practicas modernas encuentran dificultades; sin embargo, aplicando teorías matemáticas bien definidas del control automático del proceso. Esta dificultad es bastante natural, pero gran parte del problema se debe al hecho de que los maestros no se centran suficientemente en la ilustración de los principios teóricos del día a día en las aplicaciones industriales.

Para entender el control automático de procesos, primero debe fijar en su mente tres términos importantes según Murril [19], que están asociados con cualquier proceso: cantidades, cantidades manipuladas y perturbaciones. Estos se ilustran en la Figura 14. Las cantidades controladas (o variables controladas) son aquellas corrientes o las condiciones que se desea controlar o mantener en algún nivel deseado. Estos pueden ser caudales, niveles, presiones, temperaturas, composiciones u otras variables de proceso. Para cada una de estas variables, el practicante también establece algún valor deseado, también conocido como punto de consigna o entrada de referencia.

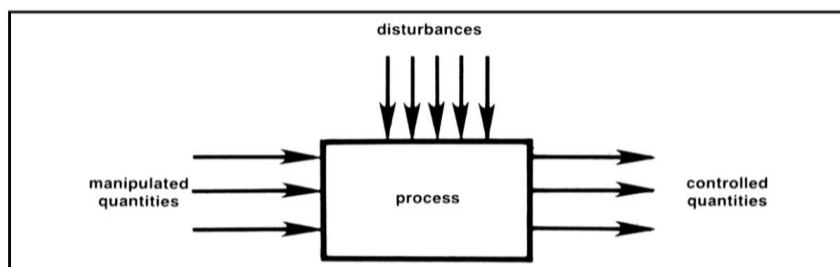


Figura 14: Las variables involucradas en la automatización.

Para cada cantidad controlada, existe una cantidad manipulada asociada o variable manipulada. En el control del proceso esto es generalmente una corriente que fluye, y en tales casos el caudal de la corriente es a menudo manipulado a través del uso de una válvula de control. Las perturbaciones entran en el proceso y tienden a las cantidades controladas o variables controladas lejos de lo deseado, referencia o condiciones de punto de referencia. El sistema de control automático debe ajustar las cantidades manipuladas de modo que el valor del punto de ajuste de la cantidad controlada se mantiene a pesar de los efectos de las perturbaciones. Además, el punto de consigna puede cambiarse, en cuyo contexto las variables manipuladas tendrán que ser cambiadas para ajustar la cantidad a su nuevo valor deseado.

2.2.3.1 Control manual típico

Antes de explicar el control automático de procesos, es útil pasar un momento o dos revisando una operación manual típica. Esto se ilustra en la figura 15, que muestra un proceso con una cantidad controlada. En el arroyo al dejar el proceso, hay un indicador para proporcionar al operador, información sobre el valor real actual de la variable controlada. los operadores pueden inspeccionar este indicador visualmente y, como resultado, manipular un flujo en el proceso para lograr algún valor deseado o establecer punto de la variable controlada. El punto de ajuste esta, por supuesto, en la mente del operador, y el operador toma todas las decisiones de control. los problemas inherentes a una operación manual tan sencilla son evidentes.

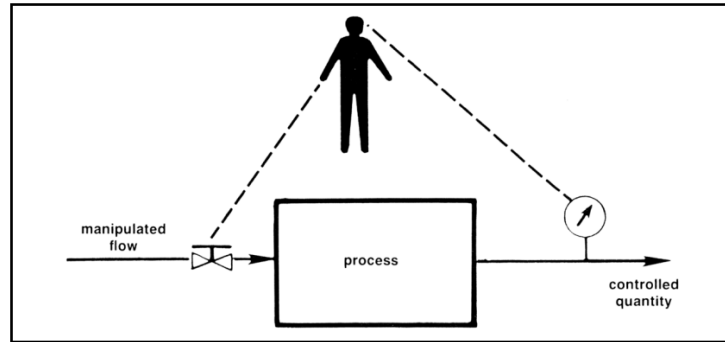


Figura 15: Control manual típico

2.2.3.2 Control de retroalimentación

La manera más simple de automatizar el control de un proceso es a través de control de retroalimentación convencional. Este concepto ampliamente utilizado se ilustra en la Figura 16. Se instalan sensores o dispositivos de medición para medir los valores de las variables controladas. Estos valores reales se transmiten entonces por un *hardware* de control de retroalimentación, y este *hardware* hace comparación entre los puntos de ajuste (o valores deseados) de las variables y los valores medidos (o reales) de estas mismas variables. Basándose en las diferencias ("errores") entre los valores reales y los valores deseados de las variables controladas, el *hardware* de control de realimentación calcula las señales que reflejan los valores necesarios de la variable. Éstos se transmiten entonces automáticamente a los dispositivos de ajuste (típicamente válvulas de control) que manipulan entradas al proceso. La belleza del control de retroalimentación es que el diseñador no necesita saber por adelantado exactamente qué perturbaciones afectarán el proceso y, además, el diseñador no necesita conocer las características cuantitativas relaciones entre estas perturbaciones o sus efectos finales sobre la variable controlada.

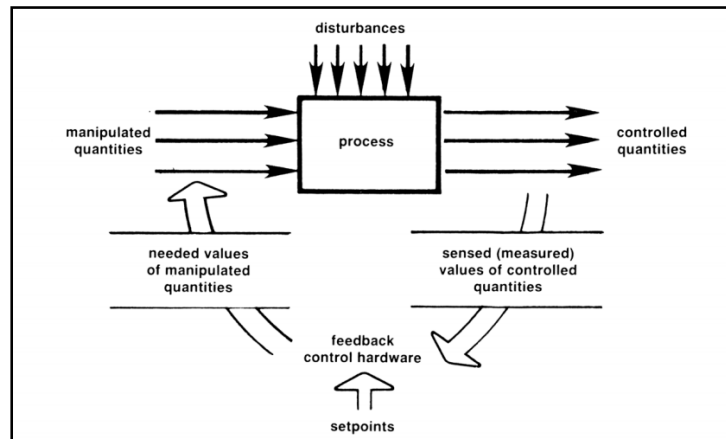


Figura 16. Control de Retroalimentación.

El *hardware* de control se utiliza en un formato estándar, y todos los bucles de control de retroalimentación tienden a reflejar el concepto conceptual general ilustrado en la anterior figura. En una medida muy significativa, esta norma independientemente de la naturaleza específica del proceso o de la controlada involucrada. El *hardware* particular utilizado en un bucle y la coincidencia particular de una pieza de *hardware* a otro es una responsabilidad importante para el diseñador, pero la estrategia de control global es siempre la misma en el control de realimentación. Este control de retroalimentación es la técnica de control de proceso automático más sencilla que puede ser utilizada, y representa la base para la gran mayoría de aplicaciones industriales.

2.2.3.3 Control de avance manual

El control de avance es muy diferente en la concepción de la retroalimentación controlar. Una implementación manual del control avance se ilustra en la figura 17. Cuando una perturbación entra en el proceso, el operador observa una indicación de la naturaleza de la perturbación, y sobre la base de la perturbación el operador ajusta la variable manipulada para evitar cualquier cambio o variación final

en la variable controlada causada por el disturbio. La mejora conceptual ofrecida por el control avance es evidente. El control de realimentación funcionó para eliminar errores, pero el avance de control opera para evitar que se produzcan errores, por lo que su apelación del control anticipado es obvia.

El control de avance aumenta enormemente los requisitos del practicante; sin embargo, el practicante debe saber de antemano qué perturbaciones entrarán en el proceso, y él o ella debe hacer una función adecuada para medir estas perturbaciones. Además, el control operador de sala debe saber específicamente cuándo y cómo ajustar la variable manipulada para compensar exactamente los efectos perturbadores. Si el practicante tiene estas habilidades específicas y si son perfectamente disponibles, entonces la variable controlada nunca variará de su valor deseado o punto de ajuste. Si el operador comete algún error o no anticipa todas las perturbaciones que pudieran afectar el proceso, la variable controlada se desviará de su valor deseado y, en control de avance, un error no corregido existirá.

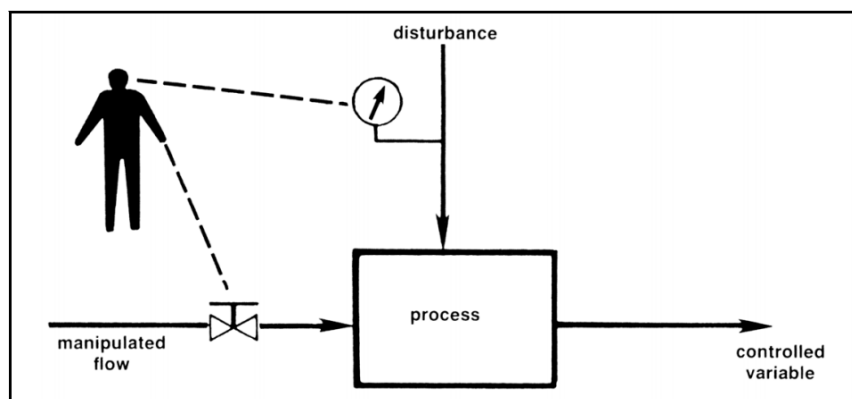


Figura 17. Control de avance manual

2.2.3.4 Control automático avanzado

La figura 18 muestra el marco conceptual general del control previo. Los disturbios son mostrados entrando en el proceso, y los sensores están disponibles para medir estas perturbaciones. Basado en estos sentidos o valores medidos de las perturbaciones, los controladores automáticos avanzados calculan los valores necesarios de las variables manipuladas. Establecer puntos que representan los valores deseados de las variables controladas. Es evidente que los controladores automáticos avanzados deben ser calculados. Estos cálculos deben reflejar una comprensión de los efectos exactos que las perturbaciones tendrán en las variables controladas. Con tal comprensión, el control automático avanzado puede entonces calcular la cantidad exacta de cantidades necesarias para compensar las perturbaciones. Estos cálculos también implican una comprensión específica de los efectos de las variables manipuladas que tendrán sobre las variables controladas. Si todas estas relaciones matemáticas están fácilmente disponibles, entonces los controladores de avance automatizado pueden calcular automáticamente los flujos manipulados que se necesitan para compensar la variación de perturbaciones. La escalada en la comprensión teórica requerida es obvia. El control automático avanzado, aunque conceptualmente más atractivo, hará notar significativamente los requisitos técnicos y de ingeniería del diseñador y profesional. Como resultado, el control automático es usualmente reservado para muy pocos de los bucles más importantes dentro de una planta. Aunque el número de solicitudes es pequeño, su importancia es significativa. Rara vez se encuentra el control de alimentación directa, y es más un proceso para tener

combinados avances automáticos y bucles de control de realimentación.

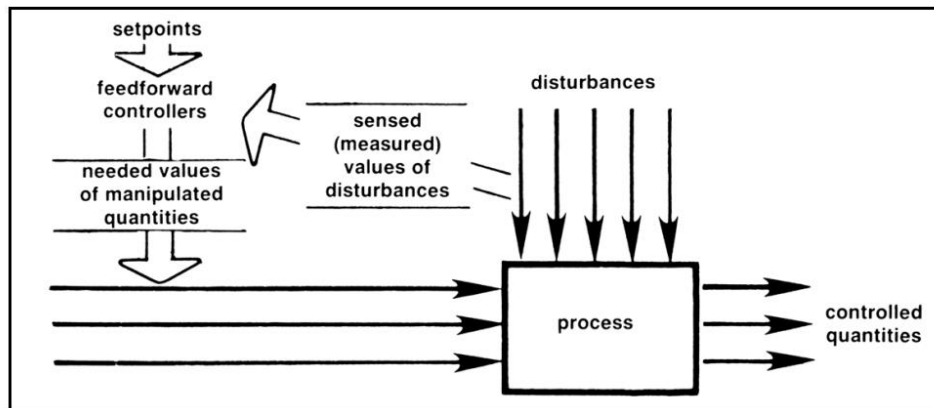


Figura 18. Control automático avanzado

2.2.3.5 Control de procesos y gestión de procesos

La automatización de procesos se utiliza comúnmente para obtener el máximo de rentabilidad de un proceso. En las secciones descritas respecto a este tema había una suposición implícita de que conocíamos los valores deseados (normalmente "Deseado" con el fin de lograr la máxima rentabilidad) para las cantidades. Una vez conocidos estos valores deseados, las técnicas de automatización se aplican para lograr y/o mantener estos valores deseados o puntos de ajuste. Tras la reflexión; sin embargo, se puede ver que algunas de las más significativas preguntas relacionadas con la rentabilidad de un proceso son las que deben ser realizadas para determinar los valores deseados. Este es básicamente la función de supervisión o gestión, y muy a menudo se deja para el operador humano para determinar, pero en los últimos años, con los avances en la automatización de procesos, muchas de estas funciones de gestión se han automatizado y la capacidad de alcanzar soluciones tecnológicas y respuestas de *hardware* para las cuestiones

de gestión es una parte significativa de la escena de control moderno.

En un proceso particular, a medida que aumenta el nivel de automatización, los pasos iniciales implican el uso de control de proceso convencional (como la retroalimentación controlar). Sin embargo, a medida que el nivel de automatización aumenta cada vez más la automatización está asociada con la gestión de procesos. Esto se ilustra en la Figura 19.

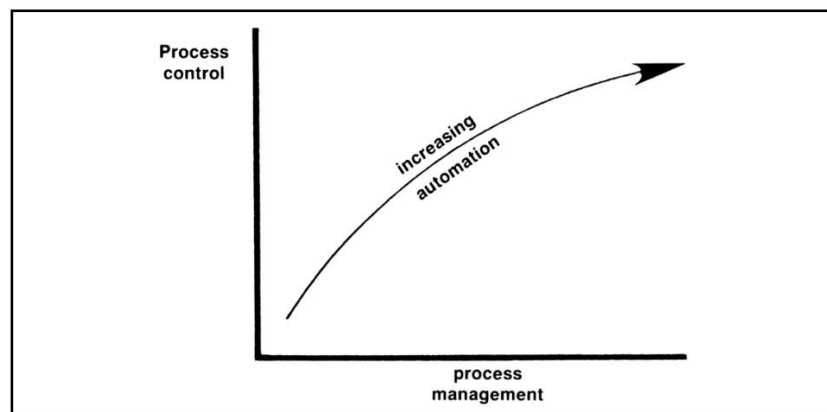


Figura 19. Control de procesos y gestión de procesos.

