

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL Y SUPERVISIÓN, PARA
GARANTIZAR LA DOSIFICACIÓN DE CIANURO NECESARIO EN
LAS CELDAS DE RIEGO DURANTE EL PROCESO DE LIXIVIACIÓN
EN MINERA BARRICK MISQUICHILCA S.A.”**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN.

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRÓNICO**

AUTORES : BR. JUAN MIGUEL RODRÍGUEZ ARAUJO
: BR. RUBELI FRANCISCO SAONA CRUZ

ASESOR : ING. LENIN HUMBERTO LLANOS LEÓN

TRUJILLO - PERÚ

2014

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL Y SUPERVISIÓN, PARA GARANTIZAR LA DOSIFICACIÓN DE CIANURO NECESARIO EN LAS CELDAS DE RIEGO DURANTE EL PROCESO DE LIXIVIACIÓN EN MINERA BARRICK MISQUICHILCA S.A.”

AUTORES:

Br. Juan Miguel Rodríguez Araujo

Br. Rubeli Francisco Saona Cruz

APROBADO POR:

Ing. Saul Noe Linares Vertiz
PRESIDENTE
CIP 142213

Ing. Luis Alberto Vargas Díaz
SECRETARIO
CIP 104175

Ing. Oscar Miguel de la Cruz Rodríguez
VOCAL
CIP 85598

ASESOR:

Ing. Lenin Humberto Llanos León
ASESOR
CIP 139213

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado especialmente a mi familia, a mis padres Celso y Noemi, las 2 personas maravillosas que Dios puso para guiarme y estar conmigo en los buenos y malos momentos de mi vida. Gracias madre Noemi, porque tú eres el motor de mi vida y el motivo de mis logros. A mi adorado hermano Pierluigi, quien hace que me dé cuenta cada día que mi vida es un ejemplo para él. A mi segunda mamá Rosa, quien me enseñó la base fundamental de la vida, mi niñez y quien me enseñó que la humildad y el amor a Dios están sobre todas las cosas. A mi abuela María, la gran sabia y maravillosa consejera. A mis tíos y tías: Gloria, Josefina, Michael, Luis, Keny, Rafael, Paola. A mis primos y primas: Nils, Alexander, Jean Pool, Daniel, Justin, etc.

Finalmente dedico este trabajo a mis grandes amigos: Francisco, Franco y Saona y al resto de la promoción 2012-II.

Juan Miguel Rodríguez Araujo

Porque supieron estar conmigo en los buenos y malos momentos, por los buenos consejos que me supieron dar, por su apoyo incondicional, porque de ustedes nunca dejaré de aprender nuevas cosas, por ser los mejores amigos que Dios eligió para mí; por eso y mucho más dedico éste trabajo a mis padres, las personas que más quiero en este mundo.

Rubeli Francisco Saona Cruz

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer primeramente a Dios, porque es mi guía y mi fortaleza y por las bendiciones que siempre trae a mi vida. Agradecer también a mis adorados padres porque mis logros se los debo a ellos, a mis grandes maestros, en especial al Ing. Lenin Llanos y al Ing. Filiberto Azabache, por su apoyo incondicional durante el desarrollo del presente trabajo. Agradecer también a mi compañero y amigo Francisco Saona, por su dedicación durante el desarrollo de este logro.

Juan Miguel Rodríguez Araujo

Doy gracias a Dios por guiarme para poder alcanzar uno a uno mis metas trazadas, a mis padres, por su apoyo incondicional en todo el trayecto de mi formación, a mis hermanos por los buenos y no tan buenos momentos a su lado, a mi gran amigo Juan Miguel por lo compartido durante los cinco años de universidad y a mis maestros, en especial para el Ing. Lenin Llanos y Filiberto Azabache por guiarnos en el desarrollo de este trabajo.

Rubeli Francisco Saona Cruz.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación consiste en analizar y proponer un sistema de control y supervisión, para garantizar la dosificación de cianuro necesario en las celdas de riego durante el proceso de lixiviación en Minera Barrick Misquichilca S.A.

Para esto, se realiza el estudio del estado actual del proceso de lixiviación; así mediante la observación se identifica las deficiencias con las que cuenta el actual sistema de control y supervisión; y en base a una lista de cotejos se detallan los datos operativos, equipos e instrumentos que se utilizan y riesgos expuestos.

Luego de realizar el estudio se propone un sistema automatizado del proceso de lixiviación, para proceder a seleccionar el sistema de control y supervisión del proceso, en base a la cual se selecciona los equipos e instrumentos a utilizar para diseñar el sistema de control y supervisión.

Finalmente se estima los costos de la implementación del sistema de control y supervisión, el cual se encuentra planteado como propuesta de solución ante el problemática identificada.

ABSTRACT

The present research consist analyze and propose a system of control and supervision, to ensure the necessary dosage of cyanide in the cells of irrigation during the leaching process in Minera Barrick Misquichilca S.A.

For this, the study of the current state of the leaching process is performed; and by observing are identified the deficiencies that comprise the current system of control and supervision; and based on a list of collations are detailed operational data, equipment and instruments used and risks involved.

After the study, is proposed an automated system of the leaching process, to proceed select the control system and monitoring the process, based on which, are selected the equipments and instruments used to design the control system and supervision.

Finally are estimated the costs of implementing the monitoring and control system, which is proposed as a proposed of solution to the problem identified.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1. Delimitación del problema	12
1.2. Formulación del problema	12
1.3. Objetivos del estudio.....	12
1.4. Formulación de la Hipótesis.....	12
1.5. Justificación del Estudio.....	13
2. MARCO TEÓRICO	13
2.1. ANTECEDENTES.....	13
2.2. EL PROCESO DE LIXIVIACIÓN.....	14
2.2.1. Descripción del proceso.....	14
2.2.2. El sistema de riego.....	21
2.2.3. Formas de riego	22
2.3. SISTEMAS DE MEDICIÓN	24
2.3.1. Medición de Flujo.....	24
2.3.2. Medición de Presión	29
2.4. CONTROL DE PROCESOS	38
2.4.1. Controlador Lógico Programable - PLC	38
2.4.2. Sistema de Control Distribuido - DCS	43
2.4.3. Comunicaciones	46
2.4.4. OPC – OLE Para control de procesos	48
2.5. SCADA Y TELEMETRÍA	50
2.5.1. Descripción general de un SCADA.....	51
2.5.2. Características de un SCADA	52
2.5.3. Elementos que conforman un sistema SCADA.....	53
2.5.4. Telemetría.....	55
3. MATERIAL Y MÉTODOS	56
3.1. Material	56
3.1.1. Población	56
3.1.2. Muestra	56
3.1.3. Unidad de Análisis	56

3.2. Método	56
3.2.1. Tipo de Investigación	56
3.2.2. Diseño de Investigación	56
3.2.3. Variables de estudio y operacionalización	57
3.2.4. Instrumentos y recolección de datos	59
3.2.5. Procedimiento y análisis de datos	66
4. RESULTADOS	92
5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	101
6. CONCLUSIONES.....	103
7. RECOMENDACIONES	104
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
ANEXOS.....	107

INDICE DE TABLAS:

Tabla N° 3.1: Operacionalización de la variable independiente.....	57
Tabla N° 3.2: Operacionalización de la variable dependiente.....	58
Tabla N° 3.3: Lista de cotejos para evaluar el proceso de Lixiviación.....	65
Tabla N° 3.4: Análisis de datos del proceso de Lixiviación.....	67
Tabla N° 3.5: Listado de señales de control por ECR.....	73
Tabla N° 3.6: Rango de operación y función de Instrumentación.....	78
Tabla N° 3.7: Distribución de equipos para la red de radioenlace.....	86
Tabla N° 3.8: Sets de alarmas por diferencia de presión.....	90
Tabla N° 3.9: Análisis del diseño del sistema de control y supervisión.....	91
Tabla N° 4.1: Análisis y selección del sistema de control y supervisión.....	93
Tabla N° 4.2: Función operativa de equipos e instrumentos seleccionados.....	93
Tabla N° 4.3: Estimación de costos para las ECR.....	100
Tabla N° 4.4: Estimación de costos para las 4 repetidoras.....	100
Tabla N° 4.5: Estimación de costos para licencias de softwares.....	100
Tabla N° 4.6: Estimación de costos Total.....	101

ÍNDICE DE GRÁFICOS:

Figura N° 2.1: Descripción del proceso de Lixiviación.....	15
Figura N° 2.2: PAD de Lixiviación sobre plataformas permanentes.....	18
Figura N° 2.3: Adición de cal y descarga de mineral en PAD de Lixiviación.....	18
Figura N° 2.4: Tendido del sistema de riego por goteo.....	20
Figura N° 2.5: Almacenaje y recuperación de la solución lixiviada.....	21
Figura N° 2.6: Instalación de un sistema de riego.....	22
Figura N° 2.7: Técnica de riego por goteros.....	23
Figura N° 2.8: Técnica de riego por aspersores.....	24
Figura N° 2.9: Transductores de flujo basado en el efecto Venturi.....	26
Figura N° 2.10: Transductores de flujo basado en la medición por presión dinámica.....	27
Figura N° 2.11: Transductores de flujo de turbina.....	27
Figura N° 2.12: Transductores de flujo por inducción electromagnética.....	28
Figura N° 2.13: Clases de presión.....	29
Figura N° 2.14: Diafragma y fuelle.....	31
Figura N° 2.15: Transductor resistivo.....	33
Figura N° 2.16: Puente de Wheatstone para galga extensiométrica.....	35
Figura N° 2.17: Transductor de presión de silicio difundido.....	36
Figura N° 2.18: Transductor piezoeléctrico.....	37
Figura N° 2.19: PLC compacto y PLC modular.....	40
Figura N° 2.20: Topología de un DCS.....	45
Figura N° 2.21: Integración de datos “sin” un Interfaz OPC.....	49
Figura N° 2.22: Integración de aplicaciones mediante un Interfaz OPC.....	50
Figura N° 2.23: Estructura básica de un sistema SCADA.....	53
Figura N° 3.1: Sistema de riego en Minera Barrick Misquichilca.....	61
Figura N° 3.2: Derivación de la tubería secundaria desde la troncal principal.....	62
Figura N° 3.3: Líneas de goteros desde la tubería secundaria.....	62
Figura N° 3.4: Modelamiento en 3D del Pad de Lixiviación de Minera Barrick Misquichilca.....	66
Figura N° 3.5: Diseño P&ID del proceso de Lixiviación por celdas de riego.....	70
Figura N° 3.6: Diagrama de bloques del sistema de control.....	71

Figura N° 3.7: Accionamiento de la válvula de control.....	72
Figura N° 3.8: Diagrama de bloques general del sistema de control y supervisión.....	85
Figura N° 3.9: Intento de intercambio de datos sin un Interfaz OPC.....	88
Figura N° 3.10: Intercambio de datos con un Interfaz OPC.....	88
Figura N° 4.1: Diseño de una Estación de Control de Riego (ECR).....	92
Figura N° 4.2: Esquema físico de la red de Radioenlace entre las ECR con el Nodo Central.....	95
Figura N° 4.3: Mapeo de los PLCs de las ECR con RSLink.....	96
Figura N° 4.4: Adquisición de datos de los PLCs de las ECR con RSLink.....	96
Figura N° 4.5: Integración de OPC DeltaV y OPC RSLink con interfaz “Link Master”....	97
Figura N° 4.6: Pantalla de las ECR de Lixiviación en HMI DeltaV.....	98
Figura N° 4.7: Supervisión de ECR_A con DeltaV.....	98
Figura N° 4.8: Ingreso de Set Point de Densidad de riego y modos de control de operación de una ECR con DeltaV.....	99

1. INTRODUCCIÓN

1.1. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA:

El problema se delimita a realizar un análisis, del proceso de lixiviación, para garantizar la dosificación de cianuro necesario en la celdas riego del Pad de Lixiviación de Minera Barrick Misquichilca S.A.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA:

¿Cómo garantizar la dosificación de cianuro necesario en las celdas de riego, durante el proceso de lixiviación en Minera Barrick Misquichilca S.A.?

1.3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO:

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de control y supervisión para el proceso de lixiviación con el fin de garantizar la dosificación de cianuro necesario en las celdas de riego en Minera Barrick Misquichilca S.A.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Proponer un sistema automatizado del proceso de lixiviación
- Analizar y seleccionar el sistema de control y supervisión
- Seleccionar equipos e instrumentos
- Diseñar el sistema de control y supervisión
- Estimar costos para la implementación del sistema de control y supervisión.

1.4. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS:

El diseño de un sistema de Control y Supervisión en base a un sistema SCADA permitirá garantizar la dosificación de cianuro necesario en las celdas de riego, durante el proceso de lixiviación en Minera Barrick Misquichilca S.A.

1.5. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO:

Teniendo en cuenta las limitaciones en el Control de las variables que intervienen en el sistema de riego del Pad de Lixiviación para la separación de minerales en Minera Barrick Misquichilca, se justifica el principal fin de este proyecto, con la finalidad de mejorar la operación del proceso mediante un sistema de control y supervisión; además de que no existe referencia escrita alguna sobre las bases de diseño para un sistema de Control y Supervisión dedicado a la dosificación de cianuro en las celdas de riego.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES:

Haciendo una pesquisa bibliográfica se han encontrado como antecedentes los siguientes trabajos de investigación relacionados con la temática:

Título: “Diseño de un sistema de monitoreo de flujos en las celdas de riego del PAD de Lixiviación en Minera Barrick Zaldívar”

Autor: Emerson Process Management

Institución: Minera Barrick Zaldívar - Chile

Año de publicación: 2011

Se considera un aporte para este trabajo de investigación, el análisis para la medición de flujo y presión en celdas de riego de un Pad de Lixiviación.

Título: “Manejo de pilas de lixiviación de oro en minera Yanacocha S.R.L.”

Autor: Martínez Manrique José Antonio

Institución: Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Perú

Año de publicación: 2005

Se considera un aporte para este trabajo de investigación, el estudio de la operación productiva del proceso de Lixiviación mediante celdas de riego, sus técnicas de manejo, métodos y calidades de proceso.

2.2. EL PROCESO DE LIXIVIACIÓN:

El proceso de lixiviación por pilas se empleó por primera vez en la extracción del cobre a mediados del siglo XVIII a partir de los minerales oxidados de yacimientos pórpidos.

La sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, en su 59 Informe quincenal define a Lixiviación como: “un proceso hidro-metalúrgico, esto significa que, con la ayuda del agua como medio de transporte, se usan químicos específicos para separar los minerales valiosos (y solubles en dichos líquidos) de los no valiosos”. Y explica que el proceso consiste en regar el material a través de un sistema de goteo, con una solución cianurada (cianuro y agua), la cual disuelve el oro. Mediante un sistema de tuberías colocadas en la base del PAD, la solución disuelta de oro y cianuro – llamada solución rica – pasa a una poza de lixiviación o procesos, desde donde se bombea hacia la planta de procesos.

2.2.1. Descripción del Proceso:

La sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía, se explica en proceso de la siguiente manera.

Primero las áreas de terreno dedicadas a este proceso son lugares amplios y llanos sobre la que se coloca una membrana impermeable (conocida como geo membrana) que aislará el suelo de todo el proceso químico que se ejecutará arriba. Para elegir el área para construir una cancha de lixiviación es necesario el terreno que esta alrededor se acondicione a los trabajos de expansión, sobre todo la pendiente por donde se escurrirá la solución rica hacia las pozas en caso contrario la expansión sería costosa.

Además, en toda el área se acondiciona:

- Un sistema de cañerías distribuidas homogéneamente que se utilizan para transportar y rociar la sustancia lixivante sobre el mineral.
- Un sistema de tuberías (sistema de drenaje) especiales que recogen las soluciones que se irán filtrando a través del material apilado durante el proceso.

Complementariamente se construye una poza (cercana a la zona de lixiviación) en la que se acumulan los líquidos que se obtengan de la lixiviación que luego deben ser tratados para lograr la recuperación final del material fino que se encuentran atrapados en ellos. (Ver figura N°2.1)

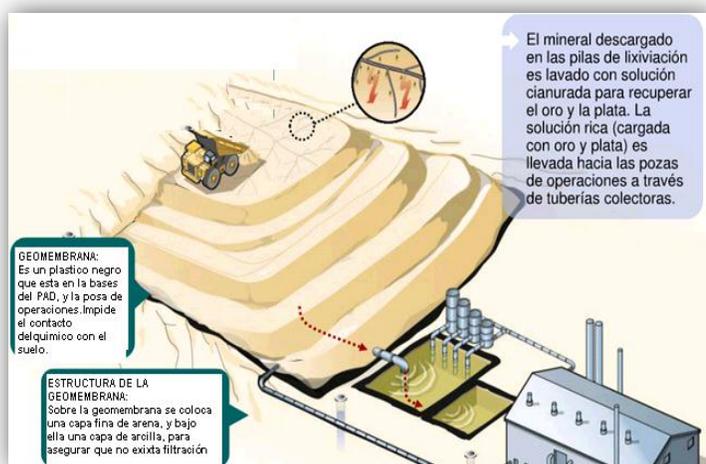


Fig. N° 2.1: Descripción del proceso de lixiviación

Fuente: www.yanacocha.com.pe

A continuación se explicará detalladamente las fases de la etapa de lixiviación, en el proceso de recuperación de minerales:

A. Impermeabilización:

Después de encontrar el área para la construcción y de tener la topografía deseada, se procede a la impermeabilización e instalación del

sistema de colección de solución lixiviada, los pasos que se siguen para esto son:

➤ Impermeabilización de la base:

El terreno acondicionado es cubierto con una capa de material de baja permeabilidad ($1 \cdot 10^{-6}$ cm/seg) llamado Soil Liner (SL), la capa tiene 300 mm de espesor, se compacta para lograr esta permeabilidad, la granulometría es menor a ½ pulg. Esta capa tiene la función de ser aislante, para evitar la percolación de la solución rica en caso de una posible rotura de la geo-membrana.

➤ Colocación de la geo-membrana:

La geo-membrana es colocada una tras otras con un traslape de 20 cm para permitir la soldadura entre las mantas, estas son instaladas desde la base de la cancha hacia el perímetro donde finalmente son anclados en la parte externa de la pila, con esto se evita tensionar la geo-membrana, la formación de pliegues (arrugas) y tensiones en las uniones soldadas.

La geo-membrana es anclada en el perímetro de la pila para evitar que se deformen y darle la rigidez necesaria para soportar las tensiones producidas por la dilatación.

Las uniones soldadas son constantemente evaluadas, las pruebas a las uniones son realizadas dentro de una cápsula de vacío; de encontrarse un defecto sería difícil solucionar alguna rotura, ya que se encontraría cubierto por el mineral. La geo-membrana es de HDPE (Polietileno de alta densidad) o LLDPE (Polietilenos de baja densidad) de 60-mil (152 micras) o HDPE de 80-mil (204 micras).

➤ Proteger la geo-membrana:

La geo-membrana es protegida por una capa de tierra arcillosa y piedras llamado Protective Layer (PL) la granulometría es menor a 2", el espesor de la capa es de 350 mm.

El PL tiene la función de proteger la geo-membrana de los impactos del mineral que se apilará sobre ella, sirve como amortiguación a las tuberías colectoras y matrices, que son instalados sobre el PL.

B. La preparación del Material:

El material extraído de un yacimiento para su lixiviación inicia su camino de preparación con su fragmentación (chancado y molienda) para obtener dimensiones mucho más pequeñas de lo que antes eran grandes pedazos de rocas. El proceso productivo desarrollado en minería, posterior a la trituración ó chancado secundario de la roca, es llevado a un tamaño no superior a 4,3 cm de diámetro.

C. Transporte de material a la zona de Lixiviación:

Luego del chancado y molienda, el material debe ser llevado y dispuesto adecuadamente sobre el área de lixiviación. Por lo general las operaciones mineras usan para ello volquetes gigantes, aunque en algunos casos se realiza este trabajo mediante fajas transportadoras.

D. Formando Pilas:

Jorge Beckel, (2000) en su publicación El proceso hidrometalúrgico de lixiviación en pilas y el desarrollo de la minería cuprífera en Chile, menciona que: El mineral aurífero triturado o no, es colectado sobre un piso o plataforma impermeable (HDPE) formando una pila de una altura determinada, sobre la que se esparce solución lixivante. Entre la utilización del tipo de apilamiento se encuentran las Pilas permanentes. Este método consta en que las nueva pilas se cargan sobre las anteriores, aprovechando o no la impermeabilización además de ser factible una post re-lixiviación.



Figura N°2.2: PAD de Lixiviación sobre plataformas permanentes.

Fuente: www.yanacocha.com.pe

E. Descarga, aglomeración y alcalinización de mineral:

Para el Ing. Sergio Vicuña Díaz (2002) en su publicación “Lixiviación de Oro en Pilas en Minera Yanacocha y el método de recuperación” La descarga del mineral se realiza directamente sobre el Pad tal como sale de mina o del proceso de chancado, luego es arrimado por tractores para ir formando los lifts (elevaciones). Junto con la descarga se adiciona lechada de Cal ya que el mineral tiene un pH natural mayor a 4, es por eso que tiene que adicionarse cal antes de la lixiviación. La idea de este proceso es mantener un ph entre 9 y 11, con el fin de asegurar una buena lixiviación de oro. (URL 01)



Figura N° 2.3: Adición de cal y descarga de mineral en PAD de Lixiviación

Fuente: www.yanacocha.com.pe

F. Distribución de las áreas de lixiviación:

Así mismo, Sergio Vicuña Díaz, menciona además, que el riporto del mineral descargado se realiza para remover el mineral que ha sido compactado en el momento de la descarga y con el fin que exista una buena percolación.

Las celdas son áreas entre 5 y 20 mil metros cuadrados y la altura de los elevamientos son entre 10 ó 12 metros.

G. Riego de mineral:

Según Martínez Manrique J. A. (2005) en su trabajo de grado “manejo de pilas de lixiviación de oro en minería Yanacocha” indica que: El material mineralizado y apilado en celdas, debe ser regado con una solución lixivante, para lo cual se tiende una malla de riego y recolección de soluciones.

La corporación Nacional del cobre de Chile, que para que una lixiviación tenga éxito se tienen que considera una serie de factores, siendo el primero asegurar la permeabilidad de la masa a lixiviar, de manera que el líquido lixivante pase a través de todo el material y que el contacto entre el agente lixivante y el mineral sea el óptimo. El óptimo contacto entre el material y el agente lixivante depende de los siguientes factores, los que deben ser considerados en todas las etapas del proceso:

- La localización de los minerales a disolver
- Volumen del material y distribución de tamaños
- Área expuesta
- Superficie específica
- Tamaño de partículas
- Porosidad
- Presión capilar
- Rugosidad o aspereza de la superficie

El sistema de riego instalado permite distribuir las soluciones ya sea por medio de un sistema de goteros, que hasta pueden estar instalados bajo la superficie de las pilas cuando las condiciones son extremas (por ejemplo a temperaturas muy bajas) o por medio de aspersores tipo wobblers, dependiendo de la evaporación y de la disponibilidad de agua de cada operación.

La tasa de riego ó densidad de riego, dispuesta en la celda a lixiviar, se encuentra expresada en $L/h.m^2$, el cual es un dato obtenido en un laboratorio metalúrgico dependiendo del tipo de mineral que se desea regar.