Bien, hasta aquí se observó la apreciación teórica de Murril [19] acerca de la automatización; sin embargo, también Smith y Corripio [20] hacen referencia al respecto, indicando al igual que Murril, que para la automatización los aspectos básicos son: inicialmente variable controlada, que es aquella que se debe mantener o controlar dentro de algún valor deseado. El segundo es el punto de control, que significa el valor que se quiere que tenga la variable controlada. Por otra parte, la variable manipulada es la que se maneja para mantener a la variable controlada en el punto de control que se desea; en último lugar, cualquier variable que origine que la variable de control se desvíe del punto de control se denomina como perturbación o trastorno; se podría decir que en muchos de los procesos

existe un numero de perturbaciones disímiles; sin embargo, lo importante es comprender que en la industria de procesos, estas perturbaciones son la causa más común de que se requiera el control automático de proceso; si no hubiera alteraciones predominarían las condiciones de operación del diseño y no se requeriría de supervisar frecuentemente el proceso. A su vez no olvidar el concepto de lazo abierto que se explicó líneas arriba, la que hace referencia a la situación en la cual se desconecta el controlador del sistema, y, el control de circuito cerrado que es la situación en la cual se conecta el controlador al proceso; por lo que la finalidad del sistema de control automático de proceso es utilizar la variable manipulada para mantener a la variable controlada en el punto de control a pesar de las perturbaciones.

2.2.3.6 Automatización en el sector minero:

Esencialmente se desempeña en el diseño y mejora de sistemas, las mismas que optimizan la utilización, así como el consumo de recursos. A su vez la utilización de ciertas técnicas colabora en la predicción y prevención de percances técnicos que eventualmente ocasionen daños en equipamiento clave. Pérdida o consumo descomunal de energía.

Para la obtención de dichos resultados (óptimos) se debe realizar la búsqueda de la mejor selección de tecnologías actuales, así como su correcto aprovechamiento. Actualmente, la gran gama de equipos que facilitan el trabajo del operador minero, aunado a la exactitud y precisión han hecho que se brinde confiabilidad al sistema que manejan; en el área de la minería la utilización de los mismos se ha hecho de uso continuo en el control de

presión, temperatura, viscosidad, humedad y flujo de proceso.

La automatización es el nuevo tema candente en la industria minera. Una encuesta reciente realizada por investigadores de Mining IQ [21] revelaron que el 77% de los especialistas en minería piensa que la automatización es una alta prioridad, y el 40% de estos especialistas dice que la automatización es "ahora más importante que nunca". El tema, una indicación del ritmo con el cual las compañías mineras están involucradas en tecnología automatizada y robótica. Pero el tema de la automatización del sitio de la mina suscita controversia, así como la emoción.

Mientras que las compañías mineras están buscando tecnologías de automatización minera para la eficiencia operativa y financiera que ofrecen, los empleados temen ser obsoletos por innovaciones como camiones sin conductor y trenes. El monitoreo y control remoto del equipo permite a los mineros automatizar procesos industriales como voladura, perforación y transporte.

Las eficiencias se obtienen a través de operaciones continuas y consistentes, comunicaciones mejoradas y una infraestructura reducida. Las compañías mineras dicen que la automatización no está eliminando los trabajos, sino creando nuevos y diferentes. Los partidarios sostienen que, si bien las posiciones tradicionales de nivel de entrada y de campo pueden perderse, el personal puede ser cambiado a nuevas funciones de monitoreo y control de los procesos automatizados, es decir, mejora la ratio máquina – hombre.

2.2.4 Confiabilidad:

El mantenimiento centrado en la confiabilidad es una estrategia de mantenimiento a nivel corporativo que se implementa para optimizar el programa de mantenimiento de una empresa o instalación. El resultado final de un programa es la implementación de una estrategia de mantenimiento específica en cada uno de los activos de la instalación. Las estrategias de mantenimiento se optimizan para que la productividad de la planta se mantenga utilizando técnicas de mantenimiento rentables.

Hay cuatro principios que son críticos para un programa de mantenimiento centrado en la fiabilidad.

- El objetivo principal es preservar la función del sistema
- Identificar los modos de fallo que pueden afectar la función del sistema
- Priorizar los modos de fallo y reducirlos
- Seleccione las tareas aplicables y efectivas para controlar los modos de fallo

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) es el proceso de determinar el mantenimiento de enfoque más eficaz. La filosofía de RCM emplea Mantenimiento Preventivo (PM), Mantenimiento Predictivo (PdM), Monitorización en Tiempo Real (RTM1), *Run-to-Failure* (RTF - también llamado mantenimiento reactivo) y Técnicas procativas de mantenimiento de manera integrada para aumentar la probabilidad de que una máquina o componente funcionará de la manera requerida durante su ciclo de vida de diseño con un mínimo de mantenimiento. La meta de la filosofía es proporcionar la función declarada de la instalación, con la confiabilidad requerida y disponibilidad al menor costo. RCM requiere que las decisiones de mantenimiento se basen en el mantenimiento con una sólida justificación técnica y económica.

Para da Costa [22] Un aspecto ventajoso en el mantenimiento centrado en la confiabilidad, es que esta busca inicialmente el uso de las nuevas y mejoradas tecnologías desarrolladas para el campo del mantenimiento. Así, la aplicación apropiada de las técnicas de mantenimiento de acuerdo a esta perspectiva, ayuda que, de forma eficiente se optimice los procesos de producción y a su vez se disminuya al tope los probables riesgos sobre la seguridad personal y el ambiente.

2.2.5 Optimización y productividad:

La dotación geológica finita de recursos mineros hace problemático entender la decisión de producir minerales. La oferta de minerales no es igual a la oferta de productos convencionales alrededor. La oferta minera está sujeta a una restricción de recursos de modo intertemporal [23].

La restricción de recursos hace que la decisión de producción de la empresa minera hoy afecte lo que se pueda decidir producir mañana. Puesto que cada unidad de reserva extraída hoy, significa menos beneficios mañana. En este sentido, las decisiones interrelacionadas a lo largo del tiempo, que de hecho luego están sujetos a las fluctuaciones del mercado internacional de minerales [23].

Bajo esta justificación, el nivel de producción es sustancial mediante el proceso de exploración y desarrollo de investigaciones a fin de obtener nuevas reservas y el agotamiento de las reservas ya existentes.

En este sentido, la idea alrededor es tener la capacidad de producción más alta posible, con el mayor desarrollo de extracción, con la mayor eficiencia posible. Puesto que, de esa manera, se tiene la capacidad de reducir o aumentar la capacidad extractiva a

voluntad, asumiendo que los precios no se ajusten a la capacidad máxima de la unidad minera.

Bajo estos fundamentos se halla la importancia de la supervisión del rendimiento y la productividad, el monitoreo de desempeño integra los datos de los sensores de equipos con variaciones en los costos de operación para cuantificar los efectos de diferentes opciones operativas. Parámetros tales como número de vehículos, distancias de transporte, programación de mantenimiento, horas de funcionamiento, cargas, ángulos de giro, tiempos de ciclo, tamaños de partícula, velocidades, caudales y programación del operador pueden compararse con diversas métricas de productividad tales como mano de obra, mantenimiento, tiempo de inactividad y tasas de producción para ayudar a tomar decisiones informadas sobre la mejor manera de operar una mina en particular o tecnología de producción. El monitoreo de la productividad es particularmente beneficioso para las situaciones en que las operaciones mineras varían con el tiempo debido a la expansión, adición de nueva tecnología o variaciones transitorias en la demanda del producto. Así el aumento de la productividad o su caída depende sustancialmente del nivel de ingeniería de control que tiene la unidad minera.

2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

2.3.1. Automatización

Mecanismo integrado que permite la ingeniería de control en base a sistemas generalmente computacionales a fin de generar mayor eficiencia en el proceso en el que se esté utilizando. Esta automatización mejora en gran magnitud los niveles de control de cualquier proceso y libera gran cantidad de mano de obra, además de disminuir los riesgos asociados a los procesos.

2.3.2. Optimización

En base al análisis de la gestión de recursos de las empresas mineras, la optimización se detalla en tres niveles: el primero, es la generación de la mayor cantidad de renovación de reservas mineras; la segunda, se basa en la escasez de las reservas mineras, las cuales se detallan en la venta de la producción según como se encuentren los mercados asociados a los productos que se extraen en la unidad minera y; por último, la utilización de todos los recursos con los que pueda contar o con los que contará la unidad minera para obtener la mayor cantidad de producción posible. Es el tercer concepto el cual se utiliza en la presente investigación para este detalle.

2.3.3. Confiabilidad

La confiabilidad enmarcada en el programa de mantenimiento centrado es una estrategia a nivel corporativo que se implementa para optimizar el programa de mantenimiento de una empresa o instalación. Uno de los principales fines de este proceso es encontrar el modo de fallo de las principales máquinas y equipos que se encuentran en el proceso y luego tomar acciones para eliminar estos fallos o reducirlos de manera sustancial.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Método, tipo y nivel de la investigación

3.1.1. Método de la investigación

La presente investigación tiene el método científico como general, mientras que hace también uso del método inductivo–deductivo para el proceso de la investigación en base a la inferencia realizada para la búsqueda de solución partiendo de una base teórica y luego generar un diseño tal que pueda ser aplicado a cualquier tipo de situación (con los cambios correspondientes), llevando ello a un aporte general.

3.1.2. Tipo de la investigación

La investigación que se ha realizado es de tipo aplicado, puesto que se hace uso de la referencia teórica y de la literatura actual para poder hacer un planteamiento importante sobre el tema en cuestión.

3.1.3. Nivel de la investigación

Descriptivo-correlacional, pues se determinan y se describen los factores que influyen en la optimización del sistema de izaje para la mejora de extracción de mineral y tiempos del proceso de winche Esperanza, para luego hacer un análisis comparativo, con

el cual se establecerá las diferencias entre un modelo como el planteado y el proceso manual

3.2. Diseño de la investigación

El diseño que se utilizó en el trabajo de investigación es correlacional; de acuerdo a la dimensión: optimización que se analizará, así mismo los indicadores: automatización y productividad operativa.

3.3. Población y muestra de la investigación

3.3.1. Población

Para el estudio de investigación se ha tomado de referencia la Mina Animon – Cerro de Pasco, debido a que en esta unidad minera se trabaja con equipos de extracción de mineral en el cual el sistema de izaje *Loading Pocket Nv 250* es uno de los equipos más importantes de extracción de mineral y es del cual se proporcionará la información necesaria para poder realizar la presente investigación. Bajo esta idea, se tiene la información necesaria para la contrastación de las hipótesis general y específicas que se plantean; para el contraste de las hipótesis específicas es necesaria la información periódica de los reportes del sistema de izaje.

3.3.2. Técnicas e instrumentos de medición

A. Descripción del proceso

En la unidad minera Animon la extracción de mineral se realiza a niveles bajos de la superficie, siendo el transporte del mineral extraído un proceso clave para medir los niveles de producción de la mina y por consecuencia su productividad.

El mineral se extrae en el nivel Nv. 250, el transporte de mineral en ese nivel se hace de manera mecánica y manual donde se divide en 4 etapas:

- *Pocket* NV. 250, en esta etapa se transporta el material de manera mecánica hasta dos depósitos llamados *pockets*. Cada *pocket* tiene una capacidad de almacenamiento de 10TM conteniendo uno mineral y el otro desmonte. Los *pockets* tienen compuertas hidráulicas que activan mediante pistones, estas compuertas permiten la caída del material sobre fajas auxiliares.

- Fajas auxiliares, estas fajas transportan el material de cada *pocket* (mineral o desmonte) hacia una faja principal. Estas fajas tienen una pendiente de 15° y cada una es accionada por un motor delcrosa de 7hp de potencia. Parte del trabajo del motor es causar vibraciones en la faja de tal forma que el material pueda caer sobre ella de forma uniforme para su transporte sobre la faja principal.

- Faja principal, esta faja transporta el material recibido de las fajas auxiliares, es la faja que realiza el mayor recorrido en el transporte del material extraído. Es accionada por un motor Delcrosa de 25hp de potencia, la faja no tiene pendiente alguna. El material es transportado en el nivel NV. 250 hasta llegar a dos almacenes llamados silos, cada silo tiene una capacidad de 15TM, una compuerta hidráulica en la parte superior permitiendo el ingreso del material transportado y una compuerta hidráulica en la parte inferior para la descarga de material. La selección del silo a almacenar se realiza mediante final de faja accionado por un pistón hidráulico.

- Izaje, el material se descarga por la compuerta inferior de los "silos" hacia el "Skip" el cual tiene una capacidad de 4,5TM, este recibe el material para posteriormente ser llevado a la

superficie mediante el “winche Esperanza” que es accionado por un motor de 700hp de potencia. Una vez en superficie el *skip*, el material es almacenado en una tolva de 40TM de capacidad.

Todas las compuertas son electrohidráulicas, son accionadas por pistones y están conectadas a una misma bomba hidráulica. La apertura y cierre de las compuertas, así como el accionamiento de las fajas son realizadas de manera manual mediante el tablero de control y/o controles *in situ* para lo cual se necesitan operadores que visualmente supervisan el proceso comunicándose mediante radio para realizar alguna operación (marcha, parada, accionar compuertas, emergencias, etc.).

B. Filosofía de control

La respuesta visual de los operadores es lenta, la comunicación deficiente, en mucho de los casos equivocada y la precisión de operación del operario mala debido a que los diferentes agentes involucrados no se encuentran sincronizados, no actúan en tiempo real generando retrasos de producción e incluso mala operación que conllevan a paradas del proceso.

Al automatizar un proceso mediante un PLC se tienen múltiples beneficios, los cuales se ven claramente en mejora del proceso (optimización), continuidad del proceso (confiabilidad) y reducción de costos de operación, mantenimiento e incluso menores costos de implementación con un sistema convencional. Todo esto se ve reflejado en un aumento considerable de producción haciendo uso de los mismos recursos.

Un PLC reduce considerablemente el uso de contactores, relés auxiliares, temporizadores, contadores electromecánicos, pulsadores transformadores de aislamiento y dimensiones del tablero de control. Esto representa una ventaja económica frente a sistemas convencionales.

Por lo antes expuesto y haciendo hincapié en las paradas del proceso por errores humanos y de comunicación se opta por automatizar el proceso.

La automatización del proceso es tener una secuencia lógica programada del proceso el cual es operado por una CPU que recibe señales de sensores y realiza operaciones accionando los actuadores de acuerdo a la información brindada por los sensores y su lógica programada.

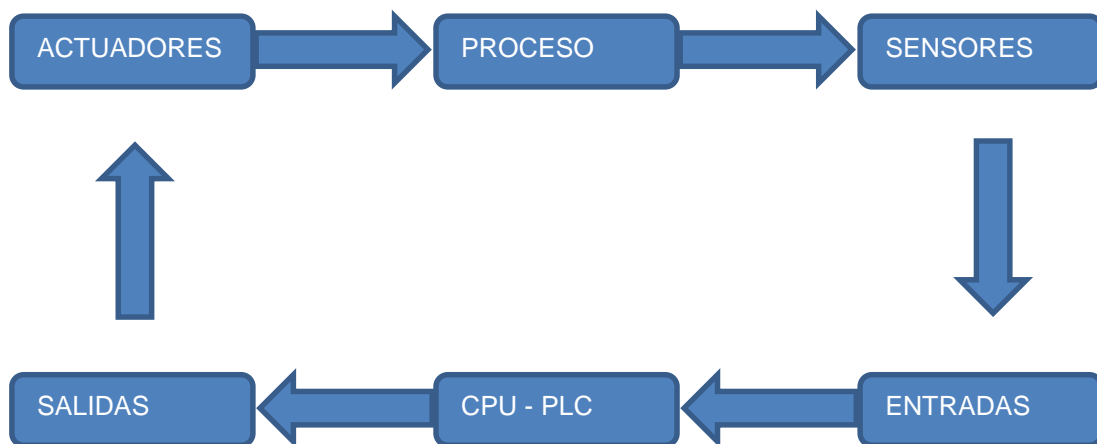


Figura 20: Filosofía de control.