Figura N°2.4: Tendido del sistema de riego por goteo.

www.barricklatam.com

H. Almacenaje y recuperación:

La sustancia obtenida del proceso de riego es transportada hacia pozas construidas y acondicionadas para almacenarlas en tanto se programe su ingreso a la siguiente etapa del proceso (recuperación y concentración).

Cabe indicar que al igual que se recupera mineral valioso de la sustancia obtenida, se recupera también el agua involucrada en ella, la misma que se reutiliza en los siguientes procesos de lixiviación, buscando hacer un uso más eficiente de este recursos.

De igual forma, el área donde se realiza la lixiviación, es recuperada luego de unos años de uso. Así se procede a restituir la vegetación propia de la zona, cuidando y monitoreando su desempeño.

regadío, cada una de ella tiene 16mm de diámetro y son colocados dinámicamente opuestos, a una determinada separación una de la otra.

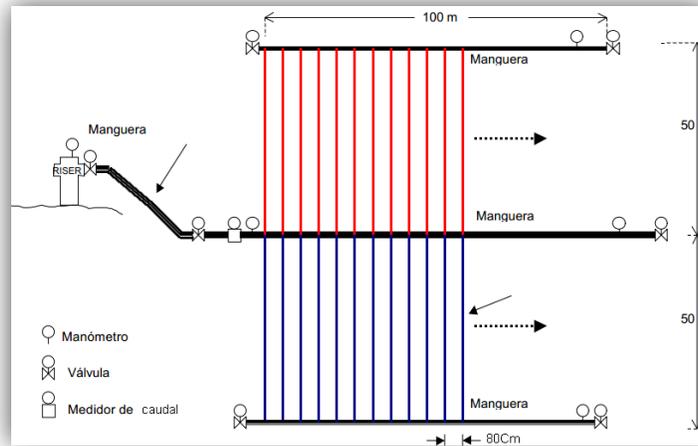


Figura N° 2.6: Instalación de un sistema de riego

Fuente: Martínez Manrique J. A. (2005)

2.2.3. Formas de riego:

Senninger Irrigation (2010), en su publicación “Lixiviación en Pilas – solución Senninger para minería”, menciona que existen 2 técnicas de riego para la lixiviación en pilas.

A) Riego por Goteros:

El objetivo del goteo es controlar en forma precisa el flujo de solución de lixiviación. El goteo reduce la presión en el tubo de goteo desde aproximadamente 138 Kpa (20,015 psi) en la entrada del gotero a 15 psi en el orificio de descarga de la solución. Esto se logra gracias a una serie de orificios perforados en el gotero. El diseño de estos orificios también controla el caudal de descarga del gotero aproximadamente a 12 litros por hora. En la Figura N°2.7, se ilustra el detalle de un gotero.

El emisor consta de dos partes: un núcleo central y una envoltura externa (o manga). El núcleo es esencialmente un tubo hueco que en las paredes tiene una serie de agujeros y ranuras. La envoltura es también un tubo hueco con un diámetro interno levemente mayor que el diámetro

externo del núcleo. El núcleo va instalado dentro de la envoltura para formar el emisor completamente ensamblado. Una serie de emisores se ensamblan a intervalos establecidos en el tubo del emisor de polietileno y se dispersan sobre la superficie de la pila.

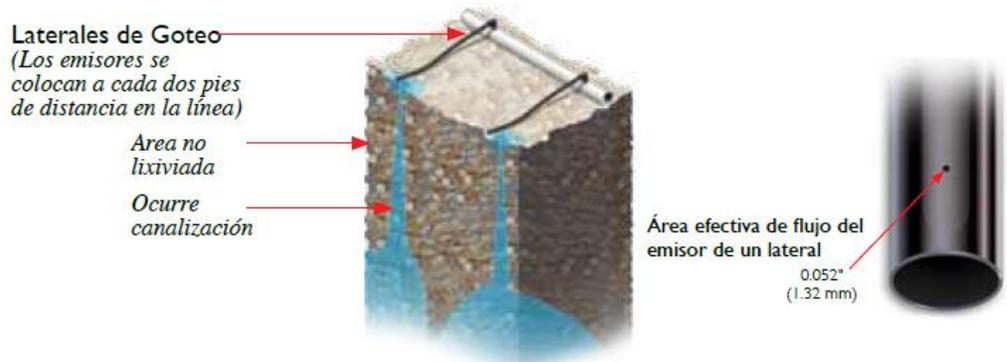


Figura N°2.7: Técnica de riego por goteos

Fuente: Senninger Irrigation (2010)

B) Riego por Aspersores:

El aspersor es utilizado según los requerimientos de planta. A largo del módulo se dispone de aspersores cuyo objetivo es distribuir lo más uniformemente posible la solución en el módulo. El diámetro de los aspersores depende del caudal y la presión con la que se requiera trabajar para tener la tasa de riego adecuada. Los aspersores disponen en su parte superior de una mariposa aspersora la que rocea la solución a una gran distancia a la redonda y en forma uniforme.

Inicialmente los aspersores fueron desarrollados para la irrigación agrícola. Están fabricados de termoplástico de alta densidad, el aspersor tiene solo una parte móvil y ningún resorte metálico. Las únicas partes móviles son el deflector y el trípode, los cuales están sobre una base sujetado por un portaboquilla. La solución que será regada ingresa al aspersor por la base hasta el propulsor y la boquilla. El tamaño de la boquilla es seleccionado para un flujo en particular.

Puesto que la solución sale de la boquilla a alta velocidad, golpea las ranuras en el deflector y trípode. Debido a la fuerza de la solución estas ranuras de deflector y el trípode se balancean y rotan al mismo tiempo. Este movimiento combinado crea un círculo uniforme de solución. El área de aspersión puede ser hasta de (5,5 m) de diámetro, dependiendo de la presión de la solución y el flujo nominal.



Figura N° 2.8: Técnica de riego por aspersores

Fuente: Senninger Irrigation (2010)

2.3. SISTEMAS DE MEDICIÓN:

2.3.1. Medición de flujo:

La medición de flujo se basa en distintos principios según se trate de fluidos compresibles o no (gases o líquidos). Cabe recordar que el flujo puede definirse como una masa por unidad de tiempo o por volumen por unidad de tiempo de un fluido que atraviesa una sección de un cierto ducto. El flujo volumétrico depende solo de la sección considerada y de la velocidad de fluido, pero el flujo másico depende además de la densidad del fluido y esta, a su vez, de la presión y temperatura.

➤ Unidades de razón de flujo volumétrico.

SI: Gases: m³/hr Líquidos: L/min.

Ante la necesidad de obtener o medir el flujo volumétrico, los sensores de flujo suelen estar basados en algunos de los siguientes principios:

- Detección de presión estática (efecto Venturi)
- Detección de presión dinámica sobre un flotador o pistón
- Detección de velocidad por inducción electromagnética

2.3.1.1. Medición por efecto Venturi:

El efecto Venturi consiste en la aparición de una diferencia de presión entre dos puntos de una misma tubería con distinta sección y, por lo tanto, diferente velocidad de paso del fluido. Para fluidos no compresibles, dicha diferencia de presión depende de la relación (d/D) , del flujo y la densidad y, por tanto, de la temperatura.

Basándose en el mencionado efecto, se pueden construir transductores de flujo para líquidos a base de hacer que circulen por un estrangulamiento con diámetros de entrada y salida calibrados y medir la diferencia de presión con un transductor de presión diferencial, tal como se ha indicado. En la figura N° 2.9 se muestra el principio de funcionamiento de estos medidores.

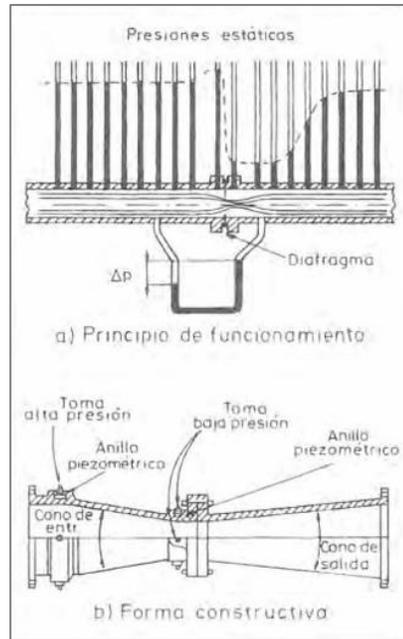


Figura N° 2.9: Transductores de flujo basado en el efecto Venturi

Fuente: Autómatas Programables – Josep Balcells

2.3.1.2. Medidores por presión dinámica:

Estos transductores se basan en el desplazamiento de un pequeño pistón o flotador sometido a la presión dinámica de la corriente de fluido (Figura N° 2.10). Dicha presión equilibra el peso del cuerpo y provoca un desplazamiento del pistón proporcional a la velocidad del fluido. La medición de dicho desplazamiento, permite tener una indicación indirecta de la velocidad. A su vez para fluidos incomprensibles, conociendo la velocidad y la sección de paso se tiene una indicación indirecta del caudal.

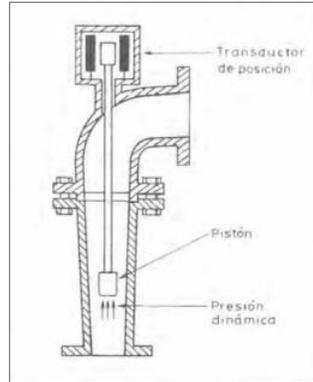


Figura N° 2.10: Transductores de flujo basado en la medición de presión dinámica

Fuente: Autómatas Programables – Josep Balcells

Como variante de esto se pueden considerar los de turbina, donde la presión dinámica hace girar un rodete. La velocidad de giro de en la turbina intercalada en la tubería es proporcional al flujo en el caso de fluidos incompresibles. La medida de dicha velocidad puede hacerse mediante un simple captador inductivo u óptico sin romper la estanquidad de la tubería. La figura N° 2.11 muestra un esquema de principio de este tipo de transductores.

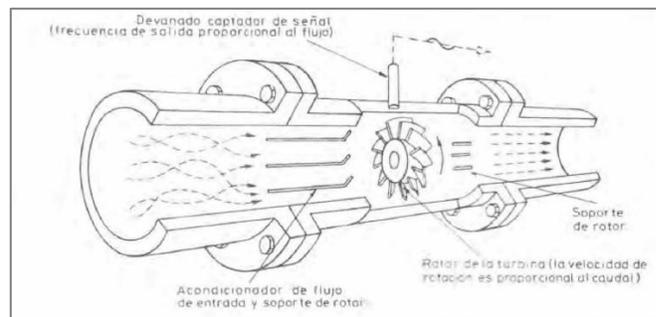


Figura N° 2.11: Transductores de flujo de turbina

Fuente: Autómatas Programables – Josep Balcells

2.3.1.3. Medición por inducción electromagnética:

Este tipo de transductores se basan en la ley de inducción de Faraday, según el cual, sobre un conductor que se desplaza

transversalmente a un campo magnético se genera una f.e.m. proporcional a la longitud del conductor, a su velocidad de desplazamiento y la inducción del campo $E = l(v \wedge B)$

Donde (\wedge) representa el producto vectorial.

En el caso de un fluido conductor en movimiento, se produce por este mismo principio una f.e.m. en sentido perpendicular al movimiento y a la dirección del campo. La figura N° 2.12 muestra un esquema de principio del transductor, en el que se indican las direcciones de movimiento (v), campo (B) y f.e.m. (E), esta última captada por un par de electrodos situados en las paredes de un tubo. La f.e.m. obtenida es proporcional al campo inductor, a la distancia entre electrodos de captación y a la velocidad del fluido. Manteniendo constantes los dos primeros se obtiene una indicación de velocidad y, por tanto, para una sección y densidad constante una indicación de flujo.

El método de medida tiene la ventaja de no entorpecer el flujo, y por tanto, no hay pérdidas de carga ni partes en movimiento. Por otro lado, es apto para líquidos corrosivos o muy viscosos. Como inconvenientes podemos citar que las medidas pueden tener error si la tubería no está totalmente llena o si hay burbujas y que la f.e.m. depende de la permeabilidad magnética de líquido.

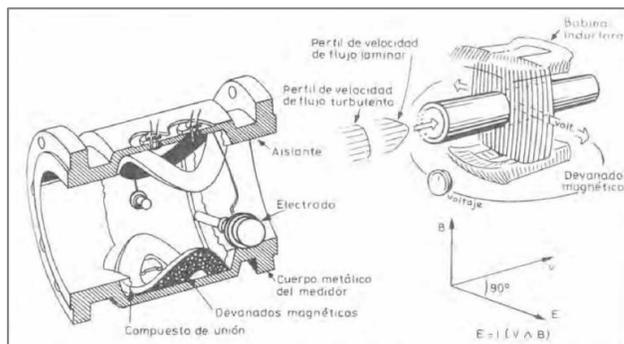


Figura N° 2.12: Transductores de flujo por inducción electromagnética

Fuente: Autómatas Programables – Josep Balcells

2.3.2. Medición de Presión:

La presión se define como una fuerza por unidad de área o superficie, en donde para la mayoría de los casos se mide directamente por su equilibrio directamente con otra fuerza, conocidas que puede ser la de una columna líquida un resorte, un embolo cargado con un peso o un diafragma cargado con un resorte o cualquier otro elemento que puede sufrir una deformación cualitativa cuando se le aplica la presión.

➤ Unidades de medición de presión

Unidades como Pascal, bar, Atmósfera, Kcm2, Psi, etc.

La medición de presión en general se evalúa con respecto a una presión de referencia.

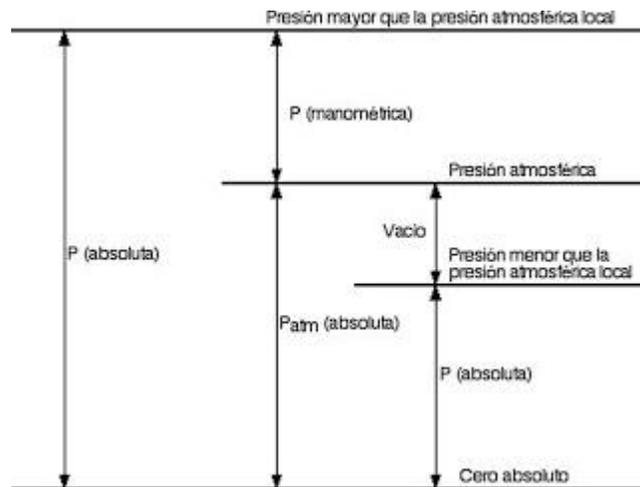


Figura N° 2.13: Clases de presión

Fuente: Antonio Creus solé, Instrumentation Industrial

La Presión Absoluta: Se mide con relación al cero absoluto de presión.

La Presión Atmosférica: Fuerza que ejerce el aire sobre los cuerpos que se hallan en el seno de la atmósfera, y que se mide con el barómetro. A nivel del mar, es de aproximadamente 760 mm. de mercurio absolutos o 14,7 psia (libras por pulgada cuadrada absoluta).

La Presión Relativa: Es la determinada por un elemento que mide la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica del lugar donde se efectúa la medición. Si aumenta o disminuye la presión atmosférica, entonces disminuye o aumenta, respectivamente la presión relativa leída.

La Presión Diferencial: Es la diferencia de presión que existe entre dos presiones.

Vacío: Es la diferencia de presiones entre la presión atmosférica existente y la presión absoluta, es decir, es la presión medida por debajo de la presión atmosférica. Las diferencias de la presión atmosférica influyen considerablemente en las lecturas del vacío.

Los sensores de presión se clasifican en: mecánicos, electromecánicos y electrónicos.

2.3.2.1. Elementos mecánicos:

Podemos dividirlos en elementos primarios de medida directa que miden la presión comparándola con la ejercida por un líquido de densidad y altura conocidas (barómetro cubeta, manómetro de tubo en U, manómetro de tubo inclinado, manómetro de toro pendular, manómetro de campana) y en elementos primarios elásticos que se deforman con la presión interna del fluido que contienen.

Los elementos primarios más empleados son el tubo de Bourdon, el elemento en espiral, el helicoidal, el diafragma y el fuelle.

- El tubo de bourdon:

Es un tubo de sección elástica que forma un anillo casi completo, cerrado por un extremo. Al aumentar la presión en el interior del tubo, éste tiende a enderezarse y el movimiento es transmitido a la aguja indicadora, por un sector dentado y un piñón. La Ley de deformación del tubo Bourdon es bastante compleja y ha sido

determinada empíricamente a través de numerosas observaciones y ensayos en varios tubos.

- El elemento en espiral:

Se forma arrollando el tubo Bourdon en forma de espiral alrededor de un eje común, y el helicoidal arrollando más de una espira en forma de hélice. Estos elementos proporcionan un desplazamiento grande del extremo libre y por ello, son ideales para los registradores.

- El diafragma:

Consiste en una o varias capsulas circulares conectadas rígidamente entre sí por soldadura, de forma que al aplicar presión, cada capsula se deforma y la suma de los pequeños desplazamientos es amplificada por un juego de palancas. El sistema se proyecta de tal modo que, al aplicar presión, el movimiento se aproxima a una relación lineal en un intervalo de medida lo más amplio posible con un mínimo de histéresis y de desviación permanente en el “cero” del instrumento.

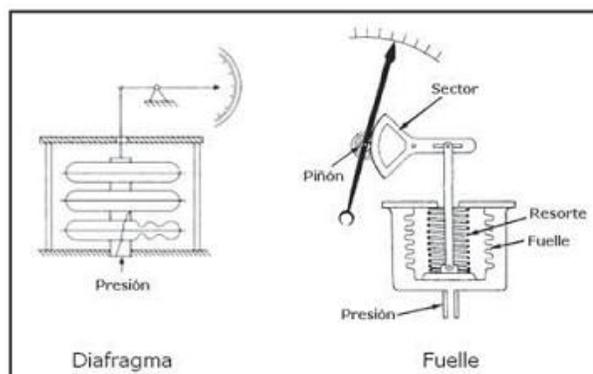


Figura N° 2.14: El diafragma y el fuelle

Fuente: Antonio Creus solé, Instrumentación Industrial

- El fuelle:

Es parecido al diafragma compuesto, pero de una sola pieza flexible axialmente, y puede dilatarse o contraerse con un desplazamiento considerable.

2.3.2.2. Elementos electromecánicos:

Los elementos electromecánicos de presión utilizan un elemento mecánico elástico combinado con un transductor eléctrico que genera la señal eléctrica correspondiente. El elemento mecánico consiste en un tubo Bourdon, espiral, hélice, diafragma, fuelle o una combinación de los mismos que, a través de un sistema de palancas convierte la presión en una fuerza o en un desplazamiento mecánico.

Los elementos electromecánicos de presión se clasifican según el principio de funcionamiento en los siguientes tipos:

- Transductores resistivos:

Constituyen, sin duda, uno de los transmisores eléctricos más sencillos. Consisten en un elemento elástico (tubo Bourdon o capsula) que varía la resistencia ohmica de un potenciómetro en función de la presión. El potenciómetro puede adoptar la forma de un solo hilo continuo o bien estar arrollado a una bobina siguiendo un valor lineal o no de resistencia. Existen varios tipos de potenciómetro según sea el elemento de resistencia: potenciómetros de grafito, de resistencia bobinada, de película metálica y de plástico moldeado. En la Figura N° 2.15 puede verse un transductor resistivo representativo que consta de un muelle de referencia, el elemento de presión y un potenciómetro de precisión. El muelle de referencia es el corazón del transductor ya que su desviación al comprimirse

debe ser únicamente una función de la presión y además debe ser independiente de la temperatura, de la aceleración y de otros factores ambientales externos.

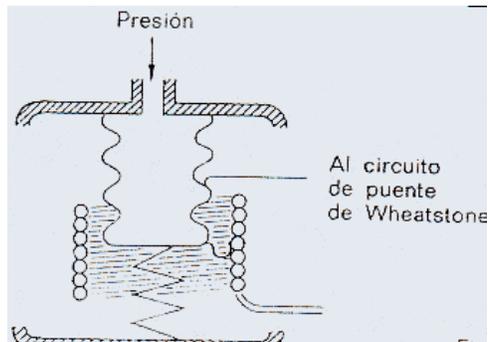


Figura N° 2.15: Transductor resistivo

Fuente: Antonio Creus sole, Instrumentation Industrial

El movimiento del elemento de presión se transmite a un brazo móvil aislado que se apoya sobre el potenciómetro de precisión. Este está conectado a un circuito de puente de Wheatstone.

Los transductores resistivos son simples y su señal de salida es bastante potente como para proporcionar una corriente de salida suficiente para el funcionamiento de los instrumentos de indicación sin necesidad de amplificación. Sin embargo, son insensibles a pequeños movimientos del contacto del cursor, muy sensibles a vibraciones y presentan una estabilidad pobre en el tiempo.

El intervalo de medida de estos transmisores corresponde al elemento de presión que utilizan (tubo Bourdon, fuelle, etc.) y varía en general de 0-0,1 a 0-300 kg/cm². La precisión es del orden de 1-2 %.

- Galgas extensométricas:

Se basan en la variación de longitud y de diámetro, y por lo tanto de resistencia, que tiene lugar cuando un hilo de resistencia se

encuentra sometido a una tensión mecánica por la acción de una presión.

Existen dos tipos de galgas extensométricas: galgas cementadas, formadas por varios bucles de hilo muy fino que están pegados a una hoja base de cerámica, papel o plástico, y galgas sin cementar en las que los hilos de resistencia descansan entre un armazón fijo y otro móvil bajo una ligera tensión inicial.

En ambos tipos de galgas, la aplicación de presión estira o comprime los hilos según sea la disposición que el fabricante haya adoptado, modificando pues la resistencia de los mismos.

La galga forma parte de un puente de Wheatstone Figura N° 2.16 y cuando está sin tensión tiene una resistencia eléctrica determinada. Se aplica al circuito una tensión nominal tal que la pequeña corriente que circula por la resistencia crea una caída de tensión en la misma y el puente se equilibra para estas condiciones.

Cualquier variación de presión que mueva el diafragma del transductor cambia la resistencia de la galga y desequilibra el puente.

El intervalo de medida de estos transductores varía de 0-0,6 a 0-10 000 bar y su precisión es del orden de $\pm 0,5\%$

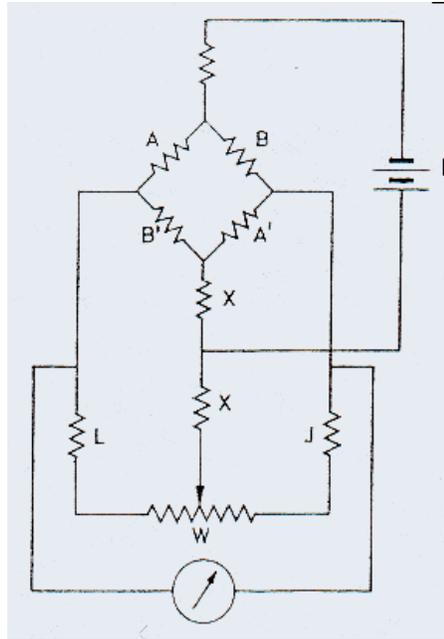


Figura N° 2.16: Puente de Wheatstone para galga extensométrica.

Fuente: Antonio Creus sole, Instrumentation Industrial

Una innovación de la galga extensométrica la constituyen los transductores de presión de silicio difundido. Consisten en un elemento de silicio situado dentro de una cámara conteniendo silicona que está en contacto con el proceso a través de un diafragma flexible. El sensor está fabricado a partir de un monocristal de silicio en cuyo seno se difunde boro para formar varios puentes de Wheatstone constituyendo así una galga extensométrica auto contenida. El espesor del sensor determina el intervalo de medida del instrumento.