El control en la automatización del proceso es de lazo cerrado teniendo controles secos (On-Off) siendo necesaria solo entradas y salidas digitales del PLC. El control y supervisión visual realizado por los operarios será reemplazado por sensores inductivos (sensor de posición) y sensores ultrasónicos (sensor de nivel) que indicarán las posiciones del

material, el nivel de almacenamiento de material (*pockets*, silos, *skip* y tolva) y la posición del *skip* para el registro y conteo de los viajes realizados. La información proporcionada por los sensores llega a las entradas digitales del PLC, este las procesa y siguiendo la lógica programada de acuerdo a nuestro proceso realiza las operaciones dando señales de mando a los actuadores desde sus salidas digitales. Los actuadores son los elementos de fuerza que realizan el trabajo. Estos actuadores ya existían en el proceso manual. Dichos actuadores son las compuertas electrohidráulicas, los motores de las fajas, el motor del winche Esperanza.

C. Desarrollo

Teniendo clara la filosofía de control debemos escoger los elementos necesarios para realizar la automatización del proceso, específicamente son los sensores y el PLC.

Los sensores serán de contacto seco (On–Off) que dan la señal ante una posición determinada o un nivel establecido. Dichos sensores tendrán redundancia de nivel n+1 para una mayor confiabilidad en la operación del proceso. Ya que son sensores con señales digitales la elección se dará por marca y características (robustez, garantía, calidad, rango de operación).

- Sensor inductivo, se escoge de la marca Schneider *electric/telemecanique* dada su buena reputación en el mercado nacional e internacional, la robustez de sus equipos bajo condiciones extremas como lo es en la minería. El modelo escogido es el “XS618B1MAL2” cuya característica es su grado de protección IP69K con doble aislamiento, su alimentación mediante 24Vdc y/o 220Vac y su capacidad y tiempo de conmutación (5 – 200mA DC)

- Sensor ultrasónico, este es de forma cilíndrica de la marca *Schneider electric* y el modelo es el "XX630A3NCM12", este sensor ultrasónico tiene un grado de protección IP69, posee un sistema de detección difuso siendo ideal para zonas de mucha polución y la distancia de detección es de hasta 8m la alimentación es en 24Vdc y/o 220Vac.

- PLC, es el elemento principal del proceso así que la elección se dio evaluando diferentes marcas y modelos. Primero descartamos la homogeneidad de la integración de la marca pues al ser contactos secos, la comunicación se da por puertos digitales prescindiendo de protocolos de comunicación que en muchos casos son propietarios de la marca amarrándonos a la misma.

Se evaluó el S7-200 de *Siemens*, *MicroLogix 1400* de Allen-Bradley siendo muy similares en desempeño, pero destacando el segundo por su sencillez de programación y configuración, y robustez a la hora de operar en industrias de trabajo continuo.

Las principales características son las 32 entradas o salidas digitales según la configuración de las mismas, el equipo no tiene entradas y salidas análogas lo cual abarata considerablemente el precio del equipo, posee comando de alta velocidad (100 kHz), tiene la posibilidad de incorporar hasta 7 módulos con entradas y salidas digitales (total de 256 puertos digitales), posee dos puertos serie RS232 y RS485 para una comunicación variada bajo protocolos de comunicación como Modbus RTU, DNP3, ASCII, DH-485, DF1, y otros. Posee una capacidad de registro de datos de 128KB siendo más que suficiente para la programación de nuestro proceso y posee una pantalla LCD con comando manuales desde donde se puede realizar operaciones y configuraciones básicas del equipo.

D. Descripción del proceso automatizado

El detalle de este proceso se puede ver en el Anexo. La puesta en marcha del proceso se da de forma manual desde el tablero general o el HMI (interface hombre máquina). Una vez dada la orden el sistema sigue una secuencia lógica para los arranques respectivos y la ejecución de las tareas.

Arranque de la bomba hidráulica. El proceso inicia con el arranque de la bomba hidráulica para tener disponible las compuertas de los silos y los *pockets* las cuales son accionadas por pistones hidráulicos según la lógica del programa. Una vez iniciado el proceso con el arranque de la bomba hidráulica, la secuencia a seguir indica un retardo de 5 segundos antes de seguir con el proceso. El retardo se da para tener disponibles los pistones que accionaran las compuertas.

Arranque de la faja principal. Teniendo disponibles los pistones hidráulicos la lógica del programa ordena arrancar el motor de la faja principal. Este arranque es del tipo estrella – triángulo y se realiza en vacío (sin material en la faja)

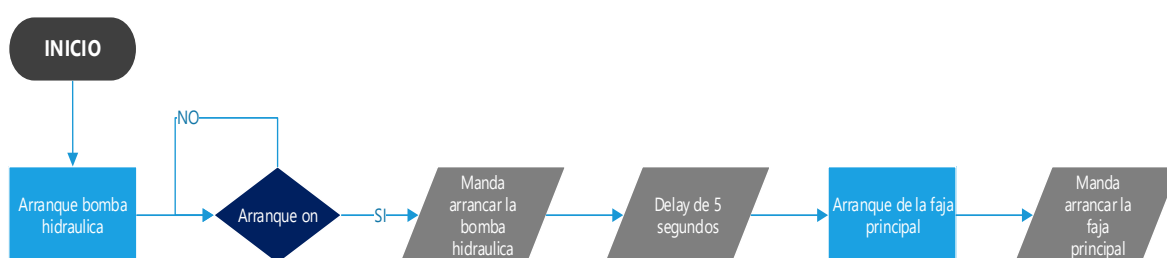


Figura 21: Flujo de la primera fase del proceso.

Selección del silo. El PLC casi al mismo tiempo que arranca el motor de la faja principal realiza la selección del silo donde se llenará el material transportado por la faja principal. Cada silo tiene 3 sensores ultrasónicos cuyo tiempo de respuesta es de 10m, se utiliza 3 sensores pues el llenado del silo no es uniforme, entonces se utiliza el promedio de los niveles

detectados por los sensores. Existen dos niveles identificados por los sensores, un nivel bajo (silo vacío) y un nivel alto (silo lleno), el nivel de referencia utilizado es el segundo (nivel alto). La secuencia lógica a seguir es analizar el silo 1, si se detecta que no está lleno entonces se selecciona este silo, caso contrario (silo 1 está lleno) se pasa a analizar el silo 2. Si este silo no está lleno se selecciona este silo, caso contrario se analiza el silo 1 haciendo este bucle 3 veces y se procede a finalizar el proceso pues no existe volumen disponible donde almacenar el material. La selección mecánica del silo se da mediante un carril (final de la faja principal) el cual es impulsado por un pistón hidráulico accionado por el PLC.

Apertura de la compuerta de llenado del silo. Una vez seleccionado el silo a llenar debe abrirse la compuerta de llenado la cual es impulsada por un pistón hidráulico. Como ya se sabe qué silo se llenará, la condicional para abrir la compuerta es si la faja principal está funcionando, caso contrario no se abre la compuerta como medida de seguridad de tal forma que la compuerta de llenado solo está abierta si la faja principal está funcionando.

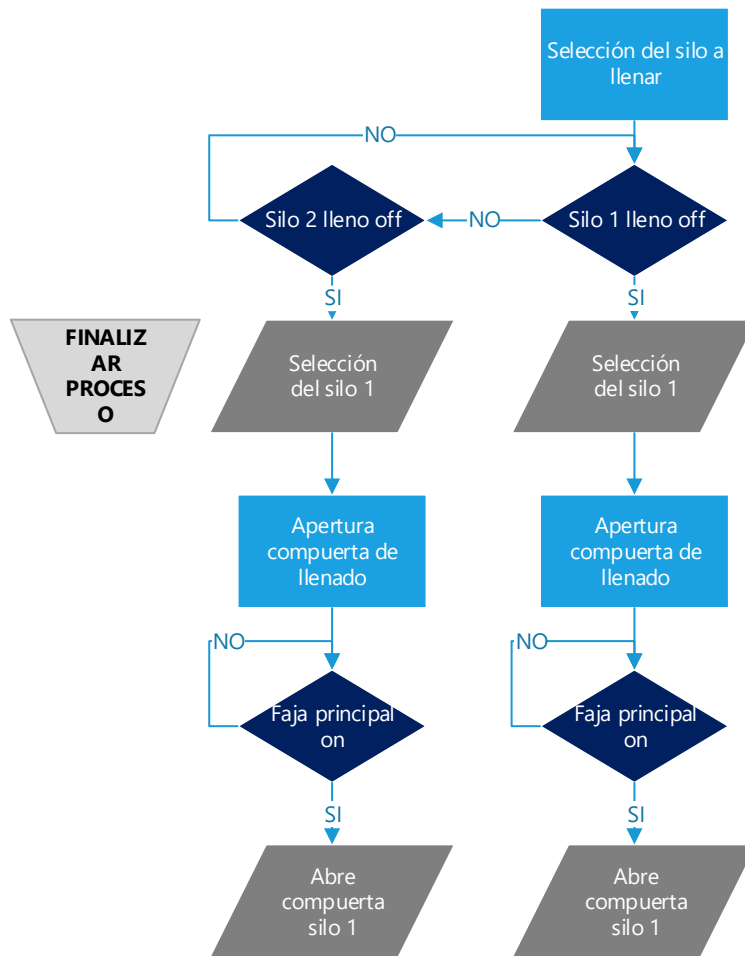


Figura 22: Flujo de la segunda fase del proceso.

Selección de la faja secundaria. La selección de la faja secundaria depende del *pocket* a utilizar; sin embargo, primero se debe arrancar el motor de la faja secundaria para después empezar con la descarga del material desde el *pocket* seleccionado. La lógica a seguir es similar a la selección del silo, los *pockets* al igual que los silos cuentan con 3 sensores ultrasónicos para una medición más exacta y tener mayor confiabilidad. Los sensores detectan dos niveles, nivel bajo (*pocket* vacío) y nivel alto (*pocket* lleno) y para la lógica del programa se utiliza el primer nivel (*pocket* vacío). La lógica es analizar el *pocket* 1, si este *pocket* no está vacío entonces se selecciona el *pocket* 1, caso contrario (*pocket* vacío) se analiza el *pocket* 2. Si el *pocket* 2 no está vacío, entonces se selecciona este *pocket*, caso contrario se analiza

el *pocket* 1, siguiendo este bucle tres veces y de no seleccionar *pocket* alguno se finaliza el proceso.

Arranque de la faja secundaria. Ya seleccionado el *pocket* a descargar se procede a arrancar el motor de la faja correspondiente a dicho *pocket*. El arranque se realiza en estrella – triángulo, se da en vacío antes de abrir la compuerta del *pocket*.

Apertura de la compuerta del *pocket*. Teniendo la faja secundaria en funcionamiento, se procede a abrir la compuerta del *pocket* para lo cual se sigue la condicional del encendido de la faja principal de tal forma que solo se descarga material si la faja principal está en funcionamiento.

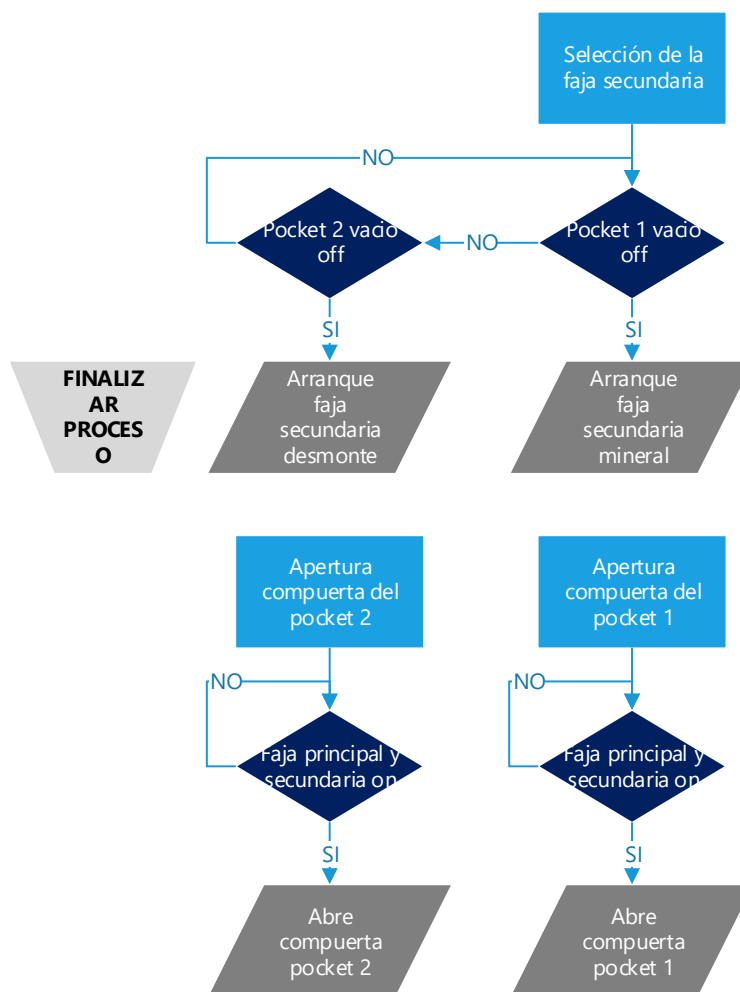


Figura 23: Flujo de la tercera fase del proceso.

Selección del silo a vaciar. Los silos vacían el material al *skip* para posteriormente ser elevado hasta la superficie. La selección del silo a vaciar se realiza para ubicar el *skip* en dicho silo, la secuencia a seguir es similar a la selección del silo a llenar. Si el silo 1 no está vacío entonces se selecciona dicho silo, caso contrario se procede a analizar el silo 2. Si el silo 2 no está vacío entonces se selecciona dicho silo, caso contrario se vuelve a analizar el silo 1 haciendo 3 bucles para después proceder a finalizar el proceso.

Posicionado del *skip*. una vez seleccionado el silo a vaciar, se posiciona el *skip* en dicho silo mediante un pistón de ubicación y 2 sensores inductivos de posición para verificar que se encuentre correctamente ubicado.

Llenado del *skip*. El llenado del *skip* se procede abriendo la compuerta del silo seleccionado, dicha compuerta es accionada por un pistón hidráulico y obedece a la secuencia lógica comprobando que el *skip* no esté lleno, caso contrario se cierra la compuerta y se procede a elevar el *skip*.

Izaje del *skip* y volteado. Estando el *skip* lleno se procede a elevar, las posiciones del *skip* son detectadas por sensores inductivos siendo el de la superficie quien ordena voltear el *skip* a la tolva y el del nivel 250 quien ordena proceder a la selección de silo a vaciar. La señal de todos los sensores inductivos que involucra el izaje del *skip* son registrados para realizar el conteo de *skips* elevados.

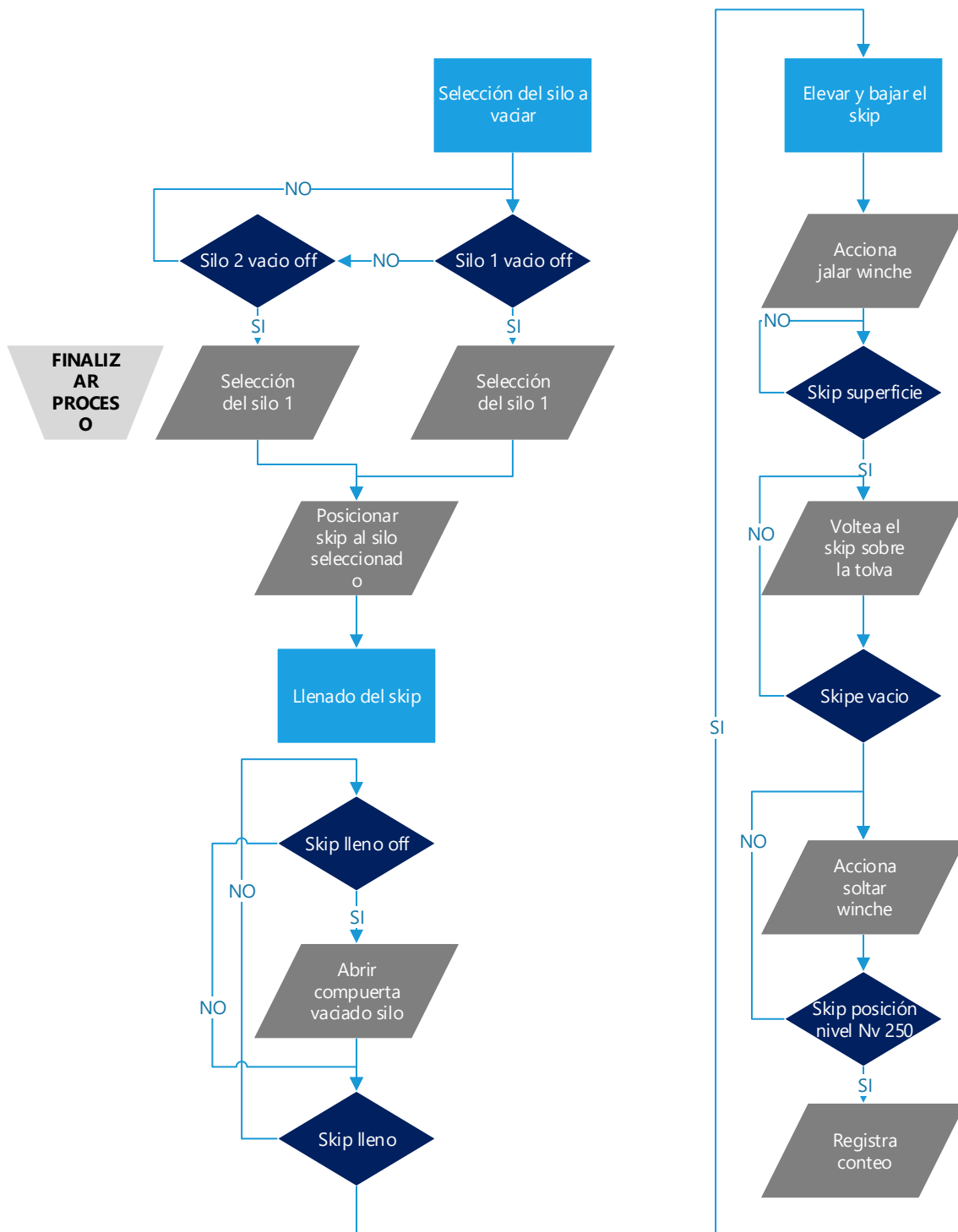


Figura 24: Flujo de la cuarta fase del proceso.

Finalizar proceso. La acción finalizar proceso se puede dar de manera automática según la secuencia lógica del programa como una medida de protección y optimización de recursos y también se puede dar de manera manual siguiendo la

secuencia inversa de la puesta en marcha. Dada la orden de finalizar proceso sea manual o por el PLC, primero se cerrarán las compuertas de los *pockets* para cerrar la caída de material, después de 15 segundos se detiene la faja secundaria, después de 60 segundos se detiene la faja principal, después de 5 segundos se cierra la compuerta de llenado del silo y por último se apaga la bomba hidráulica.

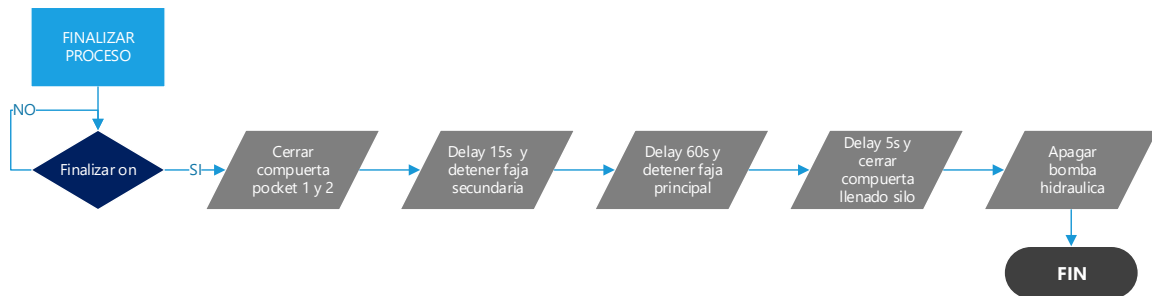


Figura 25: Flujo de la quinta fase del proceso.

3.3.3. Instrumentos

Hoja de registros de producción: es una plantilla donde se reporta la producción del tipo de mineral según el supervisor:

Hoja de reporte minera Animon/ Turno 2						
Fecha	Manual / Sistema	Cantidad	Zona	Nro. de operarios	Tiempo	Firma
23/12/2016	Manual	812	Baja	3	10hrs	...

Tabla 5: Tabla de reporte de producción

Fuente: Tabla de reporte de producción

Reporte diario de operación winche Esperanza: Es una plantilla donde se reportan los trabajos diarios de avance en la producción.

Reporte de trabajos diarios - Minera Animon/ Turno 2						
Fecha	Manual / Sistema	Cantidad	Zona	Nro. de operarios	Tiempo	Firma
23/12/2016	Sistema	Acumulable	Baja	3	10hrs

Tabla 6: Reporte diario de operación winche Esperanza

Fuente: Tabla de reporte de producción

Informes semanales y mensuales: es la recolección de datos de trabajos diarios en la producción.

Trabajos diarios - Minera Animon/ Turno 2						
Fecha	Tipo de trabajo	Descripción	Zona	Nombre	Turno	Firma
20/12/2016	Apoyo	Extracción	Baja	J. Velarde	1

Tabla 7: Reporte diario de operación winche Esperanza

Fuente: Tabla de reporte de producción

3.3.4. Técnicas de procesamiento

Para determinación de los resultados de la investigación se ha utilizado información en base al registro documentario obtenido de la empresa minera en estudio, fueron realizadas las técnicas de estadística descriptiva como el promedio aritmético y desviación, así también se han utilizado las fórmulas para el cálculo de los parámetros del equipo del sistema de izaje y su rendimiento, para lo cual se aplican y se ve su optimización.

3.3.5. Técnicas de análisis de datos

Para el análisis y la interpretación de los datos y por el tipo de problema que se investigó, se ha utilizado la estadística descriptiva, por lo tanto, se expondrán, tablas, porcentajes, gráficos, media aritmética. Además de ello, se realizarán las pruebas estadísticas T-Student y Rho Spearman para la contrastación de las hipótesis.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se describirá el funcionamiento del sistema izaje del *Loading Pocket* Nv. 250 mediante la automatización del proceso en Winche Esperanza de la Minera **Animon**, Cerro de Pasco, para ello se han estudiado los parámetros de operación, producción diaria y profundidad de izaje a fin de entender el cambio creado gracias a la automatización del sistema, para ello primero se realiza un análisis descriptivo acerca de la extracción manual y automatizada, luego se pasarán a mostrar los resultados del cuestionario aplicado a los trabajadores de la mina y finalmente la contrastación estadística acerca de las hipótesis general y específica.

4.1. Sistema de extracción manual

En la Mina Animon se realizaba la extracción manual, trabajándose en el Nv.250 según periodo agosto – diciembre del 2016. Esta extracción de mineral es realizada con 5 trabajadores con mano de obra directa, siendo 8 horas efectivas por guardia de trabajo, de los 10.5 horas programadas por guardia, trabajándose con dos guardias por día; entonces tendremos una producción de 1674 toneladas de mineral por día; resultando un promedio de 832 *skips* por guardia.

Fecha	TM/día	Disponibilidad mecánica
ago-16	1656	0.43
sep-16	1423	0.44
oct-16	1719	0.47
nov-16	1693	0.45
dic-16	1879	0.44

Tabla 8: Minera Animon - Producción del mineral proceso manual

Fuente: Minera Animon - Producción del mineral y personal

4.2. Sistema de extracción automatizado

En la Mina Animon se realiza la extracción sistematizada, trabajándose en el Nv.250 según periodo enero – agosto del 2017. Esta extracción de mineral es realizada con 2 trabajadores con mano de obra directa, siendo 8 horas efectivas por guardia de trabajo, de los 10.5 horas programadas por guardia, trabajándose con dos guardias por día; entonces tendremos una producción de 2408 toneladas de mineral por día; resultando un promedio de 1204 *skips* por guardia.

Fecha	TM/día	Disponibilidad mecánica
ene-17	2520	0.91
feb-17	2392	0.93
mar-17	2783	0.94
abr-17	1712	0.95
may-17	1904	0.96
jun-17	1976	0.94
jul-17	2521	0.95
ago-17	3457	95%

Tabla 9: Minera Animon - Producción del mineral proceso automatizado

Fuente: Minera Animon - Producción del mineral y personal

4.3. Incremento de producción con el sistema *Loading Pocket* Nv 250

El rendimiento del sistema de izaje *Loading Pocket* Nv 250, se incrementa de 837 toneladas por guardia a 1204 toneladas por guardia respectivamente, de la misma forma se disminuye el personal a emplear de 5 obreros a 2 obreros con el sistema automatizado, el cual repercutirá en los costos de mano de obra.

	TM/día	TM/guardia	Disponibilidad mecánica
Proceso automatizado	2408.00	1204	94%
Proceso manual	1674.00	837	45%

Tabla 10: Minera Animon - Producción del mineral y personal
Fuente: Minera Animon - Producción del mineral y personal

4.4. Análisis estadístico

Al tratar de correlacionar los valores del cambio hacia la automatización, se decide hacer uso del estadístico Rho-Spearman, el cual calcula que tan correlacionados están estos dos tipos de variables. Así se puede apreciar en la tabla 11 que el coeficiente de correlación Rho de Spearman tiene un valor de 0.88 para el caso de la confiabilidad y para el caso de la optimización es de 0.255, donde ambos tienen una significancia al 5% y un p-valor de esta prueba igual a 0.

			Automatización	Optimización
Rho de Spearman	Automatización	Coefficiente de correlación	1.000	.255**
		Sig. (bilateral)	.	.000
		N	371	371
	Optimización	Coefficiente de correlación	.255**	1.000
		Sig. (bilateral)	.000	.
		N	371	371

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

			Automatización	Confiabilidad
Rho de Spearman	Automatización	Coefficiente de correlación	1.000	.880**
		Sig. (bilateral)	.	.000
		N	371	371
	Confiabilidad	Coefficiente de correlación	.880**	1.000
		Sig. (bilateral)	.000	.
		N	371	371

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Tabla 11: Correlaciones Rho de Spearman

Para la validación de la hipótesis general consideramos un nivel de confiabilidad 95%, siendo la significancia 5% (0.05), entonces para aceptar la hipótesis alterna el valor de p (sigma) debe ser menor de 0.05 ($p < 0.05$). Teniendo de esta manera que el valor de $p = 0.000 < 0.05$, aceptando la hipótesis alterna. Del mismo modo determino el nivel de relación entre las variables teniendo un valor de Rho de Spearman de 0.862; es decir sí existe una relación alta y directa entre las variables optimización y confiabilidad con un nivel de relación de 88% y 25.5% respectivamente, es decir al Sistema de izaje *Loading Pocket* Nv. 250. a través de la automatización del winche Esperanza.

Además, para la contrastación de las hipótesis específicas, se hace uso de la información que se ha recabado de los procesos productivos en el sistema de izaje. Con esta premisa, se tienen 145 datos recabados acerca de la producción en el periodo agosto – diciembre 2016, mientras que se tienen 226 datos en el proceso enero – agosto 2017. Con estos datos se procede a realizar una prueba de medias con muestras y varianzas diferentes.

Para el detalle de la optimización, tomamos la producción de *skips* por guardia y para la confiabilidad se hace uso de la disponibilidad mecánica que se recoge de la información tanto de la prueba mediante el estadístico T-Student. Esta se presenta en la tabla 12.

Los resultados presentados indican que hay una alta significancia en la diferencia de medias de ambas variables, pues en las pruebas realizadas se puede apreciar que la diferencia para optimización de la producción al aplicar la automatización es de 40 *skips*/guardia, lo cual indica que efectivamente se incrementó el nivel de producción a causa de la automatización del sistema de izaje.

De la misma manera, para el caso de la confiabilidad, medida en la disponibilidad mecánica, se tiene una diferencia de 49.9% respecto de la automatización.

	Automatización	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Optimización	Manual	145	130.4483	65.34310	5.42645
	Automatizado	226	170.5088	74.22556	4.93741

Prueba de muestras independientes

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Optimización	Se asumen varianzas iguales	3.508	.062	-5.311	369	.000	-40.06057	7.54301	-54.89325	-25.22790
	No se asumen varianzas iguales			-5.460	334.429	.000	-40.06057	7.33651	-54.49210	-25.62905

Estadísticas de grupo

	Automatización	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Confiabilidad	Manual	145	.4450	.05385	.00447
	Automatizado	226	.9444	.06085	.00405

Prueba de muestras independientes

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Confiabilidad	Se asumen varianzas iguales	.072	.788	-80.617	369	.000	-.49938	.00619	-.51156	-.48720
	No se asumen varianzas iguales			-82.794	333.403	.000	-.49938	.00603	-.51124	-.48751

Tabla 12: Correlaciones T-Student.

CAPÍTULO V

5.1. Discusión de resultados

Se ha discutido acerca de la implementación de la automatización del proceso en Winche Esperanza y su influencia sobre la optimización y la confiabilidad del sistema de izaje en la minera Animon, de la cual se ha encontrado evidencia de que efectivamente se tiene un efecto positivo sobre el proceso en la producción.