El sensor con su puente Wheatstone incorporado forma parte del circuito de la Figura N° 2.17.

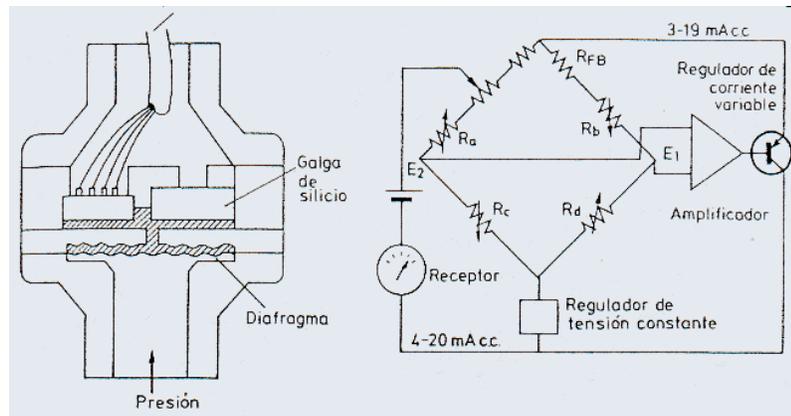


Figura N° 2.17: Transductor de presión de silicio difundido

Fuente: Antonio Creus sole, Instrumentation Industrial

Cuando no hay presión, las tensiones E_1 y E_2 son iguales y, al aplicar la presión del proceso R_b y R_c , disminuyen su resistencia y R_a y R_d la aumentan dando lugar a caídas de tensión distintas y a una diferencia entre E_1 y E_2 .

Esta diferencia se aplica a un amplificador diferencial de alta ganancia que controla un regulador de corriente variable. Un margen de corriente continua de 3 a 19 mA con 1 mA del puente produce una señal de salida de 4 a 20 mA c.c. Esta corriente circula a través de la resistencia de realimentación R_{fb} y produce una caída de tensión que equilibra el puente. Como esta caída es proporcional a R_{fb} esta resistencia fija el intervalo de medida (span) del transductor. El cero del instrumento se varía intercalando resistencias fijas en el brazo izquierdo del puente (cero basto) y un potenciómetro en el brazo derecho (cero fino).

La adición de un microprocesador permite añadir “inteligencia” al instrumento al hacer posible funciones adicionales, tales como la compensación de temperatura ambiente, proporcionando un aumento de la precisión de la medida, en particular si la señal de salida del instrumento es enteramente digital en lugar de la analógica de 4-20 mA c.c.

- Transductores piezoeléctricos:

Los elementos piezoeléctricos, según la figura N° 2.18 son materiales cristalinos que, al deformarse físicamente por la acción de una presión, generan una señal eléctrica. Dos materiales típicos en los transductores piezoeléctricos son el cuarzo y el titanato de bario, capaces de soportar temperaturas del orden de 150° C en servicio continuo y de 230° C en servicio intermitente.

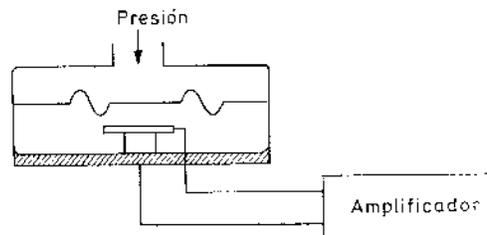


Figura N° 2.18: Transductor piezoeléctrico

Fuente: Antonio Creus sole, Instrumentation Industrial

Son elementos ligeros, de pequeño tamaño y de construcción robusta. Su señal de respuesta a una variación de presión es lineal y son adecuados para medidas dinámicas, al ser capaces de respuestas frecuenciales de hasta un millón de ciclos por segundo. Tienen la desventaja de ser sensibles a los cambios en la temperatura y de experimentar deriva en el cero y precisar ajuste de impedancias en caso de fuerte choque. Asimismo, su señal de salida es relativamente débil por lo que precisan de amplificadores y acondicionadores de señal que pueden introducir errores en la medición.

2.4. CONTROL DE PROCESOS:

Según José Acedo Sánchez (2004), en los primeros tiempos de la industria, las plantas eran supervisadas y controladas manualmente, basándose en las indicaciones de instrumentos instalados en campo, como muestra la figura XXX. La supervisión requería que el operador estuviera en planta para llevar a cabo el control manual directo del proceso.

Desarrollos posteriores en la instrumentación, tal como sensores con posibilidad de transmitir las principales variables de proceso (temperatura, presión, nivel, caudal), así como controladores mecánicos, hidráulicos y neumáticos, contribuyeron en los años cuarenta a la automatización gradual de las plantas. La tendencia de automatización continuó durante los años cincuenta al parecer los instrumentos electrónicos. Todo ello condujo a la centralización en salas donde se ubicaron los elementos necesarios para llevar a cabo la supervisión y control.

Con la introducción de las señales para transmisión, tanto neumáticas (3-15 PSI) como electrónicas (4-20mA), los distintos fabricantes hicieron compatibles los elementos que componen un lazo de control, como sensor, transmisor, controlador, convertidor, elemento final, indicador, registrador, etc. Esto simplificó el diseño, instalación, operación y mantenimiento de los sistemas de control industriales.

2.4.1. Controlador Lógico Programable – PLC:

Para José Acedo Sánchez (2004), un PLC es un controlador electrónico capaz de ejecutar una lógica programada por software para control industrial de máquinas, líneas de ensamblado, etc. La programación inicial fue en “lógica escalera” (ladder) que emula el cableado eléctrico usado con relés y presenta simplicidad para ser usado por técnicos de planta, con una clara ventaja sobre el “re-cableado” asociado con cambios de lógica. Tradicionalmente, poseen su mayor aplicación en procesos de manufacturas donde la mayoría de las señales de entrada/salida (I/O) son digitales y se requiere alta velocidad de ejecución (tiempos de ciclo del orden de milisegundos). Con el tiempo, los PLCs han incorporado funcionalidades de

DCS tales como bloques de control PID, I/O analógicos, protocolos de comunicación, etc.

Un PLC se compone típicamente de una unidad de procesamiento, una unidad de memoria, módulos de I/O e interfaces de comunicación. Es fácil de programar y dispone actualmente de varios lenguajes regidos por la norma IEC 61131-3 que se adaptan a diferentes necesidades, ampliando la oferta inicial de lógica escalera.

En caso de ser necesaria la supervisión del proceso controlado, se conectan a interfaces hombre-máquina (HMIs) que pueden ser desde paneles industriales a PCs con un software SCADA que cumple las funciones de adquisición de datos, supervisión y operación del proceso.

Además la interconexión con otros PLCs y HMIs, requiere normalmente de un trabajo de integración manual, donde se define un protocolo de comunicación común, se asignan registros y sus direcciones de hardware, y se programa la comunicación. Esto tiene algunas desventajas al momento de modificar o reasignarlos, dado que se trabaja con bases de datos separadas.

2.4.1.1. Estructura general de un PLC:

José Acedo Sánchez (2004), menciona además que se puede encontrar dos tipos de autómatas. De acuerdo a su estructura pueden ser compactas o modulares, en el primer caso se distingue por presentar en un solo bloque todos sus elementos, esto es, fuente de alimentación, CPU, memorias, entradas/salidas, etc. las Entradas y salidas son limitadas y los autómatas no permiten expansiones, generalmente son dispositivos de bajo costo.

Para el segundo caso, su característica principal es la de que existe un módulo para cada uno de los diferentes elementos que componen el autómata como puede ser una fuente de alimentación, CPU, E/S, etc. La sujeción de los mismos se hace por carril DIN, placa perforada o sobre RACK, en donde va alojado el BUS externo de unión de los

distintos módulos que lo componen. El PLC admite la configuración de hardware que esté disponible para su gama de productos correspondientes, y puede ser reconfigurado por medio de la incorporación o eliminación de módulos extraíbles. Sin embargo los PLC se componen esencialmente de alguna parte comunes a todos los modelos.



Figura N° 2.19: PLC compacto y PLC modular

Fuente: www.ab.rockwellautomation.com

a. Fuente de alimentación:

Convierte la tensión de la red, 110 ó 220V AC a baja tensión de CC (24V por ejemplo) que es la que se utiliza como tensión de trabajo en los circuitos electrónicos que forma el autómata.

b. CPU (Central Processing Unit):

La Unidad Central de Procesos es el auténtico cerebro del sistema. Es el encargado de ejecutar el program del usuario y de ordenar la transferencia de información en el sistema de entradas/salidas.

Para ejecutar el programa, la CPU adquiere sucesivamente las instrucciones de la memoria, y realiza las operaciones específicas de las mismas.

c. Módulos o interfaces de entrada y salida:

Las interfaces de entrada y salida establecen la comunicación

entre la CPU y el proceso. Filtrando adaptando y codificando de forma comprensible para la CPU las señales procedentes de los elementos de entrada, y decodificando y amplificado las señales generadas durante la ejecución del programa antes de enviarlas a los elementos de salida.

Generalmente las interfaces de entrada/salida son las siguientes:

Entradas:

- Corriente continua a 24 o 48 Vcc
- Corriente alterna a 110 o 220 Vca
- Analógicas de 0-10 Vcc o 4-20 Ma

Salidas:

- Por relé
- Estáticas por triac a 220 Vac máximo
- Colector abierto para 24 o 48 Vcc
- Analógicas de 0-10 Vcc o 4-20 Ma

d. Módulos de Entrada Discreta:

Estas tarjetas electrónicas se usan como enlace o interfaces entre los dispositivos externos, denominados también sensores, y la CPU del PLC.

Estos sensores son los encargados de leer los datos del sistema, que para este caso solo son del tipo discreto, además, tienen la característica de comunicar los 2 estados lógicos: activado/desactivado, o lo que es lo mismo, permitir el paso o no de la señal digital (1 o 0). Los sensores pueden ser del tipo manual (pulsadores, conmutadores, selectores, etc.) o del tipo automático (finales de carrera, detectores de proximidad inductivos o capacitivos, interruptores de nivel, etc.)

e. Módulos de Salida Discreta:

Al igual que los módulos se usan como interface entre la CPU del controlador programable y los dispositivos externos (actuadores), en la que solo es necesario transmitirle dos estados lógicos, activado o desactivado. Los actuadores que se conectan a estas interfaces pueden ser: contactores, relés, lámparas indicadoras, electroválvulas, displays, anunciadores, etc.

f. Módulos de Entrada Analógica:

Los módulos de entrada analógica son tarjetas electrónicas que tienen como función, digitalizar las señales analógicas para que puedan ser procesadas por la CPU. Estas señales analógicas que varían continuamente, pueden ser magnitudes de temperaturas, presiones, tensiones, corrientes, etc.

A estos módulos, según su diseño, se les puede conectar un número determinado de sensores analógicos. A estos terminales de conexiones, se les conoce como canales. Existen tarjetas de 4, 8, 16 y 32 canales de entrada analógica.

Estos módulos se distinguen por el tipo de señal que reciben, pudiendo ser de tensión (V) o de corriente (mA) los que se encuentren dentro de ciertos rangos estandarizados. Los más difundidos son:

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

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

La ventaja de trabajar con señales de corriente y no con señales de tensión, radica en que no se presentan los problemas del ruido eléctrico y de caída de tensión.

g. Módulos de Salida Analógica:

Estos módulos son usados cuando se desea transmitir hacia los actuadores analógicos señales de tensión o de corriente que varían

continuamente.

Su principio de funcionamiento puede considerarse como un proceso inverso al de los módulos de entrada analógica.

Las señales analógicas de salida son de 2 tipos, señales de corriente y señales de tensión. Dentro de los valores estandarizados tenemos:

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

Señal de Tensión: 0-10V, ± 10 V

h. Módulos de Memoria:

Son dispositivos electrónicos, destinados a guardar información de manera provisional o permanente, como las memorias internas que almacena el estado de las variables que maneja el autómeta; o como la memoria de programa, normalmente externa y enchufable a la CPU que almacena el programa escrito por el usuario para su aplicación.

Se cuentan con dos tipos de memorias, volátiles (RAM) y no volátiles (EPROM Y EEPROM) según requieran o no de energía eléctrica para la conservación de la información. La capacidad de memoria de estos módulos se diseñan para diferentes tamaños, las más típicas son: 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256 Kb, y más, excepcionalmente. Por lo general los fabricantes de autómetas ofrecen la posibilidad de trabajar con memorias RAM para la fase de desarrollo y depuración de programas, y de pasar a memorias no volátiles EPROM o EEPROM una vez finalizado esta fase.

2.4.2. Sistema de Control Distribuido – DCS:

Antonio Creus Sole (2007), sostiene que en un sistema de control distribuido (DCS por sus siglas en Ingles) es un sistema jerarquizado en varios niveles con uno o varios microprocesadores controlando las variables que están

repartidas por toda la planta, conectados por un lado a las señales de los transmisores de las variables y por el otro lado a las válvulas de control u otros elementos finales de control. La filosofía de este control es distribuir el riesgo de fallo (limitando sus consecuencias) agrupando los instrumentos de tal forma que los diversos estados de operación, reserva y espera que puedan adoptar los microprocesadores de control disminuyan la probabilidad de la ocurrencia de dos o más fallos simultáneos.

El sistema comprende estaciones de operación que actúan como interfaces hombre-máquina, controladores donde reside la lógica, módulos de entrada/salida que proveen la conexión a campo y redes de comunicación que los interconectan. Es usual que los módulos de I/O encuentren distribuidos por la planta en estaciones remotas a efectos de reducir el cableado a campo, y a su vez comunicados a los controladores por protocolos de comunicación de campo (buses de campo o “Fieldbus”).

Introducido en 1975, el DCS fue diseñado principalmente para control de procesos en grandes industrias tales como minerías, petroquímicas, refinerías, papel (entre 3,000 y 20,000 puntos de I/O); en contraposición con el control discreto de máquinas realizado típicamente por PLCs. Inicialmente se utilizó para reemplazar los instrumentos de panel analógicos, con interfaces que simulan la vista frontal de estos paneles (“Faceplates”). En consecuencia, la mayoría de las señales de I/O manejadas eran analógicas (4-20mA, 0-10V, etc), representando variables de proceso tales como temperatura, presión, caudal, PH, etc. Se destaca por su funcionalidad para control continuo (Lazos de Control PIDa, etc.), control secuencial. Control por lotes (batch), así como alarmas, tendencias, diagnósticos y posibilidad de usar algoritmos complejos de control.

Así mismo, el Artículo Técnico de ABB (2012), menciona que la confiabilidad y robustez son esenciales dada la criticidad de los procesos que controla, por lo cual el concepto de redundancia es integral a un DCS. Presenta posibilidades de redundancia a nivel de controladores, módulos de

I/O, servidores y redes de comunicación. Esto otorga una mayor tolerancia a fallas (continuidad del proceso ante la falla en un componente) elevando la disponibilidad del equipamiento en general. La necesidad de velocidad de ejecución de la lógica no es tan exigente como en los PLCs, siendo el orden de décimas de segundo.

En la Figura N° 2.20, se muestra la arquitectura típica de un DCS. Se diferencian 3 capas vinculadas por redes de comunicación:

- **Capa de Operación:** PCs Servidores y estaciones de operación.
- **Capa de Control:** Controladores de proceso.
- **Capa de Campo:** Módulos de I/O, buses de campo, dispositivos de campo (instrumentación, accionamientos, etc.)

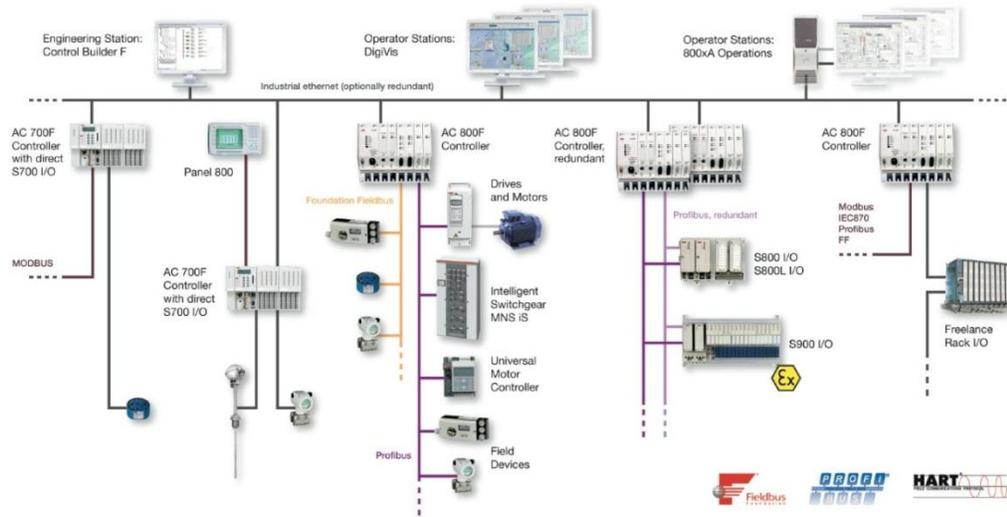


Figura N° 2.20: Topología de un DCS

Fuente: www.abb.com

Un concepto clave del DCS es que todos estos elementos confirman un único sistema que se maneja integralmente, por lo cual no es necesario desarrollar las interfaces entre ellos y se utilizan herramientas de ingeniería centralizadas que permiten la configuración de todo el sistema desde una única estación.

2.4.3. Comunicaciones:

Para Antonio Creus Sole (2007), Las comunicaciones entre los instrumentos de procesos y el sistema de control se basan en señales analógicas neumáticas, electrónicas y digitales, siendo estas últimas capaces de manejar grandes volúmenes de datos y guardarlos en unidades históricas, las que están aumentando día a día sus aplicaciones.

En áreas remotas o de difícil acceso tienen cabida los transmisores sin hilos típicamente de presión, señales acústicas y temperatura que transmiten sus medidas a un aparato base radio conectado a un sistema de control o de adquisición de datos.

La exactitud de las señales digitales es de unas 10 veces mayor que la señal clásica de 4-20mA. En lugar de enviar cada variable por un par de hilos (4-20mA), transmiten secuencialmente las variables a través de un cable de comunicaciones llamado bus.

Las interfaces serie más conocidas son:

a. RS-232: (También conocido como Electronic Industries Alliance RS-232C) es una interfaz que designa una norma para el intercambio serie de datos binarios entre un DTE (Equipo terminal de datos) y un DCE (Data Communication Equipment, Equipo de Comunicación de datos), aunque existen otras en las que también se utiliza la interfaz RS-232. Dispone de 3 conductores, uno de transmisión, otro de recepción y un tercero de retorno de corriente común para ambos tipos de datos. Los datos se transmiten en lógica negativa, es decir, los “unos” se traducen en una tensión continua negativa y los “ceros” en una tensión continua positiva. La tensión más comúnmente utilizada es $\pm 12V$ c.c. La distancia máxima de transmisión entre el equipo de transmisión de datos (DTE) y el equipo de comunicación de datos (DCE) es de unos 15 metros y la velocidad de transmisión máxima es de 20 kbaud, 9200 baudios en el entorno industrial, (1baudio = 1 bit/segundo).

- b. RS-485:** Está definido como un sistema en bus de transmisión multipunto diferencial, es ideal para transmitir a altas velocidades sobre largas distancias (35 Mbps hasta 10 metros y 100 kbps en 1200 metros) ya través de canales ruidosos, ya que reduce los ruidos que aparecen en los voltajes producidos en la línea de transmisión. El medio físico de transmisión es un par entrelazado que admite hasta 32 estaciones en 1 solo hilo, con una longitud máxima de 1200 metros operando entre 300 y 19200 bps y la comunicación half-duplex (semiduplex). Soporta hasta 32 transmisiones y 32 receptores.
- d. Modbus:** Es un protocolo de comunicaciones situado en el nivel 7 del modelo OSI, basado en la arquitectura maestro/esclavo o cliente/servidor, diseñado en 1979 por *Modicon* para su gama de controladores lógicos programables (PLCs). Convertido en un protocolo de comunicaciones estándar de facto en la industria es el que goza de mayor disponibilidad para la conexión de dispositivos electrónicos industriales.
- e. Profibus:** (Process Field Bus) es una red abierta, estándar e independiente de cualquier fabricante. Dispone de 3 perfiles de usuario: PROFIBUS FMS, PROFIBUS DP y PROFIBUS PA (automatización de procesos incluso en áreas con riesgo de explosión, comunicación con equipos de campo).
- f. Foundation Fieldbus:** Es un bus de datos digitales, serie y multipunto entre dispositivos de campo y/o sistemas de un entorno industrial. La idea básica del estándar fieldbus, es obtener más información sobre el proceso y sobre el propio instrumento, que naturalmente debe ser inteligente (Smart).
- g. Ethernet I/P:** Protocolo para la comunicación en una red a través de paquetes conmutados, es principalmente usado en Internet. Los datos se envían en bloques conocidos como paquetes (datagramas) de un

determinado tamaño (MTU). El envío es no fiable (conocido también como *Best Effort* o mejor esfuerzo); se llama así porque el protocolo IP no garantiza si un paquete alcanza o no su destino correctamente. Un paquete puede llegar dañado, repetido, en otro orden o no llegar. Para la fiabilidad se utiliza el protocolo TCP de la capa de transporte.

2.4.4. OPC – OLE para Control de Procesos:

Aquilino Rodríguez Penin (2012), menciona que en el control de procesos, se ha necesitado un lenguaje común desde hace buen tiempo, este es OLE para Control de Procesos (OPC) que es uno de los más promisorios. OPC es un conjunto normalizado de interfaces, propiedades y métodos que definen cómo componentes individuales de programa pueden interactuar y compartir información.

El OPC es un estándar abierto para compartir datos entre dispositivos de campo y aplicaciones de ordenador basado en OLE de Microsoft. Permite a las aplicaciones leer y escribir valores de proceso y que los datos sean compartidos fácilmente en una red de ordenadores.

Los componentes OPC se pueden clasificar en Clientes o Servidores:

- **Cliente OPC (OPC Cliente):**
Es una aplicación que sólo utiliza datos, tal como hace un paquete SCADA. Cualquier cliente OPC se puede comunicar con cualquier servidor OPC sin importar el tipo de elemento que recoge esos datos (el aspecto que veremos, desde el punto de vista de los datos, será siempre similar, sin importar el fabricante del equipo).
- **Servidor OPC (OPC server)**
Es una aplicación que realiza la recopilación de datos de los diversos elementos de campo de un sistema automatizado y permite el acceso libre a estos elementos.

Las aplicaciones que requieren servicios, es decir datos, desde el nivel de automatización para procesar sus tareas, los piden como clientes desde los componentes de automatización, quienes a la vez proveen la información requerida como servidores. La idea básica del OPC está en normalizar el interface entre el servidor OPC y el cliente OPC independientemente de cualquier fabricante particular.

La Figura N° 2.21, muestra la conexión entre los equipos de automatización y sus softwares para le respectiva integración de datos, lo cual en su mayoría presentan distintos inconvenientes, tales como:

- ✓ Problemas de Compatibilidad. Distintas formas de acceder a los datos.
- ✓ Duplicidad de Esfuerzo.
- ✓ Inconsistencia entre los Fabricantes.
- ✓ Conflictos de Acceso, configuraciones distintas.