La percepción positiva de parte del personal ubicado en esta unidad se basa principalmente en la reducción de personal necesario para el proceso que se ha sistematizado, puesto que en vez de usar a 5 empleados, ahora solo se usan 2, además de incrementar sustancialmente el proceso productivo y con menor número de paro del proceso, lo cual constituye una reducción del estrés laboral. En este sentido, parece evidente la disposición de los integrantes de la unidad al sentir que este proceso automatizado ha mejorado la situación de la propia unidad.

En base a lo encontrado acerca del incremento de la optimización de los procesos, Moreno [6] para una fábrica de Aceros Arequipa, tiene los mismos resultados positivos acerca de la utilización de un proceso de automatización, de la misma manera que Jie [8] para un calefactor que se usa en una parte de un proceso productivo más amplio. Okpanachi [9] obtiene una gran aceptación sobre estos procesos automatizados al comprobar que son efectivos para el conteo de

tanques que se usan para procesos de laboratorio y Rodríguez [11], hace lo propio para tanques que se usan exclusivamente para la recolección de agua y que el proceso automatizado permite un uso eficiente de este vital líquido.

De la misma manera, Burga [7], menciona que es posible encontrar mediante el objetivo de la confiabilidad una optimización de los procesos productivos. Para la presente investigación se ha contrastado este hecho y se ha llegado a tender una línea de causalidad entre una mayor confiabilidad a partir de mejoras del proceso productivo, haciendo que la presente investigación sea parte de la tendencia de la literatura basada sobre la confiabilidad.

CONCLUSIONES

- Con la implementación del sistema de izaje *Loading Pocket* Nv. 250 a través de la automatización del proceso en Winche Esperanza. (Minera **Animon** Cerro de Pasco) el personal que labora en este lugar ha visto un incremento sustancial dentro del desenvolvimiento de esta unidad. La prueba de correlación de Rho de Spearman detalla que se tiene una relación de 25% y 88% respectivamente para la optimización y confiabilidad del sistema de izaje.
- La instalación del sistema de izaje *Loading Pocket* Nv. 250, permitió aumentar el nivel de la producción haciendo uso de menor fuerza laboral, con la cual se obtiene una optimización del proceso productivo. Con la prueba estadística T-Student se ha comprobado que hay una diferencia significativa entre los promedios de los procesos manual y automatizado, siendo este último superior por 40 *skips*/guardia, lo cual representa un aumento de la producción en casi 31%, además de una reducción del 60% de la fuerza laboral para este fin.
- La instalación del sistema de izaje *Loading Pocket* Nv. 250, permitió aumentar el nivel de disponibilidad mecánica, con la cual se obtiene mayor confiabilidad del proceso productivo. Con la prueba estadística T-Student se ha comprobado que hay una diferencia significativa entre los promedios de los procesos manual y automatizado, siendo este último superior por 49%, lo cual representa duplicar el nivel de confiabilidad.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda extraer el mineral mediante izaje *Loading Pocket* Nv. 250 con la cual se haya mejora en la producción de los niveles inferiores que tiene la Minera **Animon** Cerro de Pasco.
- Se recomienda capacitar al personal para la extracción de mineral en el lugar de trabajo, utilizando procedimientos del sistema izaje *Loading Pocket* Nv. 250.
- Para el incremento de producción se recomienda utilizar equipos de izaje *Loading Pocket* Nv. 250 diseñados adecuadamente en la extracción vertical en la Minera **Animon** Cerro de Pasco.
- Se recomienda utilizar el sistema de izaje *Loading Pocket* Nv. 250, porque contempla mayor confiabilidad y optimización para una extracción rápida con buena producción de mineral.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Osinergmin. *Reporte de análisis económico sectorial sector minería, Mercado mundial, nacional, efectos derivados y visión de la minería*. [en línea]. Editado por A. VAZQUEZ. Año 5 – N° 6 – agosto 2016. Disponible en: http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/RAES/RAES-Mineria-Agosto-2016-GPAE-OS.pdf
- [2] D'Avila, J. *Elaboración de un mapeo de clusters en el Perú*. Consultoría solicitada por el Consejo Nacional de la Competitividad y el Ministerio de la Producción. Lima, Perú, 2013. Disponible en: https://www.cnc.gob.pe/images/cnc/LAvance_12_13/archivos/Informe-Final-Mapeo-Clusters.pdf
- [3] Vásquez Cordano, A *Economía Minera*. XIV Curso de Extensión Universitaria. Materiales de Clase. Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, Osinergmin. Lima, Perú, 2016.
- [4] Hotelling, Harold. *The economics of exhaustible resources*. Journal of political Economy, 1931, vol. 39, no 2, p. 137-175. Disponible en: <http://msl1.mit.edu/classes/esd123/2003/bottles/Hotelling.pdf>
- [5] Vela, J. (2016). *Componentes del Sistema de Izaje*. Lima: Info.
- [6] Moreno Ginez, Eduardo Oscar, et al. Diseño e implementación de un controlador para corte de estratos. Tesis para optar al Título de Ingeniero Electrónico. Facultad de ingeniería, Carrera de ingeniería electrónica. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC) 2016.
- [7] Burga, Martín Da Costa. Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción. 2010. Disponible en: http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/567/DA_COSTA_BURGA_MART%C3%8DN_MANTENIMIENTO_MOTORES_GAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [8] Jie, Lee Ming. PID Implementation of UMP Mini Automation Plant Part 1- Heating Tank. 2010. Tesis Doctoral. University Malaysia Pahang.

- [9] Okpanachi, Ademu Victor. Developing advanced control strategies for a 4-tank laboratory process. Master's Thesis report Faculty of Technology M.Sc. Programme Telemark University College, 2010.
- [10] Granberg, Henrik. Control of a Process with Large Time Constants and Significant Time Delay. Master's thesis in Process control Department of Signals and System Division of Automatic Control, Automation and Mechatronics. Chalmers University Of Technology. 2013.
- [11] Rodrigues, Maria. PID Control of Water in a tank. Bachelor's Thesis in Electronics Faculty Of Engineering And Sustainable Development University of Galve. 2011.
- [12] Colon, A. (2016). *Sistema de Izaje*. [en línea]. Obtenido de <https://www.academia.edu>, Disponible en :
https://www.academia.edu/20734106/2.2_Sistema_de_izaje
- [13] InfoNet. *El Sistema Loading Pocket y su Funcionalidad*. Arequipa: InfoNet, 2005.
- [14] Rey, Cerro Rico-Base; Sistema de Izaje en minería subterránea; winches, piques y capacitación para trabajadores mineros. Lima. 2006. Disponible en: http://geco.mineroartesanal.com/tiki-download_wiki_attachment.php?attId=631
- [15] Xue, Dingyü; Chen, YangQuan; ATHERTON, Derek P. Linear feedback control: analysis and design with MATLAB. Society for Industrial and Applied Mathematics, 2007. Disponible en:
<https://electrical2005.files.wordpress.com/2016/11/linear-feedback-control-analysis-and-design-with-matlab.pdf>
- [16] Sontag, Eduardo D. Mathematical control theory: deterministic finite dimensional systems. Springer Science & Business Media, 2013.
- [17] Ogata, Katsuhiko 2003, Ingeniería de Control Moderna. 4ta edición. Madrid: Pearson Educación S.A. Disponible en:
http://www.matcuer.unam.mx/~victor/Sistemas/ingenieria_de_control_moderna.pdf

- [18] Rice, Bob; Cooper, Doug. Design and tuning of PID controllers for integrating (non-self regulating) processes. Technical Papers-ISA, 2002, vol. 422, p. 437-448. Disponible en: <http://www.engr.uconn.edu/control/pdf/isa02.pdf>
- [19] Murrill, Paul W. Fundamentals of process control theory. Isa, 2000. Disponible en: <https://www.isa.org/pdfs/sample-chapters/fundamentals-of-process-control-theory-murrill-toc/>
- [20] Smith, Carlos y Corripio, Armando 2006, Control automático de procesos. México: Limusa-Wiley
- [21] Pardeshi, Sachin; Pattewar, Tareek. Free user's behaviour information from central database system (Web Mining). En Intelligent Systems and Control (ISCO), 2013 7th International Conference on. IEEE, 2013. p. 335-339.
- [22] Da Costa Burga, Martín. Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de alta producción. 2011. Disponible en: http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/567/DA_COSTA_BURGA_MART%C3%8DN_MANTENIMIENTO_MOTORES_GAS.pdf?sequence=1
- [23] Vásquez Cordano, Arturo. Economía Minera. XI Curso de Extensión Universitaria. Materiales de Clase. Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, Osinergmin. 2010.

ANEXOS



Figura 26: Winche de Izaje

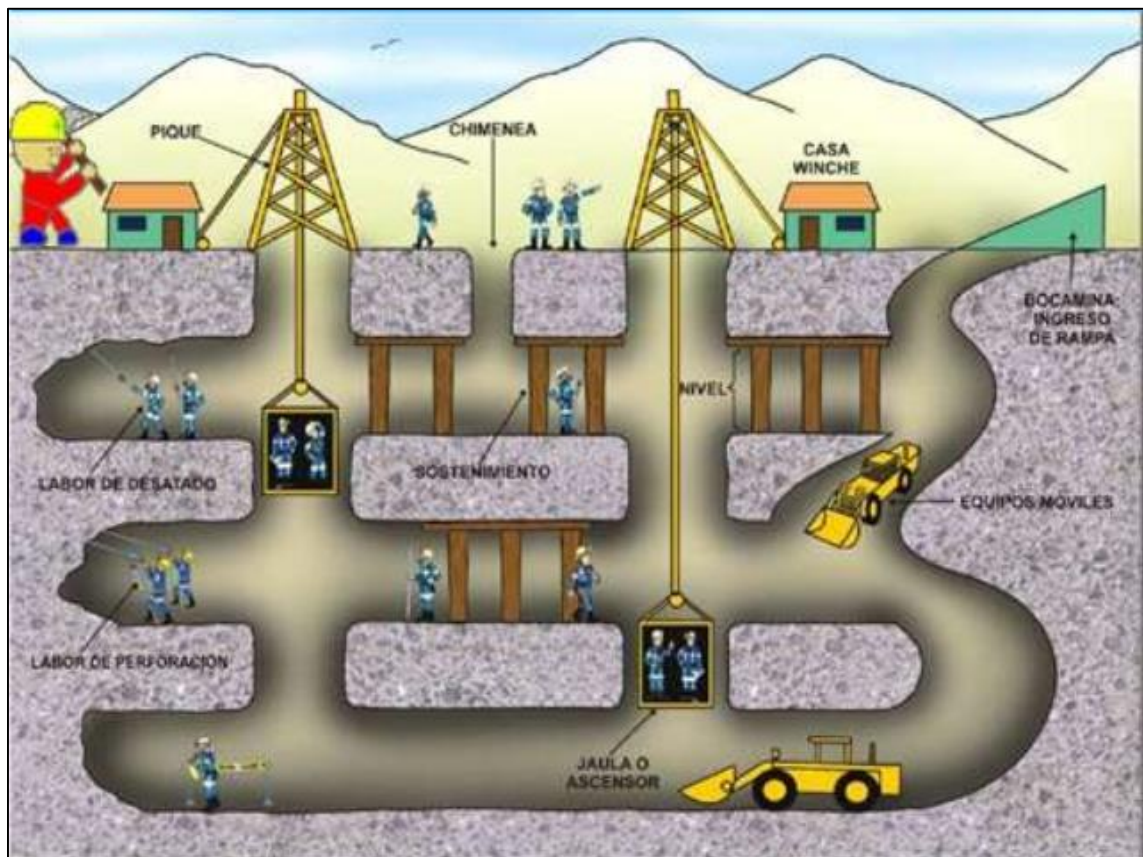


Figura 27: Funcionamiento del Sistema *Loading Pocket*

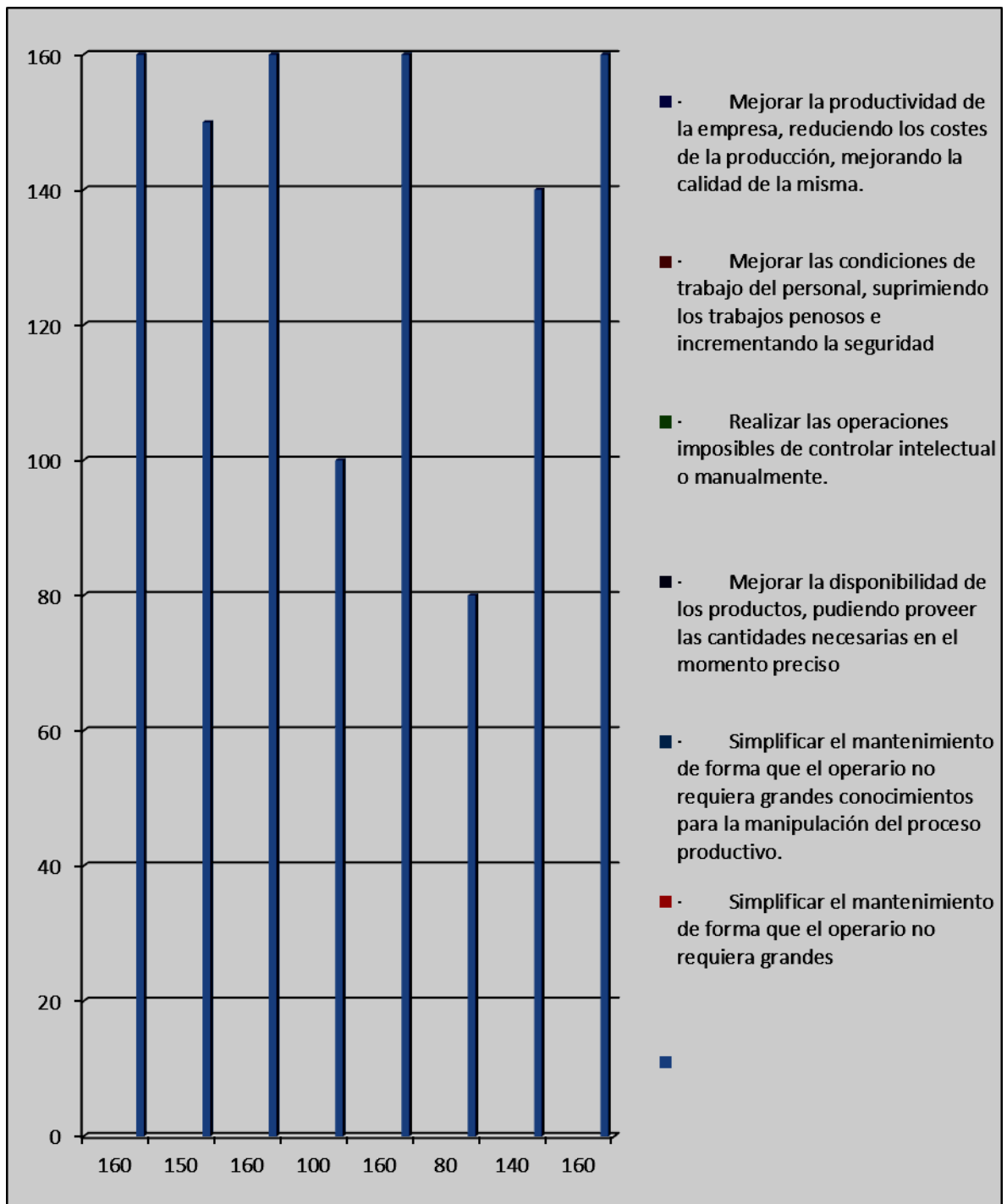


Grafico 1: Modelo de operacionalidad en las mejoras productivas mediante el izaje