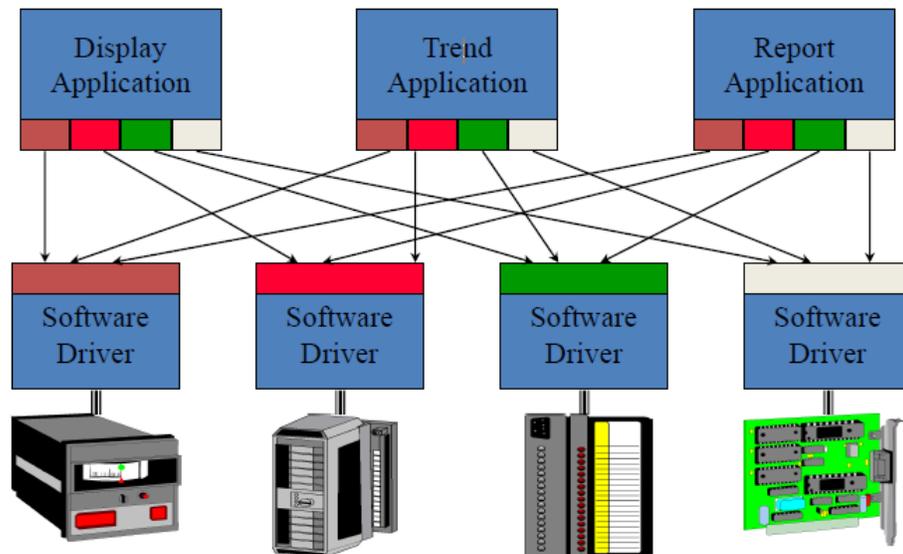


Figura N° 2.21: Integración de datos “sin” un Interfaz OPC

Fuente: Aquilino Rodríguez Penin (2012)

Lo que se necesitaría para las aplicaciones es una manera común de acceder a los datos de cualquier fuente, debido a la independencia software de los

fabricantes. Es por esto que mediante un Interfaz OPC, la comunicación entre aplicativos y los dispositivos de campo se hacen de manera transparente, lo que conllevaría a que los fabricantes de hardware solo tendrían que hacer un conjunto de componentes de programa para que los clientes los utilicen en sus aplicaciones, además no tendrían que adaptar los drivers ante cambios de hardware.

Figura N° 2.22 muestra el enlace de las aplicaciones, Clientes OPC y Servidores OPC mediante un único Interfaz OPC. Se observa además que un cliente OPC se puede conectar a varios Servidores OPC a la misma vez y viceversa.

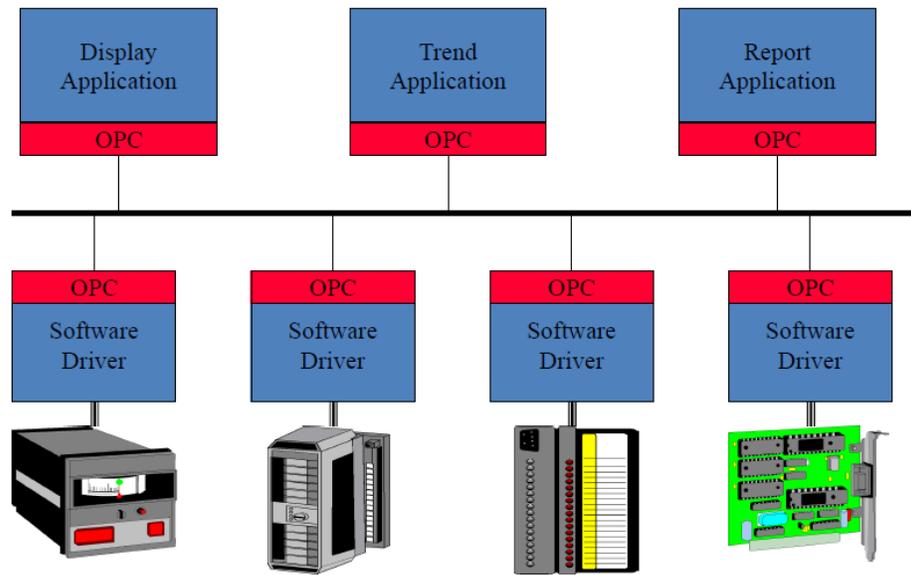


Figura N° 2.22: Integración de aplicaciones mediante un Interfaz OPC

Fuente: Aquilino Rodríguez Penin (2012)

2.5. SCADA Y TELEMETRÍA:

La supervisión, en el hecho de mantener un control y un monitoreo constante de todos los procesos que forman parte de una planta industrial se ha convertido hoy en día en una necesidad indispensable para las empresas que buscan siempre aumentar su productividad.

La industria posee cada vez procesos productivos más automatizados, complejos y en los que coexiste una gran diversidad de elementos como son los autómatas, ordenadores, accionamientos neumáticos, robots, etc. Por lo que la principal función de la supervisión es la centralización de estos elementos provenientes de toda una red industrial de diferentes procesos que componen la planta, en donde el trabajador u operario, a través de una pantalla simulador o un computador, controla los procesos en mayor o menor grado en que se están realizando

2.5.1. Descripción General de un SCADA:

Macaulay, T. – Singer, B. (2012), menciona que: SCADA es el acrónimo de Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos). Un SCADA, es un sistema industrial de mediciones, control y supervisión que consiste en una computadora principal o Máster (generalmente llamada Estación Principal, Máster Terminal Unit o MTU), una o más unidades de control obteniendo datos de campo (generalmente llamadas estaciones remotas, Remote Terminal Unit, o RTU's) y un conjunto de aplicaciones software estándar y/o a medida, usado para monitorear y controlar remotamente en tiempo real con las variables de proceso mediante la comunicación digital con los instrumentos y actuadores, e interfaz gráfica de alto nivel con el usuario.

El control puede ser automático, o iniciado por comandos de operador. La adquisición de datos es lograda en primer lugar por los RTU's, que exploran las entradas de información de campo conectadas con ellos (pueden también ser usados PLC's – Programmable Logic Controllers, Controlador Logico Programable). Esto se hace generalmente a intervalos muy cortos. La MTU entonces explorará los RTU's generalmente con una frecuencia menor. Los datos se procesarán para detectar condiciones de alarma, y si una alarma estuviera presente, sería catalogada y visualizada en listas especiales de alarmas.

2.5.2. Características de un Sistema SCADA:

Aquilino Rodríguez Penin (2012), sostiene además que Sistemas de control hay muchos y muy variados, y todos bien aplicados, ofrecen soluciones óptimas en entornos industriales. Lo que hace de los sistemas SCADA una herramienta diferente es la característica de *control supervisado*. De hecho, la parte de control viene definida y supeditada, por el proceso a controlar, y en última instancia, por el hardware e instrumental de control o algoritmos lógicos de control aplicados sobre la planta, los cuales pueden existir previamente a la implantación del sistema SCADA, el cual se instalará sobre y en función de estos sistemas de control.

En consecuencia, supervisamos el control de la planta y no solamente monitorizamos las variables que en un momento determinado están actuando sobre la planta; esto es, podemos actuar y variar las variables de control en tiempo real.

Las principales características de un sistema SCADA son:

- Adquisición y almacenamiento de datos, cuyo fin es la recolección y procesamiento de datos para su posterior almacenamiento, despliegue, transmisión o manipulación matemática para la obtención de información adicional.
- Ejecuta acciones de control. Es un sistema en el que la información de diferentes parámetros se concentran en un lugar para su procesamiento y como criterio para ejecutar alguna acción de control.
- Arquitectura abierta y flexible, capacidad de ampliación y adaptación.
- Conectividad con otras aplicaciones y bases de datos locales o distribuidos en redes de comunicación.
- Transmisión e información con dispositivos de campo y otras PCs.
- Representación gráfica y animada de variables de proceso y monitorización de estas por medio de alarmas.

2.5.3. Elementos que conforman un sistema SCADA:

Macaulay, T. – Singer, B. (2012), menciona además que un sistema SCADA, como aplicación de software industrial específica, necesita ciertos componentes inherentes de hardware en su sistema, para poder tratar y gestionar la información captada.

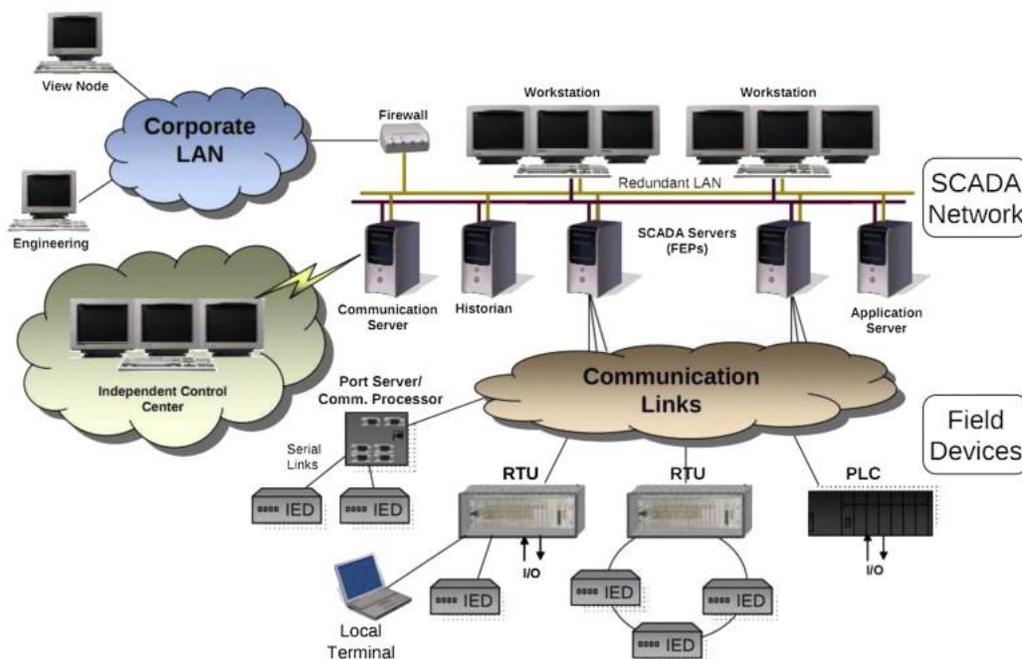


Figura N° 2.23: Estructura básica de un sistema SCADA

Fuente: www.moxa.com

A) Ordenador Central o MTU (Master Terminal Unit):

Se trata del ordenador principal del sistema el cual supervisa y recoge la información del resto de las subestaciones, bien sean otros ordenadores conectados (en sistemas complejos) a los instrumentos de campo o directamente sobre dichos instrumentos. Este ordenador suele ser un PC, el cual soporta HMI.

De esto se deriva que el sistema SCADA más sencillo es el compuesto por un único ordenador, el cual es el MTU que supervisa toda la estación.

Las funciones principales de la MTU son:

- Interroga en forma periódica a las RTUs, y les transfiere consignas; siguiendo usualmente un esquema maestro-esclavo.
- Actúa como interface al operador, incluyendo la presentación de información de variables en tiempo real, la administración de alarmas y recolección y presentación de información historiada.
- Puede ejecutar software especializado que cumplen funciones específicas asociadas al proceso supervisado por el SCADA. Por ejemplo, software para detección de pérdidas en un oleoducto.

B) Ordenadores Remotos o RTUs (*Remote Terminal Unit*):

Estos ordenadores están situados en los nodos estratégicos del sistema gestionado y controlando las subestaciones del sistema, reciben las señales de los sensores de campo, y comandan los elementos finales de control ejecutando el software de la aplicación SCADA.

Una tendencia actual es la de dotar a los PLCs (en función de las E/S a gestionar) con la capacidad de funcionar como RTUs gracias a un nivel de integración mayor y CPUs con mayor potencia de cálculo. Esta solución minimiza costes en sistemas donde las subestaciones no sean muy complejas sustituyendo el ordenador industrial mucho más costoso.

C) Tiempo Real:

La capacidad en tiempo real se refiere a la capacidad del ordenador en programas de procesamiento de datos para que siempre esté listo para procesar y proporcionar los resultados dentro de un tiempo especificado. En este contexto “estrictamente en tiempo real” significa que un sistema reacciona a los eventos externos dentro de un tiempo especificado en un 100% de los casos. Además si se habla de “tiempo real” el sistema debe responder en tiempos concretos también en un 100% de los casos. Si de otra forma, los tiempos concretos pueden superarse en ciertos casos, como en sistemas no críticos. Hablamos de “tiempo real suave”.

D) Red de Comunicación:

Este es el nivel que gestiona la información que los instrumentos de campo envían a la red de ordenadores desde el sistema. El tipo de BUS utilizado en las comunicaciones puede ser muy variado según las necesidades del sistema y del software (así como los instrumentos de campo como PLCs) pueden trabajar con todos los tipos de BUS.

E) Software SCADA:

En un sistema SCADA, un programa de central que nos sirve de intermediario para interactuar con los dispositivos externos de control y comunicaciones; es el programa que recibe la información, válida, interpreta, guarda y despliega en las diferentes pantallas creadas para este fin; también es el encargado de codificar las ordenes generadas por el usuario; validar y transmitir hacia la red de control asociada a dicha central.

2.5.4. Telemetría:

Para teresa García – Berrio Hernández (2004), telemetría es la recolección a distancia de datos, así como su posterior registros a través de procesos automáticos, sin que la persona implicada (posible perjudicada) en dicho registro juegue ningún papel activo en el proceso de operación.

Un sistema de telemetría normalmente consiste de un transductor como un dispositivo de entrada, un medio de transmisión en forma de líneas de cable u ondas de radio, dispositivos de procesamiento de señales, y dispositivos de grabación o visualización de datos. El transductor convierte una magnitud física como la temperatura, presión o vibración en una señal eléctrica correspondiente, que es transmitida a una distancia a efectos de medición y registro.

3. MATERIAL Y MÉTODOS:

3.1. Material

3.1.1. Población:

Proceso de Lixiviación en Pilas de la Minera Barrick Misquichilca.

3.1.2. Muestra:

La muestra está compuesta por las 16 celdas de riego que cuenta el PAD de Lixiviación de la Minera Barrick Misquichilca.

3.1.3. Unidad de Análisis:

Análisis de la dosificación de Cianuro en las celdas de riego durante el proceso de Lixiviación en Minera Barrick Misquichilca S.A.

3.2. Método

3.2.1. Tipo de Investigación:

Aplicada

3.2.2. Diseño de Investigación:

Considerando que el presente estudio, es una investigación cuasi experimental, se manipula una sola variable. El diseño de investigación realizado fue el siguiente.

O₁	X	O₂
Medición	Experimento	Medición

- **O₁**: Dosificación de cianuro necesaria en las celdas de riego durante el proceso de Lixiviación de la Minera Barrick Misquichilca
- **X**: Diseño de un sistema de Control y supervisión en base a un sistema SCADA.
- **O₂**: Dosificación de cianuro necesaria en las celdas de riego durante el proceso de Lixiviación de la Minera Barrick Misquichilca con el sistema de control y supervisión en base a un sistema SCADA.

3.2.3. Variables de estudio y operacionalización:

A. Variable Independiente:

Tabla N° 3.1: Operacionalización de la variable independiente

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTO	UNIDADES DE MEDIDA
Diseño de un sistema de Control y Supervisión en base a un sistema SCADA.	La supervisión es el hecho de controlar a distancia los procesos industriales, de forma remota y computarizada monitoreando las diferentes variables asociadas al centro de distribución mediante un software especializado de control.	Mediante la lectura de los instrumentos de campo a través de una interfaz HMI, se realiza el proceso de supervisión de las variables asociadas al proceso de lixiviación; el control se realiza mediante actuadores, para garantizar el correcto funcionamiento de las variables del proceso de acuerdo a los parámetros establecidos.	Numero de celdas de riego ubicadas en las pilas de lixiviación	Manual de operaciones de Minera Barrick Misquichilca	N° de celdas
			Variables que se tendrá en cuenta para realizar la automatización	Diagramas de proceso e instrumentación (P&ID)	N° de variables
			Tiempo de respuesta	Diagramas de proceso e instrumentación (P&ID)	N° etapas
			Precisión Confiabilidad Escalabilidad	Diagramas de proceso e instrumentación (P&ID)	De los actuadores
			N° de actuadores	Diagramas de proceso e instrumentación (P&ID)	N° de actuadores

Fuente: Elaboración propia

B. Variable Dependiente:

Tabla N° 3.2: Operacionalización de la variable independiente

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES	INSTRUMENTO	UNIDADES DE MEDIDA
Dosificación de cianuro necesario en las celdas de riego	Es un proceso hidro-metalúrgico, esto significa que, con la ayuda del agua como medio de transporte, se usan químicos específicos para separar los minerales valiosos (y solubles en dichos líquidos) de los no valiosos. Consiste en regar el material a través de un sistema de goteo, con una solución cianurada (cianuro y agua), la cual disuelve el oro	Mediante un sistema de tuberías colocadas en la base del PAD, la solución disuelta de oro y cianuro – llamada solución rica – pasa a una poza de lixiviación o procesos, desde donde se bombea hacia la planta de procesos.	Densidad de riego de solución lixivante	Manual de operaciones de Minera Barrick Misquichilca	
			Flujo en las celdas de riego	Manual de operaciones de Minera Barrick Misquichilca	
			Presión de solución lixivante en las celdas de riego.	Manual de operaciones de Minera Barrick Misquichilca	
			Precisión en la medida del flujo y la presión.	Manual de operaciones de Minera Barrick Misquichilca	
			Tiempo de escaneo de la supervisión.	Manual de operaciones de Minera Barrick Misquichilca	

Fuente: Elaboración propia:

3.2.4. Instrumentos y recolección de datos:

3.2.4.1. De acuerdo al manual de operaciones, el proceso de Lixiviación en Pilas en Minera Barrick Misquichilca (2007) consta de 3 etapas:

- 1era etapa: Pad de Lixiviación en Pilas
- 2da etapa: Sistema de riego de las pilas de lixiviación
- 3era etapa: Sistema de recolección de la solución enriquecida

i) PAD de Lixiviación en Pilas:

La pila se ubica al sur del tajo abierto. El método utilizado es el de lixiviación en valle, que consiste en colocar el mineral chancado en una estructura de niveles de 10 metros de altura. Los posteriores carguños del mineral hacen crecer la pila en forma de gradientes.

La cuenca donde se construye la pila tiene una altitud de 4 000 a 4 300 msnm, es extensa con superficie relativamente plana (2 a 10% de pendiente) y lados empinados.

Con una capacidad de 118MTn y dimensiones de 1400 x 800 metros en la base; el mineral es apilado en capas de 10 metros de altura, hasta alcanzar una altura final de 120 metros aproximadamente sobre la superficie del terreno.

El mineral chancado a razón de 42 000t/d es transportado por medio de camiones mineros de 190 t. de capacidad y descargado en la pila de lixiviación, donde se conforman utilizando tractores y motoniveladoras.

ii) Sistema de riego de las Pilas de Lixiviación:

En Minera Barrick, el sistema debe regar la pila bajo una tasa de riego determinada de 10 lt/hr/m² que se ha definido previamente en laboratorio de acuerdo a la capacidad de

drenaje del material, teniendo como consideración secundaria las concentraciones de las soluciones a obtener. El control de este proceso se lleva a cabo por el operador de lixiviación cada vez que debe regular flujo en las celdas, mediante un Flujómetro portátil y regulando la válvula manual de la tubería secundaria de 8 pulgadas.

La etapa del sistema de riego está compuesta de 2 fases de operación:

a) Instalación del sistema de tuberías de riego:

La pila de lixiviación se divide en celdas individuales de 10,000 m² aproximadamente y 10 metros de profundidad.

La solución de lixiviación se distribuye a las celdas desde:

- Una tubería principal de polietileno de alta densidad (HDPE) de 508 mm de diámetro (20 pulgadas).
- Tuberías secundarias de yelomine de 203 mm de diámetro (ocho pulgadas) se extienden desde la tubería principal por el centro de una celda.
- Una tubería de 50 metros de largo y 12,7 mm de diámetro (½ pulgada) se extiende desde uno de los costados de las tuberías secundarias a intervalos de un metro para cubrir la celda de 100 metros de ancho.
- En la tubería de 12,7 mm (½ pulgada) se tiene instalados los emisores de goteo que distribuyen la solución a una tasa de riego de 10 lt/hr/m² sobre la superficie de la pila.

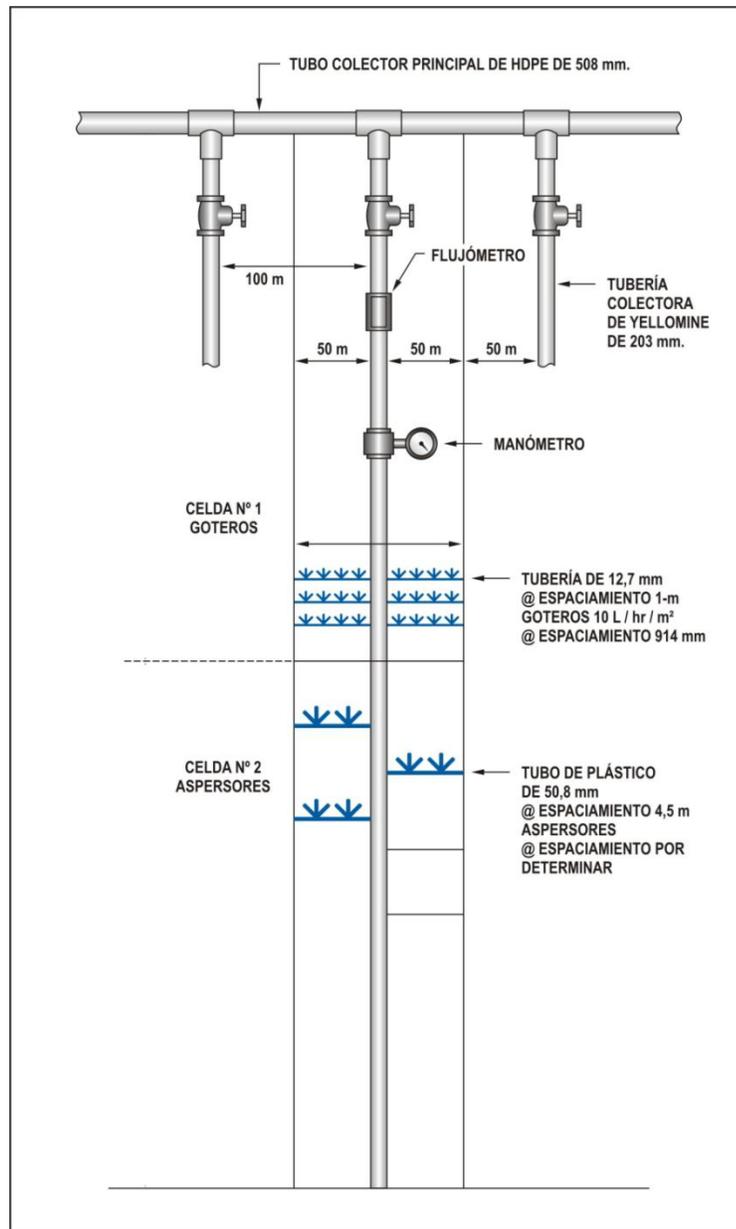


Figura N° 3.1: Sistema de riego en Minera Barrick Misquichilca
 Fuente: Minera Barrick Misquichilca



Figura N° 3.2: Derivación de la tubería secundaria desde la troncal principal

Fuente: Minera Barrick Misquichilca



Figura N° 3.3: Líneas de goteros desde la tubería secundaria

Fuente: Minera Barrick Misquichilca

b) Riego y Percolación de la Solución:

La lixiviación en pilas se produce por la percolación de una solución diluida de cianuro de sodio en el mineral apilado sobre una superficie impermeable, preparada para coleccionar las soluciones.

Las variables del proceso son:

- Flujo total de lixiviación es 2500 m³/hr.
- Concentración de la solución de riego 0,1 g/L (100 ppm). de NaCN.
- pH de la solución 9,5
- Tasa de riego 10 L/h/m².
- Ciclo de lixiviación 45 días.

La percolación o descenso de la solución lixivante se produce a través del lecho del mineral por efecto de la gravedad, el comportamiento de este descenso está afectado por las características de la solución (viscosidad, densidad, etc) y las del mineral (% espacio vacío, distribución por tamaños, % finos, afinidad por la solución, aire atrapado, etc).

En el momento de la máxima saturación del mineral por efecto del riego, éste permitirá el drenaje de la pila estableciéndose propiamente dicha la lixiviación con afloramiento de soluciones cargadas en oro que drenan por la parte inferior.

✓ Calidad de riego:

Una de las principales preocupaciones del proceso de lixiviación es mantener la calidad de riego y está definida por la uniformidad de riego y el taponamiento de los emisores (goteros).

Controlar con bastante continuidad cuanto flujo se está agregando a la pila de lixiviación, debido a que desde el inicio del riego de un sector, se tiene que asegurar que le llegue la cantidad de solución que se encuentra definido dentro del proceso, porque si por

alguna razón los emisores o goteros se tapan, entonces en ese sector no se producirá mineral.

- ✓ Uniformidad de riego: Es la cantidad de solución que descarga cada emisor en unidad de tiempo, esta no debe de tener más de 5% de variación entre ellas.
- ✓ Taponamiento: Es la cantidad de emisores que se obstruyen y dejan de descargar flujo.

➤ Seguridad:

Si el proceso de cianuración se mantiene en un alto nivel de alcalinidad (pH de 9.5 o superior), casi todo el cianuro libre está presente como CN⁻ en las soluciones del proceso. En tales condiciones, la volatilidad del cianuro de hidrógeno (HCN) de las soluciones es baja, de manera que el riesgo de inhalación para los trabajadores es manejable.

Mark J Logsdon, Karen Hagelstein, Terry Mudder (2001), resaltan que la forma más tóxica del cianuro es el HCN gaseoso. La Conferencia Norteamericana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH) establece el límite de umbral tope de HCN en 4.7 ppm. En concentraciones de 20 a 40 ppm de HCN en el aire, se puede observar cierto malestar respiratorio después de varias horas.

iii) Sistema de colección y bombeo de la solución enriquecida:

El piso de la pila es inclinado de modo que toda la solución drenara hacia una única salida.

La solución enriquecida de lixiviación, que contiene oro (SEL) drena a través de unas tuberías colectoras y fluye por gravedad hacia la poza de solución enriquecida (SEL).

La poza (SEL) ha sido diseñada para contener la solución de 48 horas de proceso.

La poza SEL lleva un revestimiento compuesto de geomembrana, y su capacidad es 115000 m³

3.2.4.2. En función al proceso de lixiviación y según el manual de operaciones-Minera Barrick Misquichilca para el manejo de celdas de riego, se elaboró una lista de cotejos, con el fin de identificar y analizar, los datos operativos, equipos e instrumentos y riesgos existentes durante el proceso de producción. En la tabla N° 3.3 se detallan los elementos a evaluar.

Tabla N° 3.3: Lista de cotejos para evaluar el proceso de Lixiviación

CAMPOS	ELEMENTOS	ANÁLISIS DE DATOS
DATOS OPERATIVOS	Ubicación	
	Solución de Riego	
	Tipo de Riego	
	Área	
	Densidad	
	Flujo	
	Presión	
	Control de Riego	
	Ciclo del proceso	
EQUIPOS E INSTRUMENTOS	Manómetro	
	Flujómetro	
	Válvulas	
RIESGOS	Producción	
	Seguridad	
	Medio ambiente	

Fuente: Elaboración propia

3.2.5. Procedimientos y análisis de datos:

El proceso de lixiviación en Minera Barrick Misquichilca consta con un máximo de 16 celdas de riegos, distribuidos en toda la Pila de acuerdo al dimensionamiento que el área de producción establece. La figura N° 3.4 muestra un modelamiento en 3D del Pad de Lixiviación con la ubicación dinámica de las 16 celdas de riego en operación, de los cuales se hará una descripción y análisis tal y como se presenta en la tabla N° 3.4.

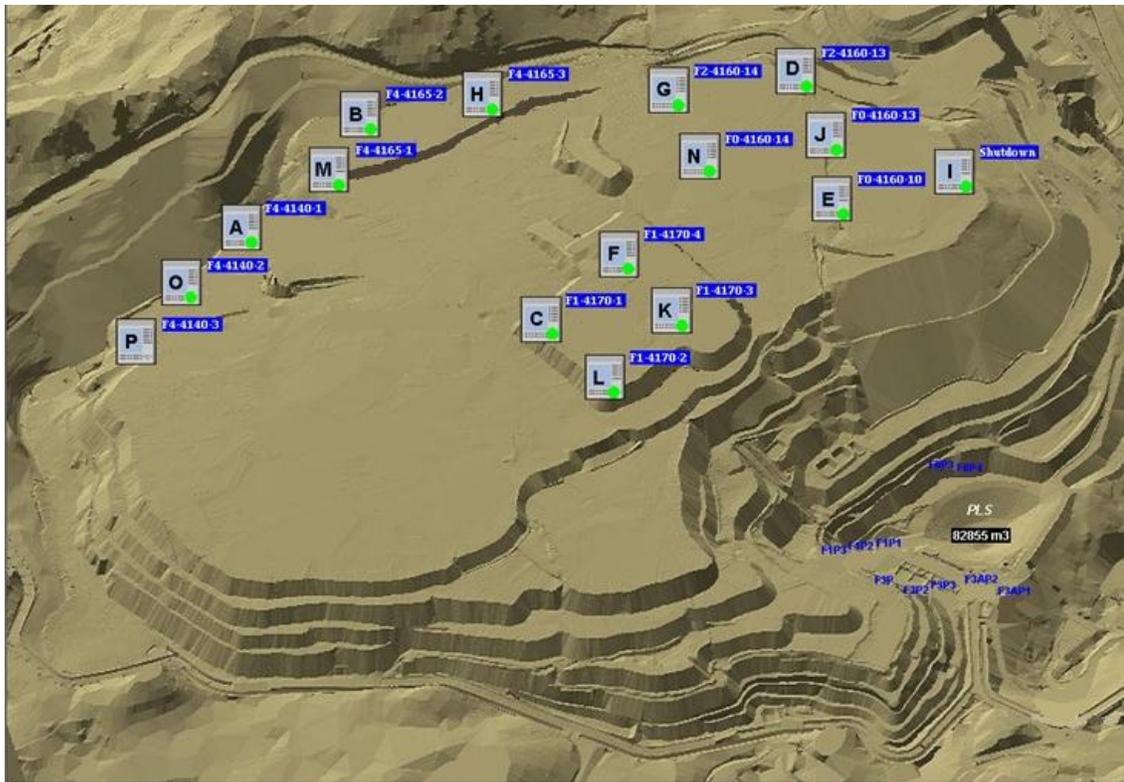


Figura N°3.4: Modelamiento en 3D del Pad de Lixiviación de Minera Barrick Misquichilca

Fuente: Minera Barrick Misquichilca

3.2.5.1. Luego de desarrollar una lista de cotejos, descrita en el punto 3.2.4.2, se identificaron y analizaron todos los elementos mencionados; además, se corroboran las carencias y/o deficiencias en la actual operación del proceso.

Tabla N° 3.4: Análisis de datos del proceso de Lixiviación mediante celdas de riego

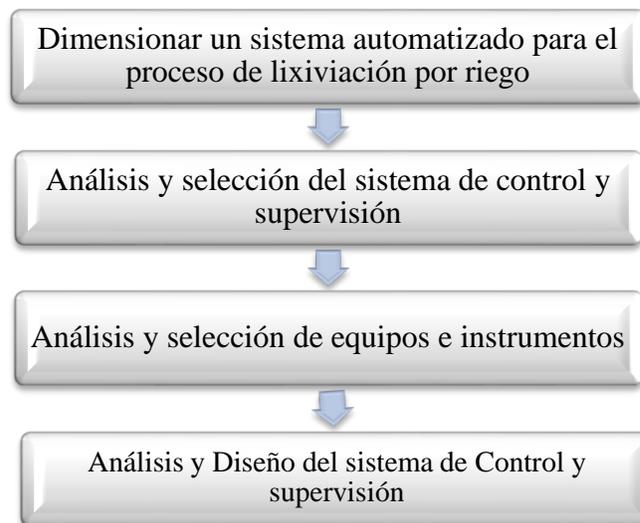
CAMPOS	ELEMENTOS	ANÁLISIS DE DATOS
DATOS OPERATIVOS	Ubicación	El PAD de consta con unas dimensiones de 1400 x 800 metros en la base, y puede alcanzar una altura de hasta 120 metros. Se ubica al sur del tajo abierto.
	Solución de Riego	La solución con la que es regado el mineral en las celdas de lixiviación es el cianuro a concentraciones de 0.1 g/L (100ppm de NaCN).
	Tipo de Riego	Los tipos de riego en las celdas de lixiviación se dan por goteros.
	Área	El área de una celda es de aproximadamente 10,000 m ² , y es un valor que se encuentra predestinado por producción según la distribución del mineral a apilar.
	Densidad	La densidad o tasa de riego para una celda es de comúnmente 10 L/h.m ² , según sea el tipo de mineral apilado y el área a regar. Esta variable es calculada en laboratorios metalúrgicos para cada celda.
	Flujo	El flujo promedio en el PAD de Lixiviación es de 2,500 m ³ /h. El flujo por celda se calcula según el área y la densidad de riego.
	Presión	De 15 a 20 PSI por celda de riego.
	Control de Riego	La operación en las celdas de lixiviación se efectúa manualmente por el operador de lixiviación. La regulación del flujo por celda se realiza a través de las válvulas manuales instalados en las derivaciones de las tuberías secundarias. El recorrido del operador es además con el fin de verificar la uniformidad y calidad de riego (posible exceso de taponamiento).
	Ciclo de operación	El ciclo de riego por celda es aproximadamente de 45 días.

EQUIPOS E INSTRUMENTOS	Manómetro	Manómetros Bourdon de 0 a 100 PSI
	Flujómetro	El operador utiliza un flujómetro portátil para la medición y control manual de las celdas en riego.
	Válvulas	Válvulas manuales, Marca: “Bray Controls”, tipo mariposa, 8 pulgadas
	Suministro eléctrico	Debido al remoto lugar, donde se ubican las celdas de riego, se considera que no existe suministro eléctrico industrial para la instalación de instrumentos electrónicos y equipos de control.
RIESGOS	Producción	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La regulación de flujo y/o presión en las celdas se realiza en forma manual por el operador de Lixiviación, y este a su vez no es frecuente por lo que existe deficiencia en el control de riego requerido. ✓ La falta de instrumentación que se reporte al sistema de control en línea, no permite tener un control automático de los parámetros de riego en las celdas de Lixiviación, como ejemplo el flujo, presión, etc. ✓ Existe riesgo de no obtener la máxima extracción de oro por un control de riego ineficiente, debido a los continuos taponamientos en las líneas de goteros.
	Seguridad	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Existen riesgos de seguridad de que el operador se contamine con HCN y que pueda tropezarse cada vez que monitorea las variables en campo (presión y flujo), sufriendo posibles fracturas y/o cualquier tipo de esguinces. ✓ Dado a las grandes distancias de recorrido a las que está expuesto el operador en las celdas de riego y a las condiciones climatológicas del PAD de lixiviación, existen riesgos de fatiga, cansancio o posibles enfermedades en el personal.
	Medio ambiente	No se pueden prevenir fugas de solución cianurada en las celdas de riego por la falta de instrumentación en línea (presión) y alarmas.

Fuente: Elaboración propia

3.2.5.2. Identificados los aspectos fundamentales en el método de lixiviación por riego, así como las técnicas de manejo de las celdas, mediante el análisis de los elementos mencionados en la lista de cotejos, se procederá a analizar, seleccionar y diseñar el sistema de control y supervisión aplicados al proceso de lixiviación por riego.

En esta sección se procederá a dimensionar un sistema automatizado de lixiviación por riego, analizar y seleccionar el sistema de control y supervisión, seleccionar los instrumentos y equipos de gobierno, diseñar el sistema de control y supervisión, para finalmente estimar los costos de implementación.



3.2.5.3. Dimensionamiento de un sistema automatizado para el proceso de lixiviación por riego:

Tal como se menciona en apartados anteriores, para cada celda de riego se tiene propuesto una tasa de riego o densidad de riego, la cual hace referencia el cálculo de:

$$\delta = \frac{F}{A}$$

Dónde:

δ : Es la densidad de riego (Lt/h-m2.)

F : Es el flujo con el que se riega la celda (m3/h)

A : Es el área de la celda (m2)

Siendo el elemento controlado, el Flujo con el cual la pila de lixiviación es regada ya que el área de cada celda es un valor invariable.

Diseño P&ID del sistema de control:

A continuación se muestra el diseño base del sistema de control que se aplicará a las celdas de riego. Como observa en la Figura N° 3.4, el diagrama P&ID cuenta con un transmisor de flujo, el cual medirá el caudal circulante por la descarga de la celda (posterior a la válvula de control proporcional), así mismo se cuenta con 2 transmisores de presión, los cuales se encargan de sensar la diferencia de presión existente en la celda; esta diferencia de presión activará unas alarmas que se encontrarán de forma accesible al operador. Finalmente se cuenta con una válvula de control proporcional para la regulación del flujo con el que desea regar.

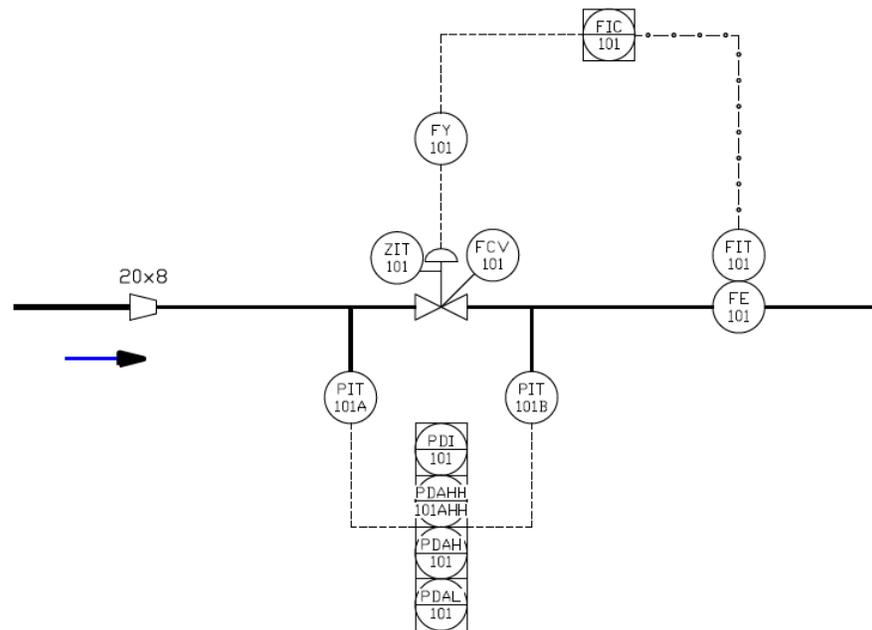


Figura N° 3.5: Diseño P&ID del proceso de lixiviación por celdas de riego

Fuente: Elaboración propia

El diagrama P&ID del proceso de lixiviación se desarrolla de forma general para todas las celdas de riego.

Analizadas las variables de monitoreo y control que intervienen durante el proceso de lixiviación, se plantea un control a lazo cerrado, el cual permitirá obtener una retroalimentación y/o medición constante de las variables inmersas en el proceso.

La Figura N° 3.5, muestra un diagrama de bloques de los subsistemas involucrados durante el proceso de lixiviación.



Figura N° 3.6: Diagrama de bloques del sistema de Control

Fuente: Elaboración propia

Todos los subsistemas que intervienen en la figura N° 3.5, formarán parte de una estación de riego o celda, a la que se denominan “**ECR**”.

Es por ello que el control se realiza en las ECR (Estaciones de control de riego) a través de un lazo cerrado en donde el elemento a controlar es el flujo que ingresa hacia cada celda que se encuentra en riego.

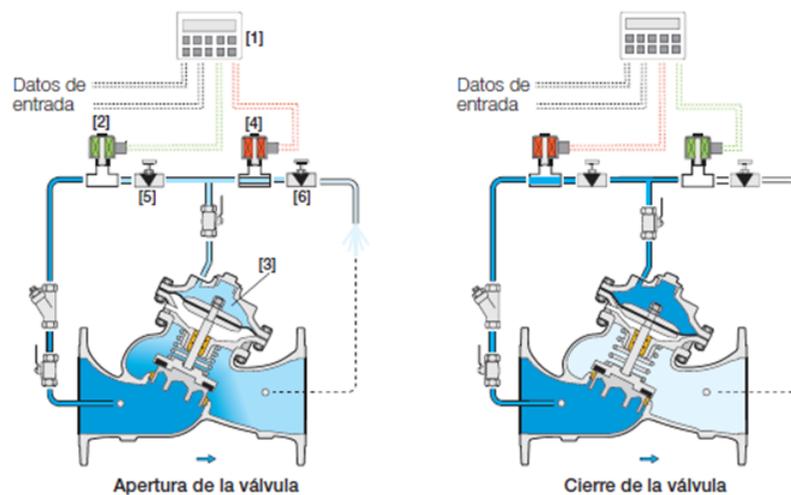
El equipo que efectúa el proceso automatizado lo realiza un PLC (Controlador Lógico Programable) ubicado cada tablero de control de una ECR. Es además el PLC en donde se contiene la lógica para el proceso de

control automático de acuerdo al set de la densidad de riego, que es asignado desde la Sala de Control del operador y desde el sistema de Control principal de Planta (DeltaV).

Debido a la carencia de una fuente neumática o un sistema eléctrico de energía considerable, el elemento actuador de apertura y cierre la realiza una válvula proporcional que es regulada mediante un circuito hidráulico gracias a la misma presión de la línea y el fluido circulante.

Este circuito hidráulico consta de 2 solenoides piloto de actuación rápida, respondiendo a pulsos de salida del PLC, respecto al flujo deseado y a la variable de proceso.

La Figura N° 3.6, muestra el esquema de accionamiento tanto de apertura como cierre de la válvula de control por parte del controlador electrónico y del propio circuito hidráulico de la válvula.



- | | |
|----------------------------------|---------------------------------------|
| 1) Controlador electrónico – PLC | 4) Solenoide aguas abajo |
| 2) Solenoide aguas arriba | 5) Acelerador hidráulico aguas arriba |
| 3) Cámara superior de control | 6) Acelerador hidráulico aguas abajo |

Figura N° 3.7: Accionamiento de la válvula de control

Fuente: Manual de válvula BERMAD 718-03

La retroalimentación y/o medición de caudal que ingresa a la celda se realiza mediante un transmisor de flujo instalado en la línea de riego posterior a la válvula, además de un transmisor de presión aguas arriba y otro transmisor de presión aguas abajo de la válvula, a fin de garantizar la calidad de riego y la prevención de fugas de la solución cianurada respecto a la diferencia de presión que existe en la celda de riego. El grado de apertura o cierre de la válvula también se integra al lazo de control mediante un posicionador conectado al diafragma de la parte superior de la válvula de control.

Debido al remoto lugar donde se ubican las celdas de riego, se considera que no existe suministro eléctrico industrial mediante celdas fotovoltaicas para la instalación de instrumentos electrónicos y equipos de control; es por ello que la energización de todos los equipos de la ECR se realiza mediante paneles solares que convierten energía solar en eléctrica y las acumula en baterías. La compensación de la energía se realiza mediante un controlador solar el cual equilibra la carga de la energía. De esta manera se hace uso de la energía renovable y se evita los largos tendidos de cables y la construcción de estaciones eléctricas en diferentes puntos del PAD de Lixiviación.

En la tabla N°3.5, se muestran todas las señales que intervienen el control automático de riego, identificados por su TAG respetivo y el tipo de señal con los que se manejarán, tanto para el control en campo, como para el sistema de supervisión y control en sala de operador.