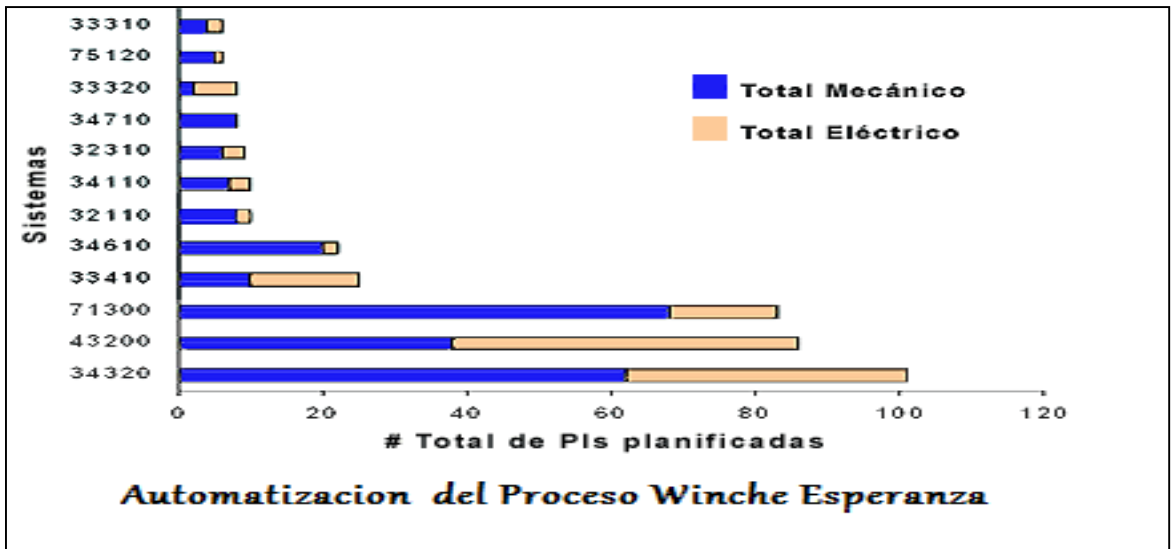


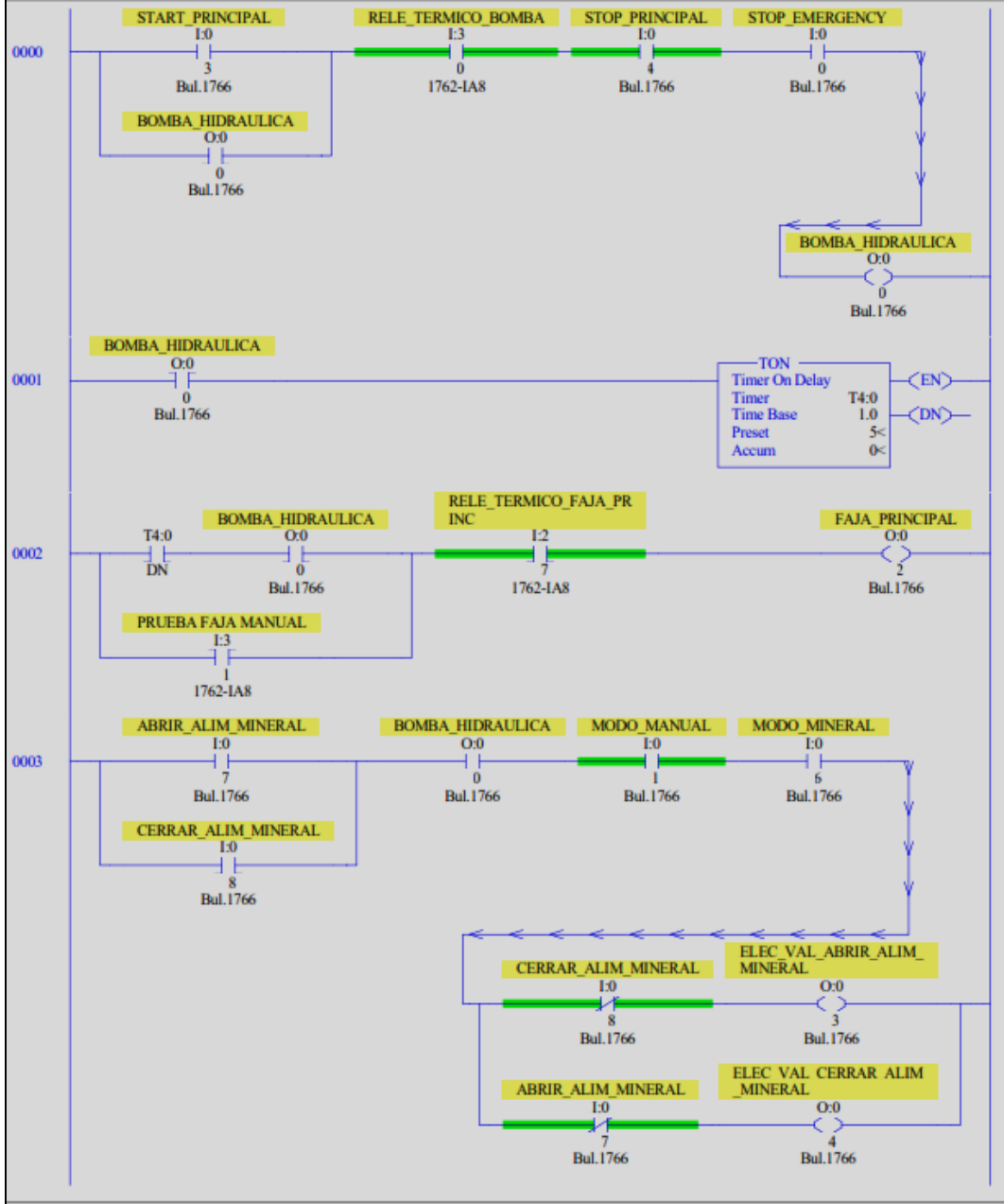
Grafico 2: Modelo de automatización del proceso winche Esperanza

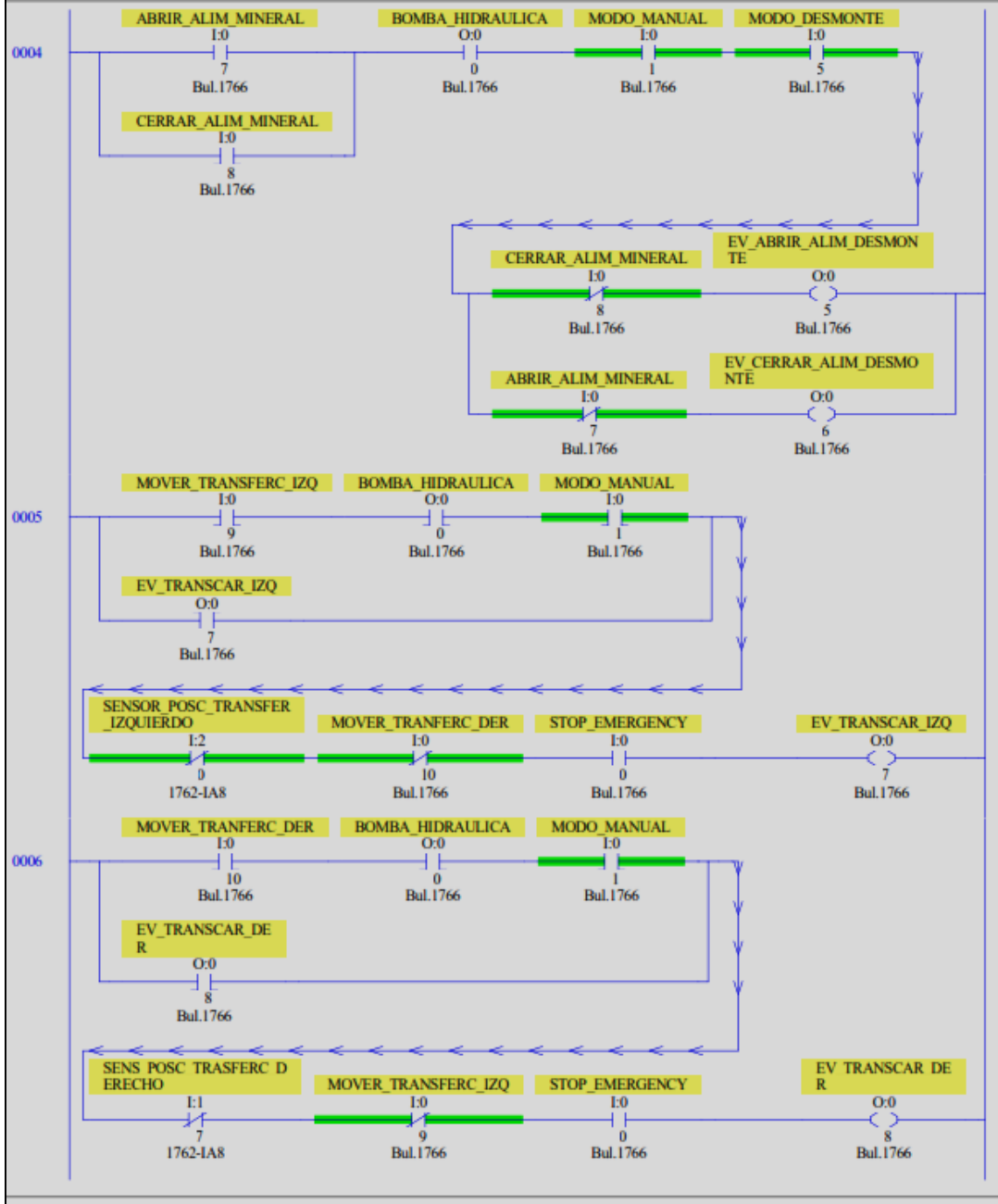


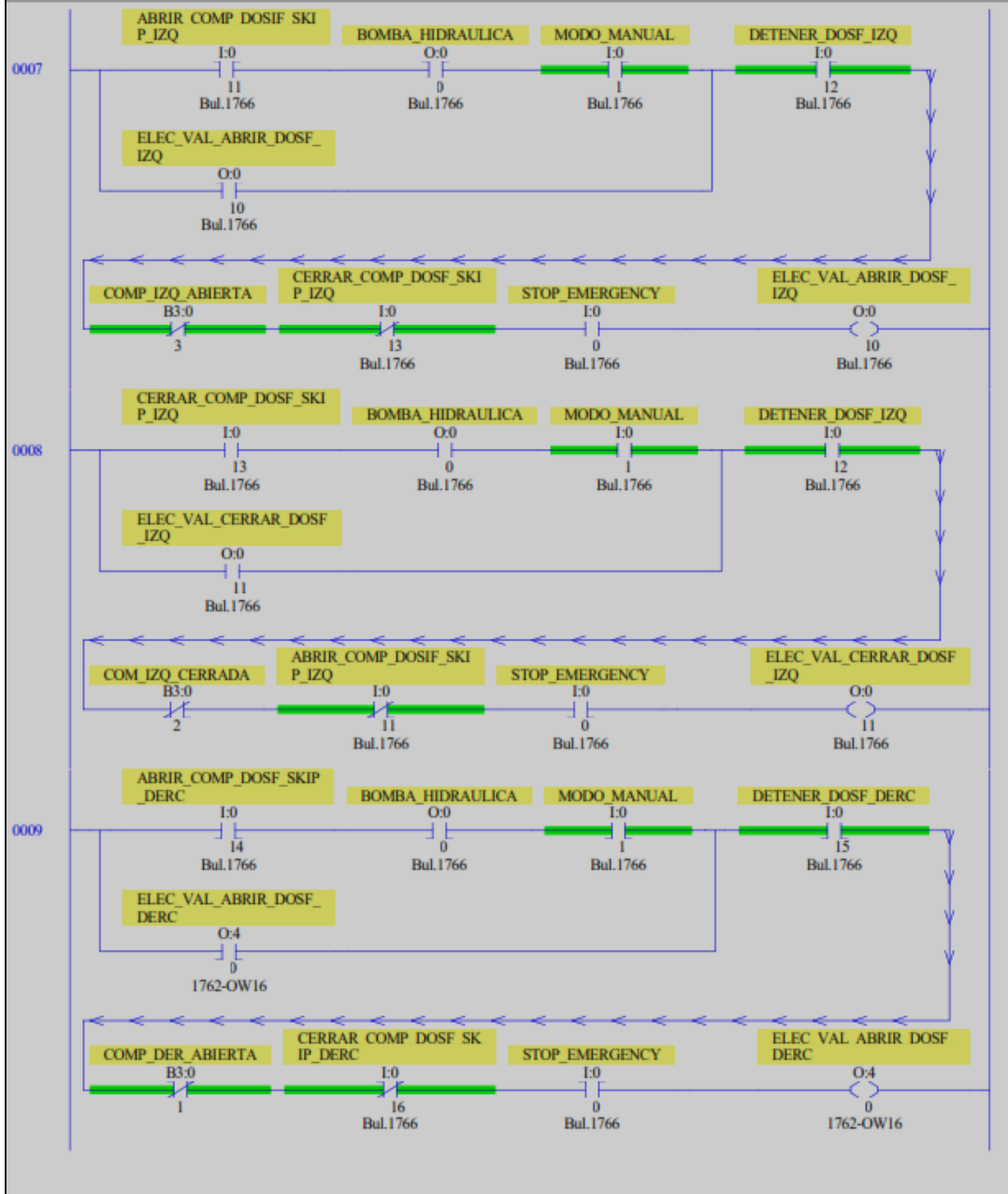
Tabla 13: Modelo de un sistema circuito de relés y contactores para confiabilidad en operaciones