Tabla N°3.5: Listado de señales de control por ECR

ECR	Descripción	TAG	I/O	Señal
ECR_A	Transmisor de presión	0430_PIT101A	AI	4-20mA
	Transmisor de presión	0430_PIT101B	AI	4-20mA
	Transmisor de flujo	0430_FIT101	Digital	RS-485
	Posicionador de válvula	0430_ZIT101	AI	4-20mA

	Acción de apertura de válvula	0430_FYO101	DO	12Vdc
	Acción de cierre de válvula	0430_FYC101	DO	12Vdc
ECR_B	Transmisor de presión	0430_PIT102A	AI	4-20mA
	Transmisor de presión	0430_PIT102B	AI	4-20mA
	Transmisor de flujo	0430_FIT102	Digital	RS-485
	Posicionador de válvula	0430_ZIT102	AI	4-20mA
	Acción de apertura de válvula	0430_FYO102	DO	12Vdc
	Acción de cierre de válvula	0430_FYC102	DO	12Vdc
ECR_C	Transmisor de presión	0430_PIT103A	AI	4-20mA
	Transmisor de presión	0430_PIT103B	AI	4-20mA
	Transmisor de flujo	0430_FIT103	Digital	RS-485
	Posicionador de válvula	0430_ZIT103	AI	4-20mA
	Acción de apertura de válvula	0430_FYO103	DO	12Vdc
	Acción de cierre de válvula	0430_FYC103	DO	12Vdc
ECR_D	Transmisor de presión	0430_PIT104A	AI	4-20mA
	Transmisor de presión	0430_PIT104B	AI	4-20mA
	Transmisor de flujo	0430_FIT104	Digital	RS-485
	Posicionador de válvula	0430_ZIT104	AI	4-20mA
	Acción de apertura de válvula	0430_FYO104	DO	12Vdc
	Acción de cierre de válvula	0430_FYC104	DO	12Vdc
ECR_E	Transmisor de presión	0430_PIT105A	AI	4-20mA
	Transmisor de presión	0430_PIT105B	AI	4-20mA
	Transmisor de flujo	0430_FIT105	Digital	RS-485
	Posicionador de válvula	0430_ZIT105	AI	4-20mA
	Acción de apertura de válvula	0430_FYO105	DO	12Vdc
	Acción de cierre de válvula	0430_FYC105	DO	12Vdc
ECR_F	Transmisor de presión	0430_PIT106A	AI	4-20mA
	Transmisor de presión	0430_PIT106B	AI	4-20mA
	Transmisor de flujo	0430_FIT106	Digital	RS-485
	Posicionador de válvula	0430_ZIT106	AI	4-20mA
	Acción de apertura de válvula	0430_FYO106	DO	12Vdc
	Acción de cierre de válvula	0430_FYC106	DO	12Vdc
ECR_G	Transmisor de presión	0430_PIT107A	AI	4-20mA

	Transmisor de presión	0430_PIT107B	AI	4-20mA
	Transmisor de flujo	0430_FIT107	Digital	RS-485
	Posicionador de válvula	0430_ZIT107	AI	4-20mA
	Acción de apertura de válvula	0430_FYO107	DO	12Vdc
	Acción de cierre de válvula	0430_FYC107	DO	12Vdc
ECR_H	Transmisor de presión	0430_PIT108A	AI	4-20mA
	Transmisor de presión	0430_PIT108B	AI	4-20mA
	Transmisor de flujo	0430_FIT108	Digital	RS-485
	Posicionador de válvula	0430_ZIT108	AI	4-20mA
	Acción de apertura de válvula	0430_FYO108	DO	12Vdc
	Acción de cierre de válvula	0430_FYC108	DO	12Vdc
ECR_I	Transmisor de presión	0430_PIT109A	AI	4-20mA
	Transmisor de presión	0430_PIT109B	AI	4-20mA
	Transmisor de flujo	0430_FIT109	Digital	RS-485
	Posicionador de válvula	0430_ZIT109	AI	4-20mA
	Acción de apertura de válvula	0430_FYO109	DO	12Vdc
	Acción de cierre de válvula	0430_FYC109	DO	12Vdc
ECR_J	Transmisor de presión	0430_PIT110A	AI	4-20mA
	Transmisor de presión	0430_PIT110B	AI	4-20mA
	Transmisor de flujo	0430_FIT110	Digital	RS-485
	Posicionador de válvula	0430_ZIT110	AI	4-20mA
	Acción de apertura de válvula	0430_FYO110	DO	12Vdc
	Acción de cierre de válvula	0430_FYC110	DO	12Vdc
ECR_K	Transmisor de presión	0430_PIT111A	AI	4-20mA
	Transmisor de presión	0430_PIT111B	AI	4-20mA
	Transmisor de flujo	0430_FIT111	Digital	RS-485
	Posicionador de válvula	0430_ZIT111	AI	4-20mA
	Acción de apertura de válvula	0430_FYO111	DO	12Vdc
	Acción de cierre de válvula	0430_FYC111	DO	12Vdc
ECR_L	Transmisor de presión	0430_PIT112A	AI	4-20mA
	Transmisor de presión	0430_PIT112B	AI	4-20mA
	Transmisor de flujo	0430_FIT112	Digital	RS-485
	Posicionador de válvula	0430_ZIT112	AI	4-20mA

	Acción de apertura de válvula	0430_FYO112	DO	12Vdc
	Acción de cierre de válvula	0430_FYC112	DO	12Vdc
ECR_M	Transmisor de presión	0430_PIT113A	AI	4-20mA
	Transmisor de presión	0430_PIT113B	AI	4-20mA
	Transmisor de flujo	0430_FIT113	Digital	RS-485
	Posicionador de válvula	0430_ZIT113	AI	4-20mA
	Acción de apertura de válvula	0430_FYO113	DO	12Vdc
	Acción de cierre de válvula	0430_FYC113	DO	12Vdc
ECR_N	Transmisor de presión	0430_PIT114A	AI	4-20mA
	Transmisor de presión	0430_PIT114B	AI	4-20mA
	Transmisor de flujo	0430_FIT114	Digital	RS-485
	Posicionador de válvula	0430_ZIT114	AI	4-20mA
	Acción de apertura de válvula	0430_FYO114	DO	12Vdc
	Acción de cierre de válvula	0430_FYC114	DO	12Vdc
ECR_O	Transmisor de presión	0430_PIT115A	AI	4-20mA
	Transmisor de presión	0430_PIT115B	AI	4-20mA
	Transmisor de flujo	0430_FIT115	Digital	RS-485
	Posicionador de válvula	0430_ZIT115	AI	4-20mA
	Acción de apertura de válvula	0430_FYO115	DO	12Vdc
	Acción de cierre de válvula	0430_FYC115	DO	12Vdc
ECR_P	Transmisor de presión	0430_PIT116A	AI	4-20mA
	Transmisor de presión	0430_PIT116B	AI	4-20mA
	Transmisor de flujo	0430_FIT116	Digital	RS-485
	Posicionador de válvula	0430_ZIT116	AI	4-20mA
	Acción de apertura de válvula	0430_FYO116	DO	12Vdc
	Acción de cierre de válvula	0430_FYC116	DO	12Vdc

Fuente: Elaboración propia

3.2.5.4. Analizar y seleccionar el sistema de control y supervisión

Tal como se detalló en el punto 2.4.3, los elementos que conforman un sistema SCADA son: El MTU (Unidad terminal Maestra) donde se centraliza, controla y monitorea todos los procesos de campo, y los RTUs

(Unidad terminal remota) quien recibe las señales de los instrumentos de campo y quien toma acción sobre los elementos finales de control.

Para este caso, el MTU es el mismo sistema de control existente “DeltaV” ubicado en sala de control, y los RTUs lo conforman los PLCs de cada ECR (Estación de Control de Riego), quien recibe las señales de presión y flujo del proceso, y regula la actuación de la válvula.

Por tal motivo el sistema de control y supervisión se planteará mediante un sistema SCADA, bajo una plataforma de software DCS (DeltaV).

En base a los requerimientos del sistema de control y supervisión seleccionado, se deberá contar con una red de control, mediante un radioenlace a una frecuencia de 2.4GHz, para la conexión entre los RTUs de campo (ECRs) y entre el MTU (Sistema DeltaV).

3.2.5.5. Equipos e instrumentos:

A continuación, se hará un análisis respecto a las variables de medición (flujo y Presión), actuadores, elementos de control, alimentación y telemetría para el diseño del sistema SCADA, selección se sus respectivos rangos de operación, entre otras características importantes para su aplicación. También se determinan todos los elementos seleccionados para el diseño, los cuales satisfacen las necesidades del mismo.

Los instrumentos y equipos de control serán seleccionados según su grado de protección mecánica, referentes a las normas IP y NEMA, por estar diseñados en ambientes sin protección y condiciones climatológicas extremas.

Las especificaciones técnicas referenciadas a la marca y modelo de los equipos e instrumentos seleccionados se encuentran en el Anexo N° 1.

A) Equipos de Instrumentación:

Previa selección de equipos, se procederá a determinar las variables de supervisión y control y los rangos de operación, tal y como se plantea en la tabla N° 3.6.

Tabla N° 3.6. Rango de Operación y función de Instrumentación

Variable	Rango máximo de Operación	Acción
Flujo	0 – 500 m ³ /h	Monitoreo y Control
Presión	0 – 50 PSI	Monitoreo

Fuente: Elaboración propia.

➤ Medición de Caudal:

Para la medición de esta variable se cuenta con un tipo de medición electromagnético pulsante, el cual brinda una precisión de +/- 0.2% realizando medidas tanto locales, como remotas, gracias a su protocolo de comunicación digital Modbus.

Equipo de Medición de Flujo	
Transmisor / Sensor	
Marca	SIEMENS
Modelo	MAG 8000
Características:	- Rango de medición: 0 – 1000 m ³ /h - Alimentación: Batería interna de 3.6Vdc - Comunicación: MODBUS RS-485 - Protección: IP68 / NEMA 6P

➤ Medición de Presión:

Se propone un equipo de medición continua de presión, compuesto por un sensor tipo diafragma laminar, y un transmisor de corriente (4-20mA). Esta señal de control será digitalizada por

el controlador de la ECR, y reportada hacia la sala de control cada vez que exista una sobrepresión en línea de riego.

Equipo de Medición de Presión	
Transmisor / Sensor	
Marca	YOKOGAWA
Modelo	EJX510A
Características:	- Rango de medición: 5.8 – 290 PSI - Alimentación: 21.6 – 32 Vdc - Señal de Salida: Analógica de 4 a 20 mA - Protección: IP67 / NEMA 4X

➤ Transmisor de posición de válvula BERMAD:

Transmisor de posición	
Marca	HONEYWELL
Modelo	PK 80112
Características:	- Alimentación: 12 Vdc - Señal de Salida: Analógica de 4 a 20 mA - Protección: nema 4X, 6P

B) Equipos de Control:

➤ Unidad de Control:

Al analizar los requerimientos de control para el proceso de lixiviación, se eligió como elemento controlador al PLC MicroLogix 1100, un controlador de Gama baja de la familia Allen Bradley, ya que ofrece grandes capacidades de control en dimensiones mínimas, además de contar hasta con 4 módulos de expansión para E/S.

Controlador Lógico Programable - PLC	
Compacto / Modular	
Marca	ALLEN BRADLEY
Modelo	MICROLOGIX 1100 1763-L16DWD
Características:	<ul style="list-style-type: none"> - Alimentación: 12 – 24Vdc - Comunicación: RS-232, RS-485 - Protocolos Ethernet/IP 10/100 MBps - Expandible hasta 4 módulos DIs, DOs, AOs, AIs.

➤ Módulo de expansión:

Debido a que el transmisor de presión seleccionado y el transmisor de posición cuentan con una señal analógica en corriente (4-20mA); se requerirá un módulo de entradas análogas para este tipo de señales.

Transmisor de posición	
Marca	ALLEN BRADLEY
Modelo	1762-IF4
Características:	<ul style="list-style-type: none"> - Alimentación: 12 Vdc - Tipo de señales: 4-20 mA, ± 10 Vdc - Número de entradas: 4

➤ Actuador:

La válvula electrónica BERMAD 718-03, es la que mejor se adecua a los requerimientos de control para el proceso de riego. Esta cuenta con un sistema de autorregulación a través de un circuito hidráulico equipado con dos pilotos solenoide de 2 vías, que permite utilizar la misma presión y solución de la línea variando su posición proporcional de apertura o cierre; esto en función a los valores pre programados en el controlador.

Válvula automática	
Control electrónico	
Marca	BERMAD
Modelo	BERMAD 718-03 / 8 pulgadas
Características:	<ul style="list-style-type: none"> - Control por solenoide: Bajo consumo de energía (12Vdc), normalmente abierta ó cerrada ó última posición. - Solenoides de actuación rápida. Hasta 20 milisegundos - Impulsada por la misma presión de la línea (operación independiente) - Apertura y cierre totalmente propulsados.

C) Equipos de energía:

La energización de todos los equipos de la ECR se realiza mediante paneles solares que convierten energía solar en eléctrica y las acumula en baterías. La compensación de la energía se realiza mediante un controlador solar el cual equilibra la carga de la energía.

➤ Paneles Solares:

Panel Solar	
Marca	SOLARWORLD
Modelo	SW80
Características:	<ul style="list-style-type: none"> - Tensión del sistema en vacío: 22Vdc - Corriente Max. Salida Consumidor: 5.2A - Tensión a potencia máxima: 18Vdc - Permite un montaje sencillo y flexible. - Conexión libre de humedad. - Confiable en sistemas de control y telecomunicaciones. - Eficiente y confiable en condiciones climáticas extremas

➤ Baterías:

Baterías industriales	
Marca	SONNENSCHHEIN
Modelo	S12/85Ah
Características:	<ul style="list-style-type: none"> - Voltaje Nominal: 12 Vdc - Capacidad nominal: 85Ah - Capacidad de almacenamiento segura para energía renovable.

➤ Regulador de Carga:

Se propone un regulador de carga, para suministro de energía fotovoltaica, con el fin de calcular el estado de la carga y garantizar una vida útil de las baterías y de los paneles solares.

Controlador de carga solar	
Marca	STECA
Modelo	Solarix Sigma 12/24Vdc
Características:	<ul style="list-style-type: none"> - Tensión del sistema: 12Vdc - Corriente Max. Salida Consumidor: 20^a - Consumo propio: 5mA - Reconocimiento automática de tensión (12V/24Vdc). - Opción: Opera el consumidor por batería sólo por la noche

D) Equipos de Comunicación:

Debido a las distancias relativamente considerables de comunicación que existirían entre las ECR y la unidad centra de control ubicado en Sala de Control, todos los datos que el PLC maneja son transportados mediante radio enlaces hacia la planta de procesos en donde son integrados hacia la plataforma de control principal.

Para esto se dimensionan a continuación los elementos que intervienen el sistema de comunicación mediante Radio enlace.

➤ Radio Modem:

Radio Modem	
Marca	ESTEEM
Modelo	195Eg-Ip
Características:	<ul style="list-style-type: none"> - Alimentación: 10-16Vdc. - Interface de Información: 100BaseT ó 10BaseT - Potencia: 100mW - Frecuencia: 2.412 – 2.462GHz - Canales: 11

➤ Antena Omnidireccional de ECR.

Antena Omni-Direccional 2.4GHz	
Marca	ESTEEM
Modelo	AA20Eg
Características:	<ul style="list-style-type: none"> - Frecuencia: 2400 – 2500 MHz - Polarización: Vertical - Impedancia: 50 Ohms - Ganancia: 7 dBi

➤ Antena Omnidireccional de repetidoras:

Antena Omni-Direccional 2.4GHz	
Marca	L-COM HyperLink
Modelo	HG2415U-PRO
Características:	<ul style="list-style-type: none"> - Frecuencia: 2.4GHz - Polarización: Vertical - Impedancia: 50 Ohms - Ganancia: 15dBi

3.2.5.6. **Diseño del sistema de Control y supervisión:**

En base a la necesidades de un sistema de control y supervisión para las Estaciones de Control Remoto (ECR) ubicadas en las respectivas celdas de riego del PAD de lixiviación, se procede a analizar y diseñar una alternativa para la integración y adquisición de datos de las ECR hacia el sistema de control principal “DeltaV” ubicado en sala de control de Planta procesos.

El sistema “DeltaV” es un Software de configuración, administración, programación y desarrollo HMI (Interfaz Hombre-Máquina) para el sistema de control distribuido (DCS) que se maneja en la mayor parte de los procesos con los que cuenta la planta de Minera Barrick Misquichilca.

La Figura N° 3.7, muestra el diagrama de bloques general en base a un sistema SCADA, para la respectiva integración de las señales de campo hacia la plataforma principal DeltaV, sistema desde donde el operador de lixiviación ingresará la densidad de riego deseado ó Set Point, respectivamente para cada ECR que se encuentre operativa para y disponible para el proceso de riego.

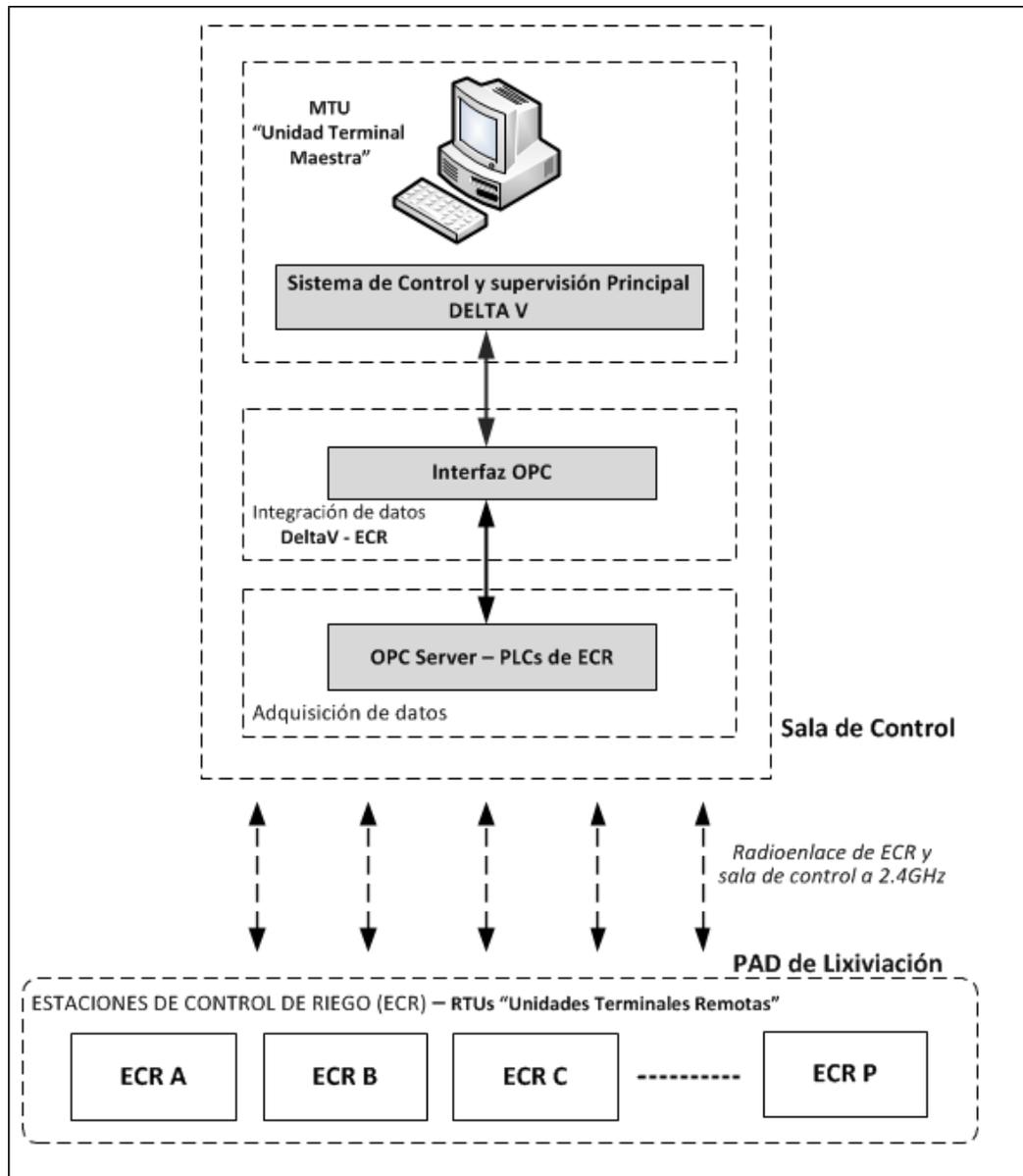


Figura N° 3.8: Diagrama de bloques general del sistema de control y supervisión

Fuente: Elaboración propia

A. Adquisición de datos y Enlace RTU-MTU:

La red que se manejará para el control y monitoreo de las ECR se realiza mediante radioenlaces a 2.4GHz; esto a través del protocolo Ethernet/IP 10/100 MBps que presenta el PLC MicroLogix 1100 y de

un radio modem instalado en cada ECR. Cada radio, consta de una antena omnidireccional de 7dbi, la cual permitirá la conexión con las repetidoras “REP_CLARO”, “REP_TK_MINA”, “REP_DISP” y “REP_TK_PROC”, distribuidas alrededor del PAD de Lixiviación y configuradas en modo “BRIDGE”, siendo la prioridad de enlace el nodo central “NOD_PROCESOS” ubicado en planta procesos para la integración de las señales en la red VLAN.

En la tabla N° 3.7, se listan las direcciones IP de cada PLC, Radio Modem de ECRs y de cada radio repetidora.

Tabla N°3.7: Distribución de equipos para la red de radioenlace

ECR / REPETIDORA	EQUIPOS	NOMBRE	DIRECCIÓN IP
ECR_A	PLC	RTU_ECR_A	10.133.60.31
	Radio Modem	MOD_ECR_A	10.133.60.32
ECR_B	PLC	RTU_ECR_B	10.133.60.33
	Radio Modem	MOD_ECR_B	10.133.60.34
ECR_C	PLC	RTU_ECR_C	10.133.60.35
	Radio Modem	MOD_ECR_C	10.133.60.36
ECR_D	PLC	RTU_ECR_D	10.133.60.37
	Radio Modem	MOD_ECR_D	10.133.60.38
ECR_E	PLC	RTU_ECR_E	10.133.60.39
	Radio Modem	MOD_ECR_E	10.133.60.40
ECR_F	PLC	RTU_ECR_F	10.133.60.41
	Radio Modem	MOD_ECR_F	10.133.60.42
ECR_G	PLC	RTU_ECR_G	10.133.60.43
	Radio Modem	MOD_ECR_G	10.133.60.44
ECR_H	PLC	RTU_ECR_H	10.133.60.45
	Radio Modem	MOD_ECR_H	10.133.60.46
ECR_I	PLC	RTU_ECR_I	10.133.60.47
	Radio Modem	MOD_ECR_I	10.133.60.48
ECR_J	PLC	RTU_ECR_J	10.133.60.49
	Radio Modem	MOD_ECR_J	10.133.60.50
ECR_K	PLC	RTU_ECR_K	10.133.60.51
	Radio Modem	MOD_ECR_K	10.133.60.52
ECR_L	PLC	RTU_ECR_L	10.133.60.53
	Radio Modem	MOD_ECR_L	10.133.60.54
ECR_M	PLC	RTU_ECR_M	10.133.60.55
	Radio Modem	MOD_ECR_M	10.133.60.56

ECR_N	PLC	RTU_ECR_M	10.133.60.57
	Radio Modem	MOD_ECR_M	10.133.60.58
ECR_O	PLC	RTU_ECR_O	10.133.60.59
	Radio Modem	MOD_ECR_O	10.133.60.60
ECR_P	PLC	RTU_ECR_O	10.133.60.61
	Radio Modem	MOD_ECR_O	10.133.60.62
Repetidora Antena Claro	Radio Modem	REP_CLAR	10.133.60.27
Repetidora Antena Tanque Mina	Radio Modem	REP_TK_MINA	10.133.60.26
Repetidora Dispatch	Radio Modem	REP_DISP	10.133.60.22
Repetidora Tanque Procesos	Radio Modem	REP_TK_PROC	10.133.60.24
Nodo Central	Radio Modem	NOD_PROCESOS	10.133.60.21

Fuente: Elaboración Propia

La adquisición de las señales desde cada PLC, se efectúa mediante el software “RSLink”, el cual funciona como un sistema de administración y configuración de una red de PLCs de la marca Allen Bradley, mediante cualquier protocolo de comunicación, ya sea Ethernet, DeviceNet, ControlNet, RS-485, etc. Para este caso, se realiza la configuración de un Nodo del RSLink mediante el protocolo Ethernet y se realiza el mapeo de las direcciones IP de cada PLC ubicado en campo para la respectiva adquisición de datos.

Este software cumple además con las funciones de OPC Server, el cual será útil para la integración de datos con la Unidad central de control (DeltaV) o con cualquier software SCADA cliente si así se desea.

La configuración del RSLink OPC se realizará para cada PLC mapeado en la red, con el fin de identificar ordenadamente cada ECR al momento de realizar la integración de datos.

B. Integración de datos:

Ante el problema de utilizar sistemas de distintas marcas como los que son “Allen Bradley” por parte de los PLCs, y “EMERSON” por parte del sistema de supervisión y Control “DeltaV” existente en planta

procesos, además de contar con dos plataformas de Servidores OPC (RSLink OPC y OPC DeltaV) para la integración de datos, lo cual referente a los sustentado en el punto 2.3.4 es imposible realizar un enlace directo entre ambos sistemas, se debería contar con un interfaz que haga posible la integración de ambos sistemas.



Figura N° 3.9. Intento de intercambio de datos SIN un Interfaz OPC
Fuente: Elaboración propia

La integración de datos entre el sistema de Control y Supervisión principal (DeltaV), y los datos inalámbricos de los autómatas programables Allen Bradley adquiridos en el RSLink, se realiza mediante el Interfaz “Link Master”.

Como un Interfaz OPC Cliente, el Link Master es un software que permite un enlace entre Servidores OPC, para este caso entre el “RSLink OPC Server” y el “OPC Server DeltaV”, ofreciendo un intercambio dinámico de datos entre ambos.

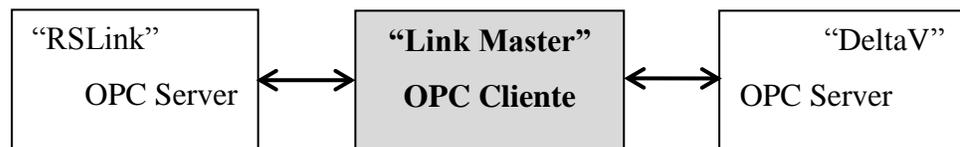


Figura N° 3.10: Intercambio de datos CON un Interfaz OPC
Fuente: Elaboración Propia

De esta manera se logra que exista un flujo de datos bidireccional entre la plataforma DeltaV y las ECRs de campo, permitiendo así que el operador pueda visualizar las variables de proceso y a la misma vez

escribir al PLC el valor de flujo que se desea regar en la celda monitoreada.

C. Supervisión y Control:

Como se mencionó en puntos anteriores, la plataforma de control y supervisión principal la realiza el sistema DeltaV. Es por esto que una vez integradas las señales de cada ECR en el “OPC Server DeltaV” es posible obtener la información en tiempo real del flujo con el que se está regando en cada celda, así como la presión de la línea de riego, la posición de apertura o cierre de la válvula de control, y a la misma vez, escribir en el PLC el Set Point o valor deseado de flujo con el que el operador desea regar

Es el Servidor principal “Professional plus DeltaV” quien contenga los datos globales de todo el sistema a través del “OPC Server DeltaV”.

Será además en el “Professional plus DeltaV” donde se desarrollará la nueva pantalla HMI para el monitoreo y gobierno de cada ECR, en donde el operador ingresará el área de la celda que entrará en operación, así como la Densidad o tasa de riego de la celda.

A continuación se plantea un ejemplo del cálculo para obtener el valor de flujo deseado el cual será escrito al PLC. Esta operación se desarrolla en la lógica modular de programación del DeltaV mediante las variables de área y densidad ingresadas en el HMI.

ECR_A:

- Densidad de riego “ δ ” = 10 Lt/h-m²
- Área de celda “A” = 8,500 m²
- Flujo deseado “F” = X (m³/h)

$$F = 10 \frac{Lt}{h * m^2} \times 8,500m^2 \times \frac{1m^3}{1000Lt}$$

$$F = 85 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (Valor escrito al PLC)}$$

Así mismo se contará con 2 modos de operación desde el sistema DeltaV, en modo automático ingresando el Set de la densidad de riego y en su defecto de modo manual forzando la apertura o cierre de la válvula de control, respecto al valor que indique el posicionador ubicado en la válvula.

❖ Alarmas y Detección de Fugas:

Debido a que el sistema DeltaV, cuenta con un sistema de alarmas integradas, estas se utilizarán para la detección en las caídas o aumento de la diferencia de presión por cada celda que se encuentra monitoreando.

Esta configuración de alarmas, por valor “Alto Alto”, “Alto”, “Bajo” y “Bajo Bajo”, serán añadidas a la misma pantalla HMI y seteados por el operador, de acuerdo a la cantidad de celdas que se encuentre en operación

Tabla N° 3.8: Sets de alarma por diferencia de presión

Descripción	TAG	Set
Alarma por “Muy alta presión”	PDI101_LAHH	40
Alarma por “Alta Presión”	PDI101_LAH	25
Alarma por “Bajo Presión”	PDI101_LAL	5
Alarma por “Muy baja presión”	PDI101_LALL	1

Fuente: Elaboración propia

3.2.5.7. Análisis del Sistema de Control y supervisión automatizado del proceso de Lixiviación:

En la tabla N° 3.9, se presenta el análisis del sistema de control y supervisión automatizado del proceso de lixiviación mediante celdas de riego, en donde se detallan de forma comparativa de la mejora realizada.

Tabla N°3.9: Análisis del diseño del sistema de control y supervisión

MANEJO OPERATIVO DE LAS CELDAS DE RIEGO		
ÁREAS	“SIN” SISTEMA DE CONTROL Y SUPERVISIÓN	“CON” SISTEMA DE CONTROL Y SUPERVISIÓN
PRODUCCIÓN	El operador tenía que realizar un recorrido constante por cada celda que se encontraba en riego	El operador podrá observar sus variables de proceso en tiempo real desde la sala de control a través del HMI
	El operador tenía que dirigirse a campo para regular las válvulas manuales hasta lograr el valor de flujo deseado	El operador podrá ingresar desde el HMI en sala de control el valor de flujo que desea regar en cada celda.
	Existía riesgo de no obtener la máxima extracción de oro por un control de riego ineficiente, debido a los continuos taponamientos en las líneas de goteros.	El operador podrá identificar los taponamientos, de acuerdo a las alarmas por diferencia de presión en la línea de riego.
SEGURIDAD	Existen riesgos de seguridad de que el operador se contamine con HCN y que pueda tropezarse cada vez que monitorea las variables en campo.	Con el control remoto desde el HMI, el operador reducirá el tiempo de exposición a HCN en las celdas de riego.
MEDIO AMBIENTE	No se podían prevenir fugas de solución cianurada en las celdas de riego por la falta de instrumentación en línea (presión) y alarmas.	El operador podrá identificar las posibles fugas, de acuerdo a las alarmas por diferencia de presión en la línea de riego. Así mismo podrá contar con una acción rápida mediante el control Manual/Remoto de la válvula.

Fuente: Elaboración Propia

4. RESULTADOS:

- De acuerdo al dimensionamiento realizado, el sistema automatizado para el proceso de lixiviación por celdas de riego, quedará propuesto de la siguiente manera:
 - i. La estructura física para la implementación de una ECR (Estación de Control de Riego), respecto a los equipos e instrumentos ya mencionados. La figura N° 4.1 muestra el esquema de montaje y conexionado de una ECR que será implementada en cada celda de riego para la automatización del mismo.

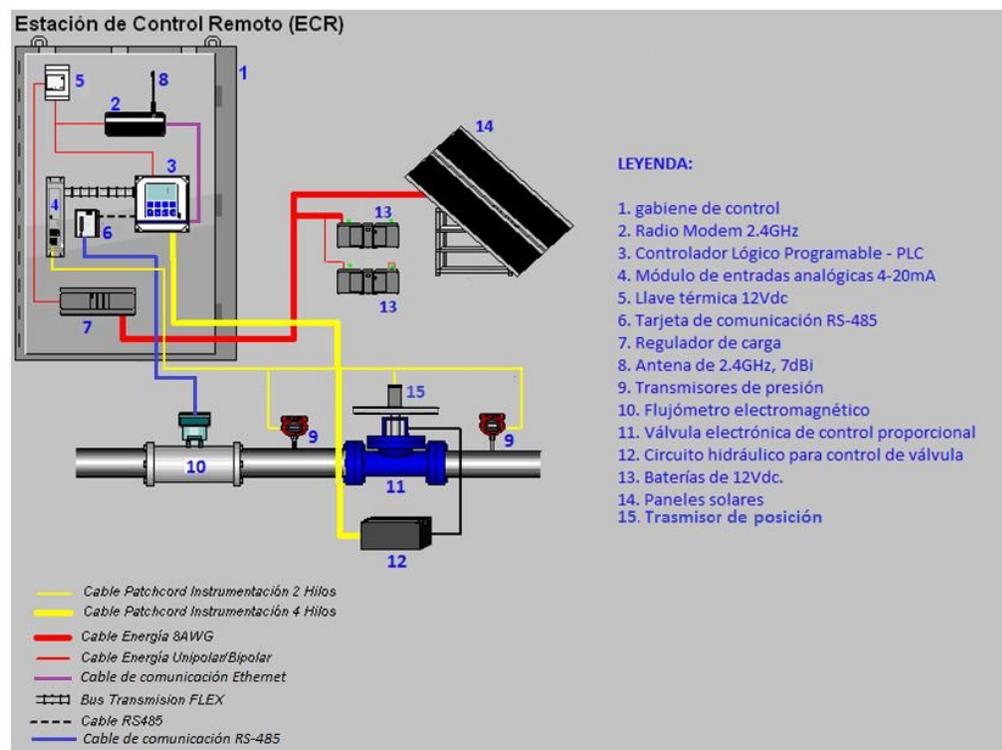


Figura N° 4.1: Diseño de una Estación de Control de Riego (ECR)

Fuente: Elaboración propia

- Después de dimensionar el sistema automatizado de cada celda de riego a través de las ECR, se Analizó y el sistema de control y supervisión de acuerdo a los requerimientos de los PLCs de campo y del servidor principal “Professional plus DeltaV” ya existente, la cual se seleccionó en un sistema SCADA para la integración de datos, bajo la plataforma “DeltaV”, tal cual muestra la tabla N°4.1.

Tabla N°4.1. Análisis y selección del sistema de Control y Supervisión

SISTEMA “SCADA” BAJO LA PLATAFORMA “DELTA V”		
ELEMENTOS	Unidad Terminal Remota - RTU	Unidad Terminal Maestra - MTU
SISTEMA	Estaciones de Control de riego “ECRs”	“Professional plus DeltaV” - HMI
RED DE ENLACE ENTRE RTU-MTU	Radio enlace a 2.4GHz	
FUNCIÓN	Adquisición de datos y automatización del proceso de Lixiviación	Supervisión y Control del proceso de Lixiviación

Fuente: Elaboración propia.

- En base al sistema de automatización de las ECR y al sistema SCADA planteado, se realizó un proceso de selección y dimensionamiento de equipos e instrumentos que intervendrán. En la tabla N° 4.2 se muestran los equipos e instrumentos seleccionados según la función que cumplirán en el diseño del sistema de control y supervisión automatizado. Las especificaciones técnicas de todos los equipos e instrumentos se encuentran adjuntos en el Anexo N°1.

Tabla N°4.2: Función operativa de equipos e instrumentos seleccionados

EQUIPOS E INSTRUMENTOS	FUNCIÓN
PLC MicroLogix 1100	Gobierno del proceso automático del proceso de riego.
Flujómetro MAG8000	Medición y transmisión al PLC del flujo circulante por la celda de riego.
Transmisores de presión YOKOGAWA EJX510A	Medición y transmisión al PLC de la diferencia de presión en la celda de riego.
Válvula de control	Regular el flujo circulante por la celda

BERMAD 718-03	de riego, respecto al lazo cerrado de control.
Transmisor de posición HONEYWELL PK-80112	Transmitir la posición en la que se encuentra la válvula de Control.
Paneles Solares SOLARWORLD SW80	Convertir la energía solar en energía eléctrica renovable para alimentación de las ECR y carga de baterías.
Baterías SONNENSCHNEIN	Alimentar eléctricamente constante a las ECRs en las horas nocturnas.
Regulador de Carga SOLARIX SIGMA	Regular la tensión de los paneles para la carga de baterías y alimentación de las ECR.
Radio Modem ESTEEM A95Eg-IP	Convertir el protocolo de comunicación Ethernet TCP/IP del PLC a una señal RF a 2.4GHz para el radioenlace con las estaciones repetidoras.
Antena ESTEEM AA20Eg	Aumentar la potencia de transmisión del radio modem para el enlace con las estaciones repetidoras.
L-COM HyperLink HG2415U-PRO	Repetir las señales de Radio Frecuencia de las ECR, hacia el Nodo central ubicado en Tanque Procesos.

Fuente: Elaboración propia

- El diseño del sistema de control y supervisión queda propuesto de la siguiente manera:

1) Para la adquisición de datos de las ECR se contará con una red de Radioenlaces entre estas y 4 estaciones repetidoras para finalmente conectar a un nodo Central, la cual conecta con la red VLAN de planta. La Figura N° 4.2 muestra un esquema físico de la red de control y radioenlaces entre las ECR, las repetidoras y el Nodo central.

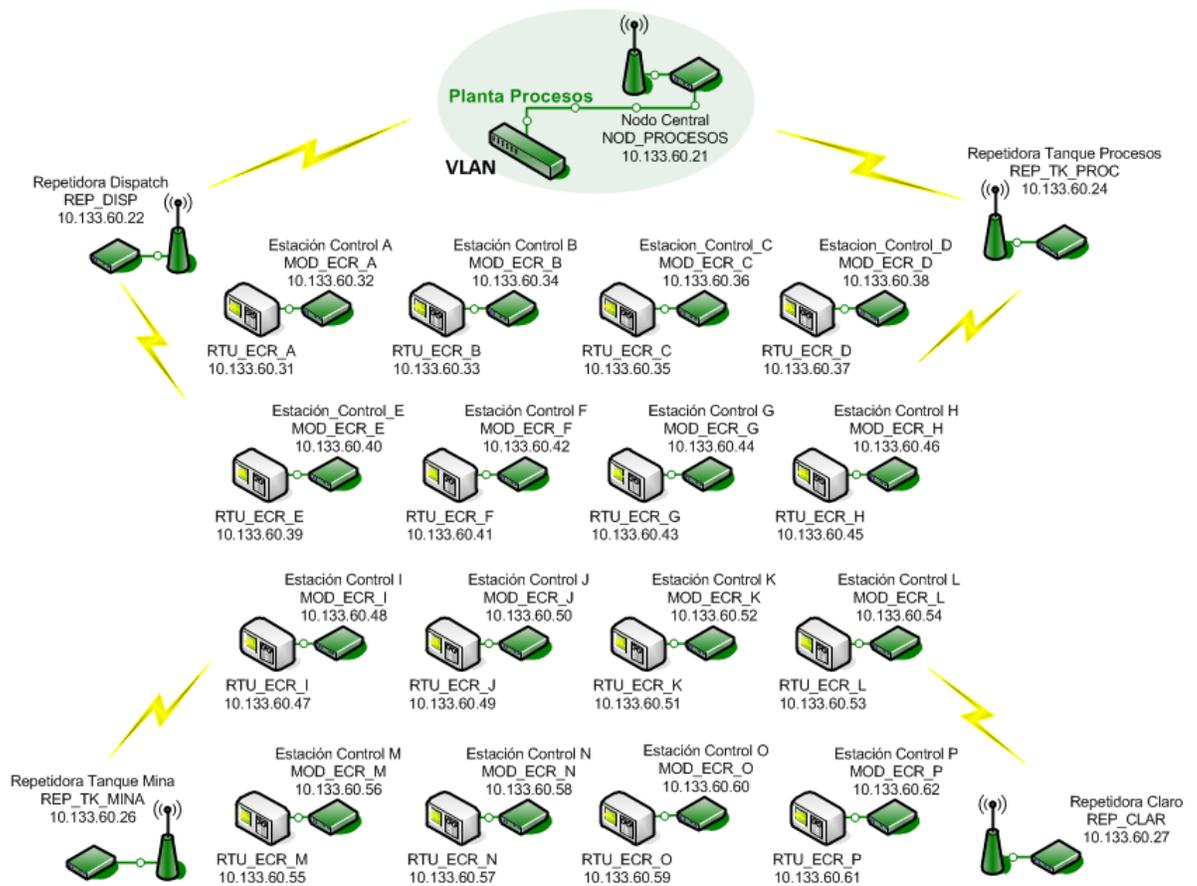


Figura N° 4.2. Esquema físico de la red de radio enlace de las ECR con el Nodo Central

Fuente: Elaboración Propia

La Figura N° 4.3 y N°4.4, muestran además el desarrollo en el software RSLink para la adquisición de datos de los PLCs Allen Bradley de las Estaciones de Control de Riego.

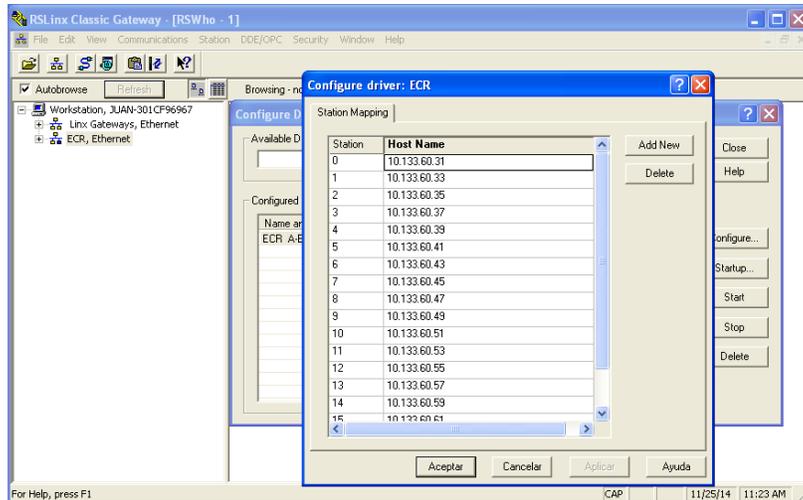


Figura N° 4.3: Mapeo de los PLCs de las ECR con RSLink

Fuente: Elaboración propia

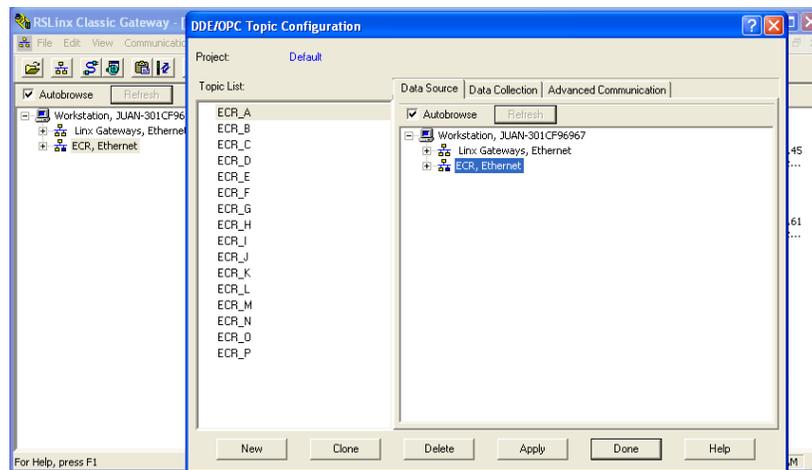


Figura N° 4.4: Adquisición de datos de los PLCs de las ECR con RSLink.

Fuente: Elaboración propia

2) Para la integración de las señales de las ECR con el servidor “Professional plus DeltaV” se contará con el software de Interfaz OPC. La figura N° 4.5, muestra la forma de configuración para en enlace entre el “RSLink OPC Server” y el “OPC Server DeltaV”.

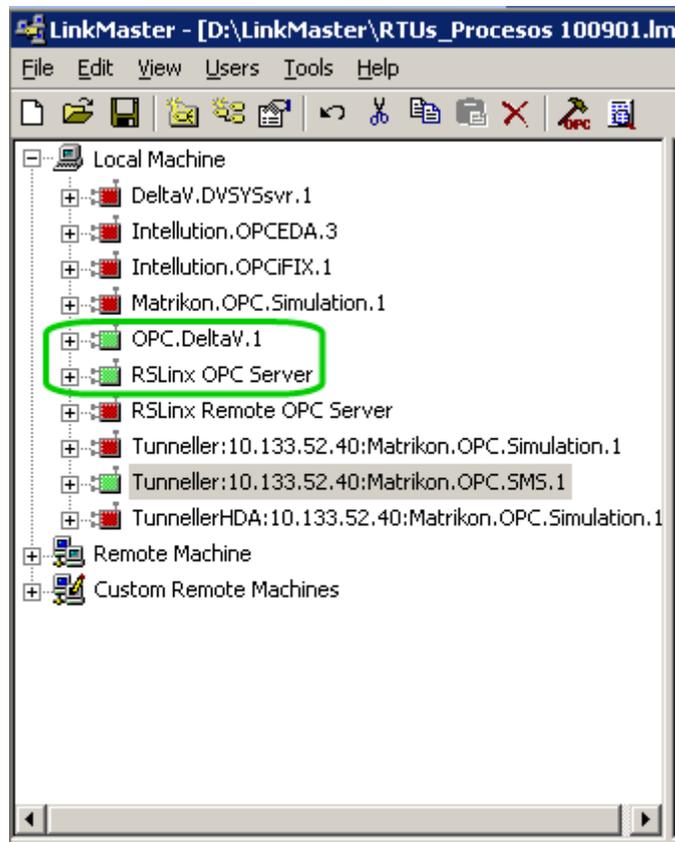


Figura N° 4.5: Integración de OPC DeltaV y OPC RSLink con Interfaz “Link Master”

Fuente: Elaboración propia

- 3) Como se puede apreciar en la figura N° 4.6, en la plataforma DeltaV, se contará con una nueva pantalla para la supervisión y control de todos y cada una de las ECR que se encuentre operativas y en proceso de riego, además de poder contar con el flujo total real con el que se está regando a todo el PAD de Lixiviación. En la figura N° 4.7, se muestra los datos de flujo, diferencia de presiones, densidad, volumen y tiempo de operación de la ECR_A

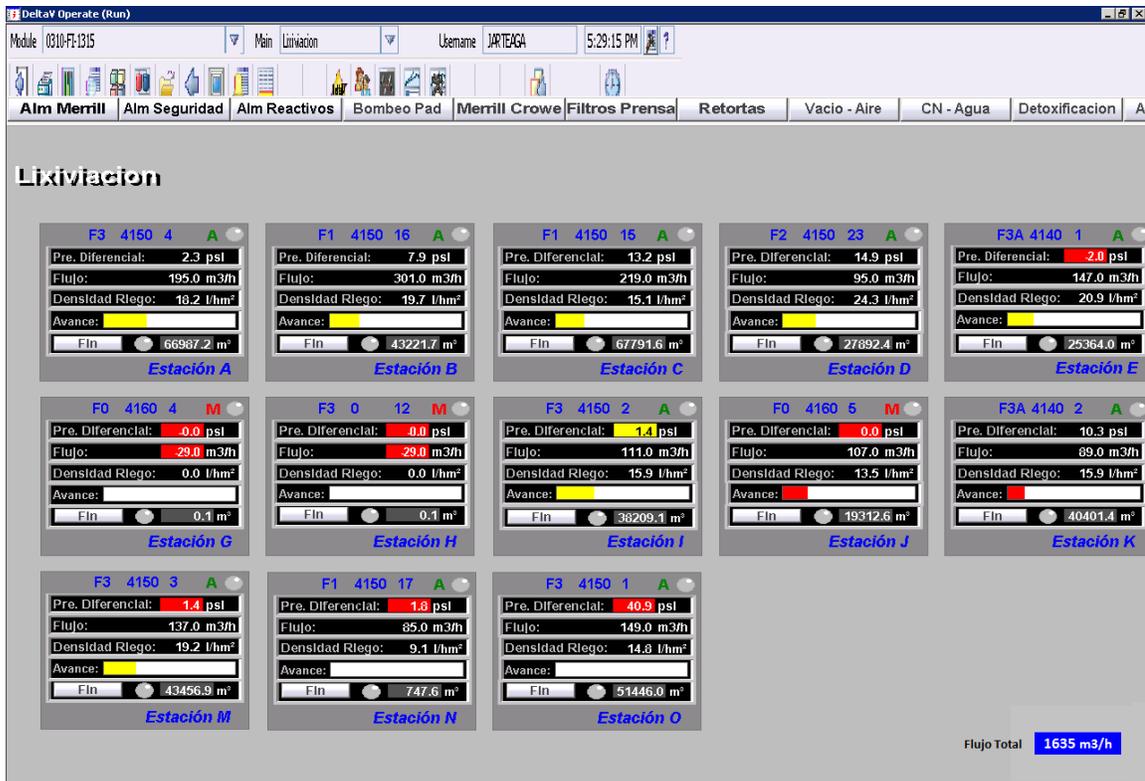


Figura N° 4.6: Pantalla de las ECR de lixiviación en HMI DeltaV

Fuente: Elaboración Propia



Figura N° 4.7: Supervisión de ECR_A con DeltaV

Fuente: Elaboración Propia

- 4) Se contará también con un “FacePlate” (plantillas de HMI DeltaV para Controles, enclavamientos y alarmas) donde el operador podrá ingresar el “Set Point” de “Taza de riego” deseado, tal cual muestra la figura N° 4.8; además de decidir el modo de operación remoto (Manual o Automático).