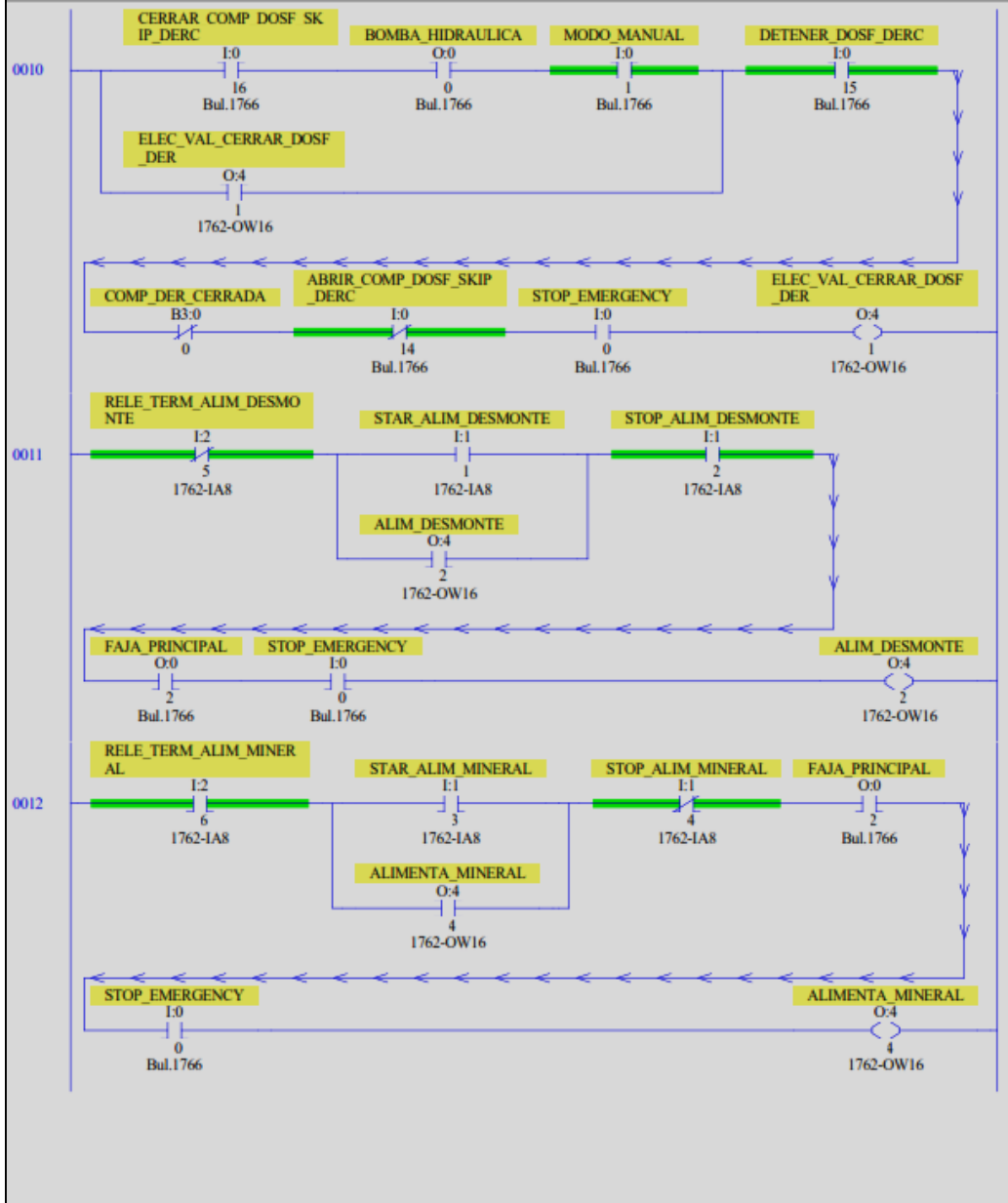
	A	B	C	D	E	G	R	S	T	U	V	V	X
	Equipo	Descripcion	Mes	Sem	Fe+R26+	SKIP	Cant.	T.P.R.	HD	DM	UE	ESTADO	DESCRIPCION
					E:F	M	D						
2	VIN-0001-CH	Vinche de Izaje IR 36"x48" # 01	DICIEMBRE		01-12-16	52,00	0,00	0,50	11,50	96%	26%	OPERATIVO	Inspeccion de turno (11:00am 7:00pm) Trabajos realizados por reparacion de cuadrados en el Nv. 355
10	VIN-0001-CH	Vinche de Izaje IR 36"x48" # 01	DICIEMBRE		01-12-16	218,00	15,00	0,50	11,50	96%	70%	OPERATIVO	Inspeccion de turno (7:30hrs a 20:50hrs) parado por falta de carga.
18	VIN-0001-CH	Vinche de Izaje IR 36"x48" # 01	DICIEMBRE		02-12-16	120,00	13,00	0,50	11,50	96%	36%	OPERATIVO	Inspeccion de turno (08:00am 10:00am) (5:30pm a 6:30pm) izaje detenido por falta de carga.
26	VIN-0001-CH	Vinche de Izaje IR 36"x48" # 01	DICIEMBRE		02-12-16	81,00	140,00	0,50	11,50	96%	69%	OPERATIVO	Inspeccion de turno (7:30hrs a 21:00hrs) (5:50am a 6:30am) parado por falta de carga.
34	VIN-0001-CH	Vinche de Izaje IR 36"x48" # 01	DICIEMBRE		03-12-16	73,00	0,00	0,50	11,50	96%	35%	OPERATIVO	Inspeccion de turno (08:00am 10:30am) Inspeccion de guias de madera. (01:30pm a 5:45pm) Reparacion
42	VIN-0001-CH	Vinche de Izaje IR 36"x48" # 01	DICIEMBRE		03-12-16	162,00	45,00	0,50	11,50	96%	64%	OPERATIVO	Inspeccion de turno (8:00pm a 8:50pm) Evacuacion de maderas usadas del Nv. 355 a Superficie. (5:30a
50	VIN-0001-CH	Vinche de Izaje IR 36"x48" # 01	DICIEMBRE		04-12-16	117,00	0,00	4,00	8,00	67%	62%	OPERATIVO	(8:00am 11:50am) Mantenimiento programado cambio de chaqueta en el Picket N° 11 lado piso loading por
58	VIN-0001-CH	Vinche de Izaje IR 36"x48" # 01	DICIEMBRE		04-12-16	110,00	104,00	0,50	11,50	96%	67%	OPERATIVO	Inspeccion de turno (8:00pm a 8:45pm) (5:50am a 6:30am) parado por falta de carga.
66	VIN-0001-CH	Vinche de Izaje IR 36"x48" # 01	DICIEMBRE		05-12-16	33,00	43,00	0,50	11,50	96%	27%	OPERATIVO	Inspeccion de turno (1:30pm 7:00pm) Izaje parado por falta de carga.
74	VIN-0001-CH	Vinche de Izaje IR 36"x48" # 01	DICIEMBRE		05-12-16	0,00	0,00	0,50	11,50	96%	21%	OPERATIVO	Inspeccion de turno (3:15pm 1:30am) Inspeccion de guias de madera y cambio de guias.
82	VIN-0001-CH	Vinche de Izaje IR 36"x48" # 01	DICIEMBRE		06-12-16	132,00	17,00	0,50	11,50	96%	55%	OPERATIVO	Inspeccion de turno (7:45am 10:50am) Cambio de guias de madera. (3:20pm 4:00pm) Izaje parado por fa
90	VIN-0001-CH	Vinche de Izaje IR 36"x48" # 01	DICIEMBRE		06-12-16	129,00	80,00	0,50	11,50	96%	63%	OPERATIVO	Inspeccion de turno
98	VIN-0001-CH	Vinche de Izaje IR 36"x48" # 01	DICIEMBRE		07-12-16	113,00	32,00	0,50	11,50	96%	44%	OPERATIVO	Inspeccion de turno (7:00am 9:10am) Izaje parado por falta de carga. (4:35pm 5:25pm) Izaje parado por
106	VIN-0001-CH	Vinche de Izaje IR 36"x48" # 01	DICIEMBRE		07-12-16	68,00	28,00	0,50	11,50	96%	40%	OPERATIVO	Inspeccion de turno (10:00pm 3:45am) Cambio de guia Nv 310.
114	VIN-0001-CH	Vinche de Izaje IR 36"x48" # 01	DICIEMBRE		08-12-16	142,00	20,00	0,50	11,50	96%	51%	OPERATIVO	Inspeccion de turno (12:40pm 2:00pm) (5:40pm 6:30pm) Izaje parado por falta de carga.
122	VIN-0001-CH	Vinche de Izaje IR 36"x48" # 01	DICIEMBRE		08-12-16	115,00	92,00	0,50	11,50	96%	58%	OPERATIVO	Inspeccion de turno (7:30am 8:30am) Izaje parado por falta de carga.
130	VIN-0001-CH	Vinche de Izaje IR 36"x48" # 01	DICIEMBRE		09-12-16	100,00	38,00	0,50	11,50	96%	46%	OPERATIVO	Inspeccion de turno. (7:30am 9:20am) Izaje parado por falta de carga.
138	VIN-0001-CH	Vinche de Izaje IR 36"x48" # 01	DICIEMBRE		09-12-16	97,00	120,00	0,50	11,50	96%	67%	OPERATIVO	Inspeccion de turno.
146	VIN-0001-CH	Vinche de Izaje IR 36"x48" # 01	DICIEMBRE		10-12-16	109,00	20,00	0,50	11,50	96%	52%	OPERATIVO	Inspeccion de turno. (7:30am 10:50am) Inspeccion de guias de madera. cambio de plancha de tola incl
154	VIN-0001-CH	Vinche de Izaje IR 36"x48" # 01	DICIEMBRE		10-12-16	102,00	102,00	0,50	11,50	96%	64%	OPERATIVO	Inspeccion de turno. (7:30pm 9:30pm) Izaje parado por falta de carga.
162	VIN-0001-CH	Vinche de Izaje IR 36"x48" # 01	DICIEMBRE		11-12-16	68,00	8,00	3,00	9,00	75%	34%	OPERATIVO	Inspeccion de turno. (8:00am 11:00am) Mantenimiento programado cambio de chaquetas loading pocke
170	VIN-0001-CH	Vinche de Izaje IR 36"x48" # 01	DICIEMBRE		11-12-16	108,00	140,00	0,50	11,50	96%	75%	OPERATIVO	Inspeccion de turno. (8:00pm 9:00pm) Izaje parado por falta de carga.
178	VIN-0001-CH	Vinche de Izaje IR 36"x48" # 01	DICIEMBRE		12-12-16	114,00	80,00	0,50	11,50	96%	56%	OPERATIVO	Inspeccion de turno. (7:30am 8:40am) Izaje parado por falta de carga. (3:05pm 3:30pm) Izaje para por oc
186	VIN-0001-CH	Vinche de Izaje IR 36"x48" # 01	DICIEMBRE		12-12-16	82,00	88,00	0,50	11,50	96%	48%	OPERATIVO	Inspeccion de turno. (8:00pm 9:00pm) Izaje parado por falta de carga.

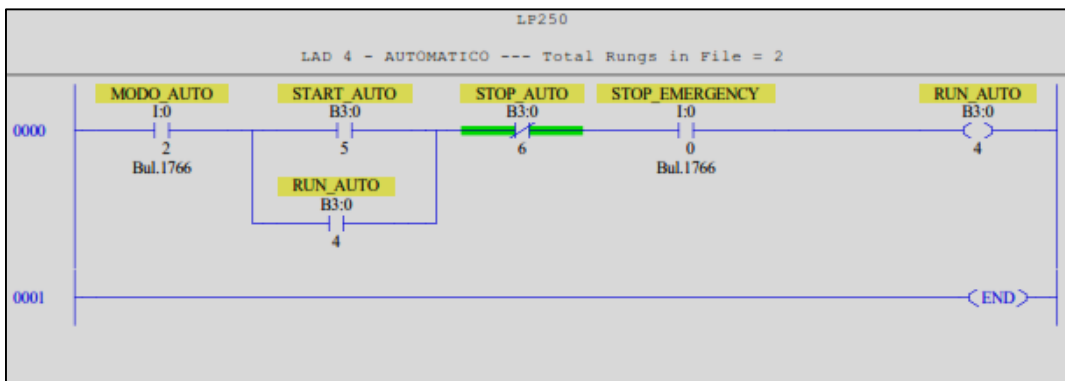
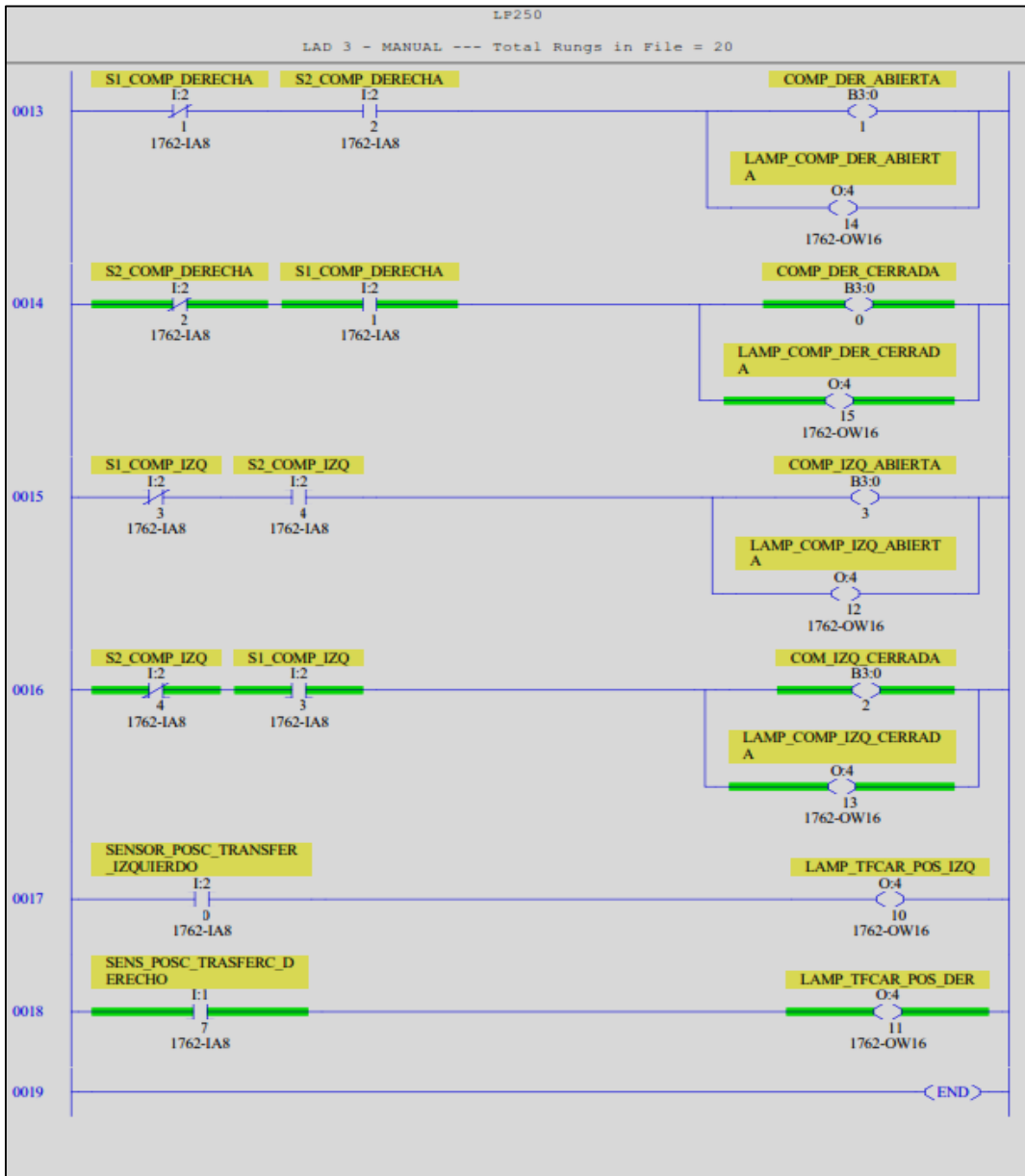
Figura 28: Reportes y tiempos de parada nulos.

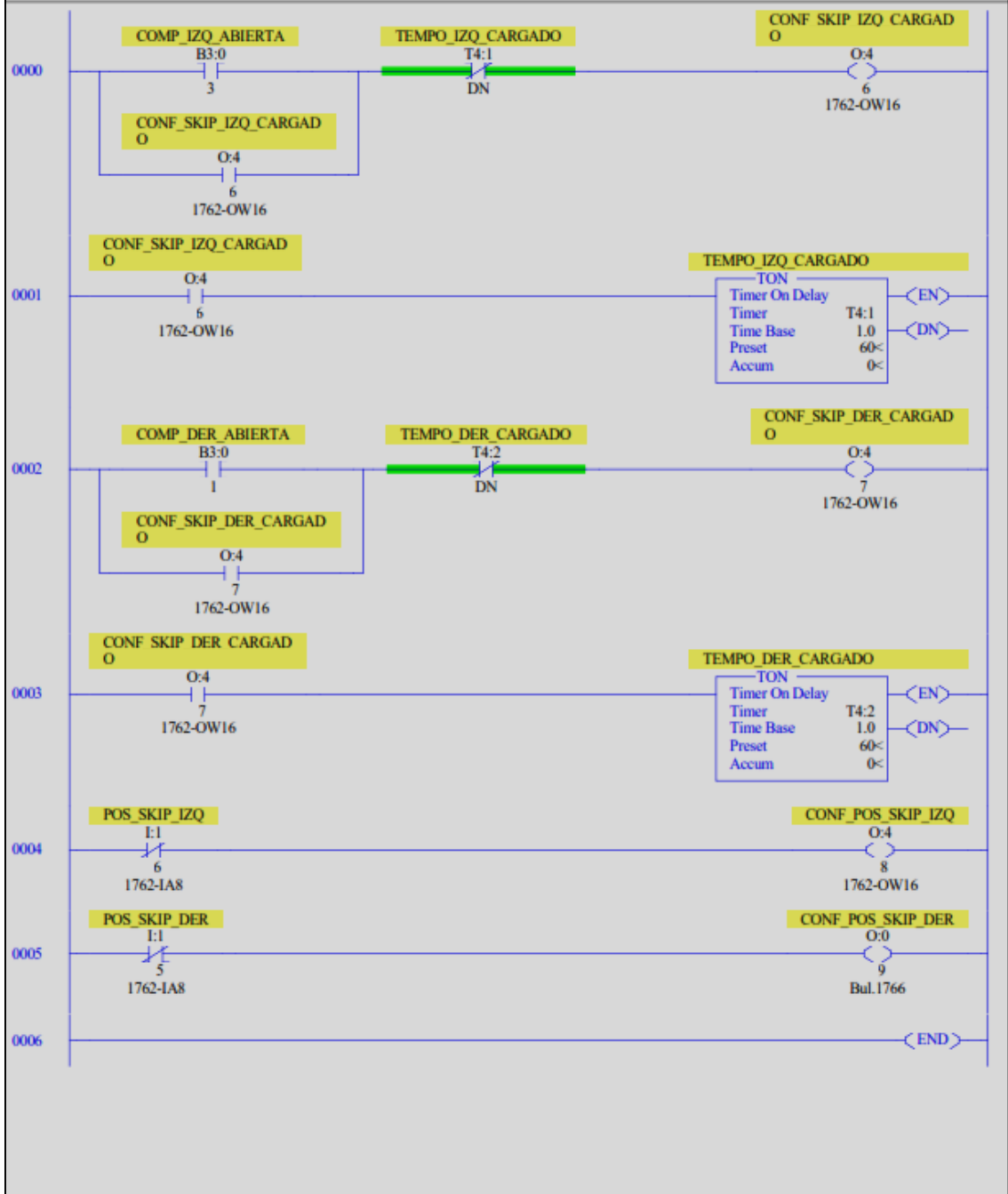


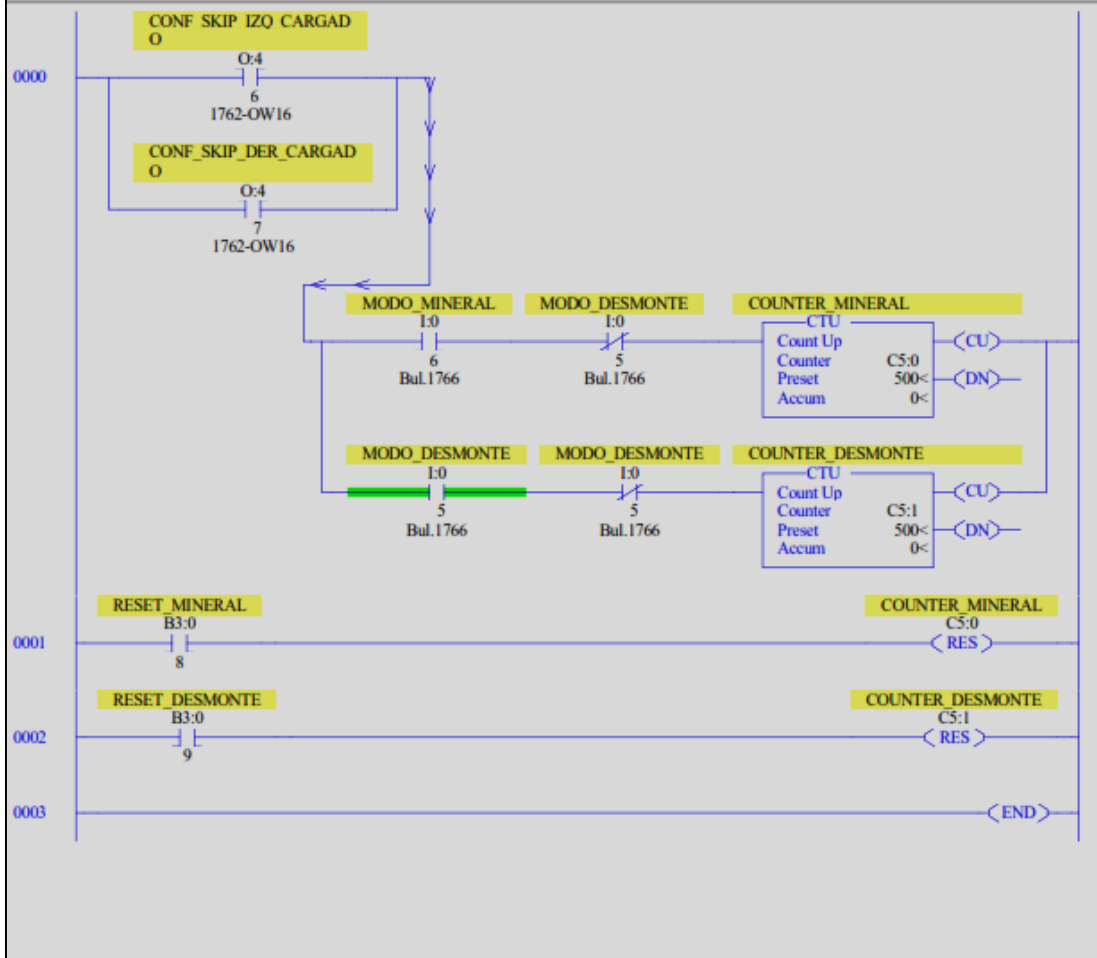


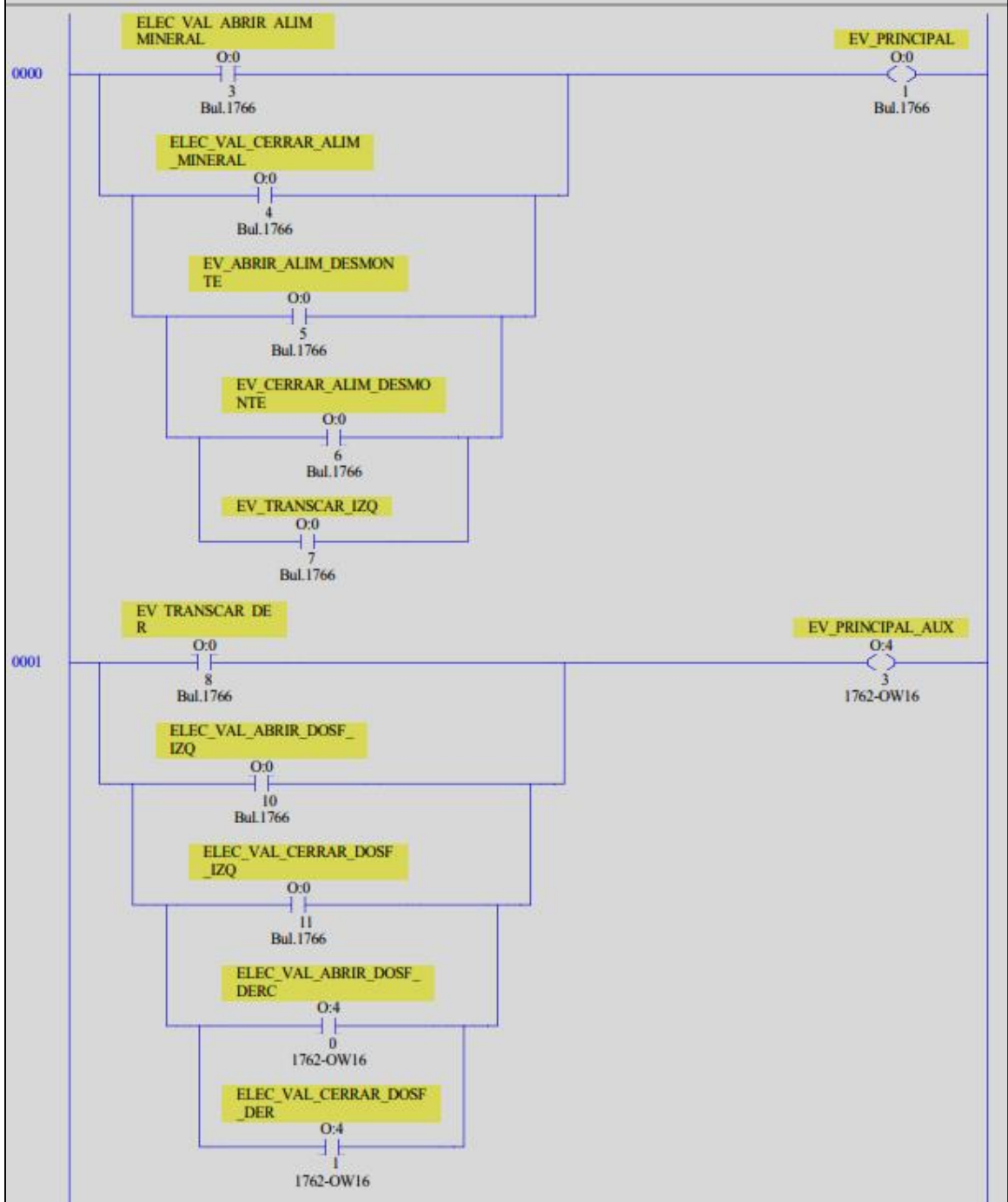












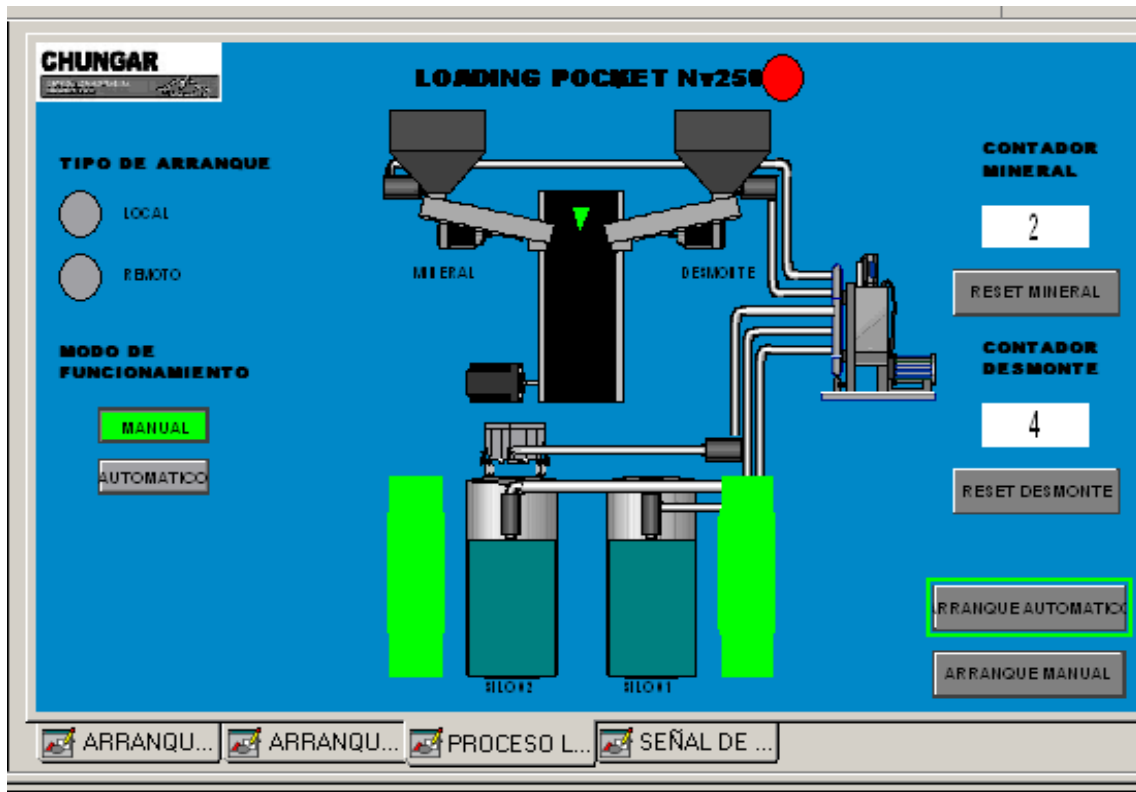


Figura 29: Lógica de control del *Loading Pocket* nv 250 Pique Esperanza
rslogix 500 project report

Compuerta de mineral. *Loading Pocket* nv. 250



Sistema de transferencia de mineral



Pockets de mineral



Sensores inductivos de compuertas



Faja transportadora de mineral