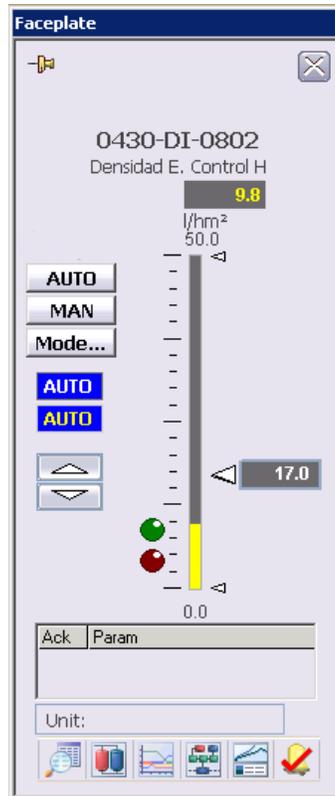


Figura N° 4.8: Ingreso de Set Pint de Densidad de riego y Modos de Control de operación de una ECR en DeltaV

Fuente: Elaboración propia

- Para la estimación de costos de la implementación del sistema de control y supervisión de las celdas de riego durante el proceso de Lixiviación se toma en cuenta, tanto los equipos y los instrumentos a utilizar en las ECR y en 4 las repetidoras, como en las licencias y permisos de los softwares utilizados. Debido a que el nodo principal para el enlace con las 4 repetidoras ya se encuentra existente, no se considera en la estimación de costos.

A continuación se presenta las Tablas N° 4.3, 4.4 y 4.5 en las cuales se detalla la lista de equipos e instrumentos a proveer, softwares utilizados y el costo total:

Tabla N°4.3. Estimación de costos para las ECR.

Ítem	Equipo	Cantidad	Precio	Monto
1	ESTEEM 195 Eg-2 Radio Modem Industrial	16	\$1,000.00	\$16,000.00
2	Panel Solar SOLARWORLDS - W80	32	\$100.00	\$3,200.00
3	Regulador de carga Steca Sigma 12/24VDC -20Amp	16	\$100.00	\$1,600.00
4	Baterías(2) SONNENSCHNEIN S12/85Ah	32	\$100.00	\$3,200.00
5	PLC MicroLogix 1100 Allen Bradley 12/24VDC power	16	\$400.00	\$6,400.00
6	Módulo de entradas Analógicas 1762-IF04	16	\$180.00	\$2,880.00
7	Antena ESTEEM AA20Eg	16	\$100.00	\$1,600.00
8	Flujo Electromagnético SIEMENS MAG8000, 8in	16	\$4,500.00	\$72,000.00
9	Válvula Bermad de Control Electrónico 718-ES-8	16	\$3,500.00	\$56,000.00
10	Circuito Hidráulico Bermad para válvula 718-ES-8	16	\$1,500.00	\$24,000.00
11	Transmisor de Posición Honeywell	16	\$500.00	\$8,000.00
12	Transmisor de presión YOKOGAWA	32	\$800.00	\$25,600.00
			Total	\$220,480.00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°4.4: Estimación de costos para las 4 repetidoras

Ítem	Equipo	Cantidad	Precio	Monto
1	ESTEEM 195 Eg-2 Radio Modem Industrial	4	\$1,000.00	\$4,000.00
2	Fuente de Energía Phoenix Contact 12/24vdc	4	\$100.00	\$400.00
3	Antena HyperLink HG2415U-PRO	4	\$200.00	\$800.00
			Total	\$5,200.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°4.5: Estimación de costos para Licencias de softwares

Ítem	Equipo	Cantidad	Precio	Monto
1	RSLink Classic	1	\$1,000.00	\$1,000.00
2	Link Master OPC	1	\$5,000.00	\$5,000.00
			Total	\$6,000.00

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en la tabla N° 4.6, se muestra la estimación total de los costos para la implementación del sistema de control y supervisión.

Tabla N° 4.6: Estimación de costos Total

CONSOLIDADO DE COSTOS	
ELEMENTOS	MONTO
Equipos e Instrumentos de las ECR	\$220,480.00
Equipos de Repetidoras	\$5,200.00
Licencias para softwares utilizados	\$6,000.00
TOTAL	\$231,680.00

Fuente: Elaboración propia

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS:

- ✓ El sistema de riego automatizado para las celdas de lixiviación a través del control a lazo cerrado por medio de válvulas de control proporcional y transmisores de flujo y presión retroalimentados al controlador (PLC) quien gobernaría el proceso, permite que el trabajar opere y registre con mayor confianza y productividad las celdas que se encuentran regando. Así mismo la operación automática del proceso no se vería interrumpido por falta de alimentación eléctrica a las ECR, debido al sistema de energía renovable con la que se cuenta para que el proceso funcione confiablemente tanto en horario nocturno, como en el día.
- ✓ El análisis del sistema de control y supervisión para el proceso de riego automatizado, y la existencia de una plataforma ya estandarizada para el control de la mayor parte de la planta a través del DCS DeltaV y su software de configuración, programación y diseño HMI “Professional plus DeltaV”, conlleva a seleccionar al sistema SCADA como una base de desarrollo para la adquisición e integración de datos hacia el sistema de control ya existente. De acuerdo al dimensionamiento y principio de operación de las ECR, el sistema SCADA se acomoda y adecua a las exigencias de las Unidad terminales remotas (ECR) y a la Unidad Terminal Maestra (DeltaV). Así mismo la selección de un SCADA, condiciona al uso de algunas interfaces en el proceso de adquisición e integración de datos, y no directamente al sistema de control principal, lo cual sería mucho más eficiente en cuanto al monitoreo en tiempo real y al control en línea.

- ✓ Los instrumentos y equipos seleccionados son los adecuados para trabajar con un sistema automatizado y alimentación de energía renovable para el caso de las ECR y comunicación por radio frecuencia para el proceso de adquisición de datos. Así mismo se adecuan a las condiciones climatológicas extremas adversas que se presentan en el PAD de Lixiviación por lo cual se encuentran bajo las normas IP y NEMA estándares para protecciones mecánicas y eléctricas tal como se encuentran documentados en el anexo N°1.
- ✓ El diseño del sistema de control y supervisión del proceso de lixiviación en base a un sistema SCADA propuesto, permite que operador tenga un control remoto sobre las variables de proceso desde sala de control. Esto se plasma en la nueva pantalla de supervisión y control de todas las celdas que se encuentre operativas, obteniendo las señales de campo en tiempo real y tomar una acción rápida ante cualquier suceso en la línea de riego, como algún cambio inesperado en la diferencia de presión de la celda (alarmas pre establecidas). La integración al DeltaV de todas y cada una de las señales de flujo provenientes de las ECR, hacen posible también contar en el HMI con el flujo total y real de la solución cianurada con la que se está regando a todo el PAD de lixiviación.
- ✓ La implementación para un sistema de control y supervisión automatizado de las celdas de riego, conlleva a una estimación de costos considerablemente alto, debido a la cantidad de ECR con las que se contaría, las 4 estaciones repetidoras para el enlace entre las ECR y el nodo central, y las licencias de softwares utilizados. Así mismo el monto se ve reflejado a los equipos de excelente confiabilidad y disponibilidad, y un control automático eficiente.

6. CONCLUSIONES:

- ✓ Los PLCs serán quien tenga el gobierno automático de las ECR; esto conlleva a que con el proceso automatizado de las celdas de riego, el operador no tendría que efectuar el proceso de regulación de flujo manual ubicando su flujómetro portátil en la línea de descarga e ir regulando la válvula manualmente hasta llegar al valor del flujo con el que desea regar la celda.
- ✓ Las ECR como RTUs para la recolección de señales de flujo, presión, posición de válvula y regulación de válvula de control proporcional; y el Sistema de control principal existente como MTU, se acondicionan adecuadamente a la selección del sistema SCADA, como una base para la adquisición e integración de datos al Servidor “Professional plus DeltaV” para el diseño y desarrollo del HMI.
- ✓ Los instrumentos y equipos seleccionados se encuentran bajo las normas de protección IP y NEMA, las cuales permitirán garantizar tanto las señales de medición de flujo, presión, posición de válvula y acciones de control de las ECR, como el enlace de comunicación mediante radiofrecuencia entre las ECR y las estaciones repetidoras montadas.
- ✓ El diseño del sistema de control y supervisión del proceso de lixiviación automatizado conlleva a que el operador no tendría que desplazarse largas distancias por el PAD ni caminar durante horas extensas para regular flujos en las celdas que se encuentren en riego; además se encuentra reducido el tiempo de exposición de los trabajadores a posibles contaminaciones con HCN o solución cianurada. Finalmente las alarmas configuradas en el DeltaV por diferencias de presión en cada celda, hacen que el área de producción tome acciones correctivas rápidas ante posibles taponamientos de los goteros o a la misma vez ante posibles fugas de solución cianurada hacia zonas que sean consideradas como contaminación ambiental.
- ✓ De acuerdo a la estimación de costos final, el monto estimado de \$231,680.00 va acorde al impacto favorable respecto a las áreas de seguridad, producción y medio ambiente, siendo estos los 3 factores de gran consideración e importancia para la operación de Minera Barrick Misquichilca.

7. RECOMENDACIONES:

- ✓ Asegurarse que los instrumentos y equipos seleccionados certifiquen las normas de protección IP y NEMA.
- ✓ Verificar y comprobar una buena línea de vista entre las ECR y las estaciones repetidoras para un radioenlace eficiente y una comunicación segura.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

LIBROS

- Antonio Creus Sole (2007). “Instrumentación Industrial”, 7ma Edición. Editorial Alfaomega Marcombo.
- José Acedo Sánchez (2004). “Control Avanzado de Procesos. Teoría y Práctica”. Editorial Diaz De Santos
- Aquilino Rodríguez Penin (2012). “Sistema SCADA” 3era Edición. Editorial Marcombo.
- Macaulay, T. – Singer, B. (2012), Cybersecurity for industrial Control Systems, editorial CRC Press.
- Teresa García – Berrio Hernández (2003), “Informática y libertades. La protección de datos personales y su regulación en Francia y España” 1era edición – España.
- Josep Balcells y Josè Romeral, Autómatas Programables, Capítulo II Páginas 133 - 135 Editorial Marcombo 2ª Edición.

PAPERS Y PUBLICACIONES:

- Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía (SNMPE), 59 Informe nacional de la SNMPE – La Lixiviación
- Jorge Beckel, (2000), El proceso hidrometalúrgico de lixiviación en pilas y el desarrollo de la minería cuprífera en Chile. Revisión: Comisión Económica para América Latina y el Caribe – CEPAL
- José Antonio Manrique Martínez, (2005): Manejo de Pilas de Lixiviación de oro en minera Yanacocha S.R.L. Centro de publicaciones: Universidad Mayor de San Marcos – Tesis de Grado.

- Mark J. Logsdon, Karen Hagelstein, Terry, Mudder (2001), El Manejo del Cianuro en la extracción de oro. Centro de publicaciones: Consejo Internacional de Metales y Medio Ambiente.
- Minera Barrick Misquichilca S.A. (2007), Manual de operaciones del proceso de Lixiviación

ENLACES WEB

- (URL 01) Presentación Ing. Sergio Vicuña Diaz (2002): “Lixiviación de Oro en Pilas en Minera Yanacocha y el método de recuperación”
<http://www.slideshare.net/yagoveloz/lixiviacion-de-oro-en-pilas-en-yanacocha> -
Consultado: 20/03/2014
- (URL 02) Proceso de Producción Minera Barrick Misquichilca – Lagunas Norte.
<http://barricksudamerica.com/proceso-de-produccion/barrick/2012-08-29/115047.html> Consultado: 22/03/2014

ANEXOS:

Anexo 1: Especificaciones técnicas de los equipos e instrumentos.

1. Transmisor de Presión Yokogawa EJX510A

General Specifications

GS 01C25F01-01E

EJX510A and EJX530A
Absolute and Gauge Pressure
Transmitter



[Style: S2]

The high performance absolute and gauge pressure transmitter EJX510A and EJX530A feature single crystal silicon resonant sensor and are suitable to measure liquid, gas, or steam pressure. EJX510A and EJX530A output a 4 to 20 mA DC signal corresponding to the measured pressure. It also features quick response, remote setup and monitoring via BRAIN or HART communications, diagnostics, and optional status output for pressure high/low alarm. The multi-sensing technology provides the advanced diagnostic function to detect such abnormalities as an impulse line blockage or heat trace breakage. FOUNDATION Fieldbus protocol type is also available.

All EJX series models in their standard configuration, with the exception of the Fieldbus type, are certified by TÜV as complying with SIL 2 for safety requirement.

■ STANDARD SPECIFICATIONS

Refer to GS 01C25T02-01E for Fieldbus communication type marked with "◇".

SPAN AND RANGE LIMITS
(For EJX510A, values are in absolute and lower range limits are 0.)

Measurement Span/Range	MPa	psi (D1)	bar (D3)	kgf/cm ² (D4)
A	Span 8 to 200 kPa	1.16 to 29	0.08 to 2	0.08 to 2
	Range -100 to 200 kPa	-14.5 to 29	-1 to 2	-1 to 2
B	Span 0.04 to 2	5.8 to 290	0.4 to 20	0.4 to 20
	Range -0.1 to 2	-14.5 to 290	-1 to 20	-1 to 20
C	Span 0.2 to 10	29 to 1450	2 to 100	2 to 100
	Range -0.1 to 10	-14.5 to 1450	-1 to 100	-1 to 100
D	Span 1 to 50	145 to 7200	10 to 500	10 to 500
	Range -0.1 to 50	-14.5 to 7200	-1 to 500	-1 to 500

PERFORMANCE SPECIFICATIONS

Zero-based calibrated span, linear output, wetted parts material code 'S' and silicone oil, unless otherwise mentioned.

For Fieldbus communication type, use calibrated range instead of span in the following specifications.

Specification Conformance
EJX series ensures specification conformance to at least ±3σ.

Reference Accuracy of Calibrated Span
(Includes the effects of terminal-based linearity, hysteresis, and repeatability)

Measurement span	A	B	C	D
Reference Span ≥ X	±0.1% of Span			
accuracy Span < X	±(0.01+0.009 URL/Span) % of Span			
X	20 kPa (2.9 psi)	0.2 MPa (29 psi)	1 MPa (145 psi)	5 MPa (720 psi)
URL (Upper range limit)	200 kPa (29 psi)	2 MPa (290 psi)	10 MPa (1450 psi)	50 MPa (7200 psi)

Ambient Temperature Effects per 28°C (50°F) Change
±(0.15% of Span + 0.15% of URL)

Stability (All normal operating condition)
±0.1% of URL per 1 year

Power Supply Effects
±0.005% per Volt (from 21.6 to 32 V DC, 350 Ω)

Vibration Effects
Amplifier housing code 1:
Less than 0.1% of URL when tested per the requirements of IEC60770-1 field or pipeline with high vibration level (10-60 Hz, 0.21 mm peak to peak displacement/60-2000 Hz 3 g)
Amplifier housing code 2:
Less than ±0.1% of URL when tested per the requirements of IEC60770-1 field with general application or pipeline with low vibration level (10-60 Hz 0.15mm peak to peak displacement /60-500 Hz 2g)

Mounting Position Effects
Rotation in diaphragm plane has no effect. Tilting up to 90 degree will cause zero shift up to 0.21 kPa (0.84 inH₂O) which can be corrected by the zero adjustment.

Response Time (All capsules) "◇"
90 msec
When software damping is set to zero and including dead time of 45 msec (nominal)



2. Flujómetro SIEMENS MAG 8000 – 8”



Transmitter	
Installation MAG 8000	Integral (compact) or remote with factory mounted cable in 5, 10, 20 or 30 m lengths with IP68/NEMA 6P connectors. Connection is made at the transmitter bottom.
Installation MAG 8000 CT	Integral (compact) or remote with factory mounted cable in 5 or 10 m lengths with IP68/NEMA 6P connectors. Connection is made at the transmitter bottom. MI-001 verified meters only Integral (compact) mounted.
Enclosure	Stainless steel top housing (AISI 316) and coated brass bottom. Remote wall mount bracket in stainless steel (AISI 304).
Cable entries	2 x M20 (one gland for one cable of size 6 ... 8 mm (0.02 ... 0.026 ft) is included in the standard delivery)
Display and key	Display with 8 digits for main information. Index, menu and status symbols for dedicated information Key for toggling through the information and reset customer totalizer and call-up function Selectable default information and accessible menus: - Operator - Meter - Service - Data Logger - Statistic and leakage (only Advanced version) - Revenue and Tariffs (only Advanced version) Totalized information can be displayed with 1, 2, 3 decimals or automatic adjustment for maximum resolution
Flow unit MAG 8000	Volume in m ³ and flow rate in m ³ /h
Europe std.	Volume in Gallon and flow rate in GPM
US std.	Volume in MI and flow rate as MI/d
Australian std.	Other units selectable: Volume: m ³ x 100, l x 100, G x 100, G x 1000, MG, CF x 100, CF x 1000, AF, AI, KI Flow: m ³ /min, m ³ /d, l/s, l/min, GPS, GPH, GPD, MGD, CFS, CFM, CFH Other units are ordered from factory or manually configured onsite by sticking a label on the display and changing the scaling factors
Communication	IrDA: Standard integrated infrared communication interface with MODBUS RTU protocol Add-on modules: • RS 232 serial interface with MODBUS RTU (Rx/Tx/GND), point to point with max. 15 m cable • RS 485 serial interface with MODBUS RTU (+/-/GND), multidrop with up to 32 devices with max. 1000 m cable MODBUS RTU protocol is an open protocol (further information available on request) Serial speed 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400 Baud
Battery power supply¹⁾	Auto detection of power source with displayed symbol for remaining power. In battery mode, excitation frequency is manually selected Internal battery pack: 2 D-Cell 3.6 V / 33 Ah External battery pack: 4 D-Cell 3.6 V / 66 Ah
12-24 V AC/DC power supply	Input voltage range: 12-24 V AC/DC (10-32 V AC/DC) Power consumption during line: 2 VA Isolation: Class II Fuse: 1000 mA T - Not replaceable Short circuit protection: Module is protected from short circuit on the output connector. Both during mains and backup supply Complies with standards: IEC 61010-1, OIML R49-1, EN 61000-6-3, EN 610000-6-2
115/230 V AC mains power supply	Input voltage range: 115/230 V AC, +15% to -20%, 50-60 Hz Power consumption during mains: 2 VA Isolation: Class II Fuse: 250 mA T - Not replaceable Short circuit protection: Module is protected from short circuit on the output connector. Both during mains and backup supply Complies with standards: IEC 61010-1, OIML R49-1, EN 61000-6-3, EN 610000-6-2
Input cable for 12-24 V AC/DC and 115/230 V AC power supply	Factory mounted PUR cable with 2 x 1 mm ² (brown, blue), length = 3 m Resistant to sunlight and water Outer diameter 7 mm Rated voltage (V AC) 300/500 V AC Testing voltage (V AC) 2000 V AC Temperature range (°C): Fixed laying -40 to +90 °C Flexible application -30 to +80 °C Minimum bending radius 28 mm, (fixed installation) Maximum pulling force 200 N Output: As battery connector - female Backup battery: As battery connector - male

3. Válvula BERMAD 718-03



Datos técnicos

Tamaños: DN40-900 ; 1/2-36"
Conexiones terminales (Presiones nominales):
Brida: ISO PN16, PN25 (ANSI Clase 150, 300)
Rosca: BSP o NPT
Otras: Disponibles a pedido
Formas de válvulas: "Y" (globo) y angular, globo (DN600-900 ; 24"-36")
Temperatura de trabajo: Agua hasta 80°C ; 180°F
Materiales estándar:
Cuerpo y actuador: Hierro dúctil
Piezas internas: Acero inoxidable, bronce y acero revestido
Diafragma: Caucho sintético Nylon reforzado
Juntas (selladuras): Caucho sintético
Revestimiento: Epoxy adherido por fusión (FBE) , aprobado por RAL 5005 (Azul) para agua potable o polvo electrostático de poliéster

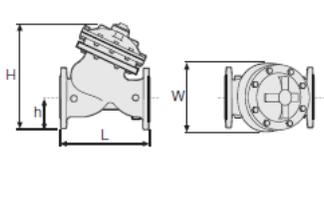
Cálculo de presión diferencial

$$\Delta P = \left(\frac{Q}{Kv; Cv} \right)^2$$

ΔP = Presión diferencial para válvula completamente abierta (bar; psi)
 Q = Caudal (m³/h ; gpm)
 Kv = Sistema métrico decimal - coeficiente de caudal de la válvula (caudal en m³/h a 1 bar de presión diferencial con agua a 15°C)
 Cv = Sistema estadounidense - Coeficiente de caudal de la válvula (caudal en gpm a 1 psi de presión diferencial con agua a 60°F)
 $Cv = 1.155 Kv$

Tabla de datos de caudales y dimensiones

	DN / Tamaño	40	1.5"	50	2"	65	2.5"	80	3"	100	4"	150	6"	200	8"	250	10"	300	12"	350	14"	400	16"	450	18"	500	20"
700 Y / 70ES	Kv / Cv - Plano	54	62	57	66	60	69	65	75	145	167	395	456	610	705	905	1.045	1.520	1.756	-	-	2.250	2.599	-	-	4.070	4.701
	Kv / Cv - V-Port	46	53	48	56	51	59	55	64	123	142	336	388	519	599	769	888	1.292	1.492	-	-	1.918	2.209	-	-	3.460	3.996
	Kv / Cv - "Y" Plano	42	49	50	58	55	64	115	133	200	230	460	530	815	940	1.250	1.440	1.850	2.140	1.990	2.300	3.310	3.820	3.430	3.960	3.550	4.100
	Kv / Cv - "Y" V-Port	36	41	43	49	47	54	98	113	170	200	391	450	693	800	1.063	1.230	1.573	1.820	1.692	1.950	2.814	3.250	2.916	3.370	3.018	3.490
700-ES	L (mm / pulg.)	230	9.1	230	9.1	290	11.4	310	12.2	350	13.8	480	18.9	600	23.6	730	28.7	850	33.5	-	-	1.100	43.3	-	-	1.250	49.2
	W (mm / pulg.)	150	5.9	165	6.5	185	7.3	200	7.9	235	9.3	300	11.8	360	14.2	425	16.7	530	20.9	-	-	626	24.6	-	-	838	33
	h (mm / pulg.)	80	3.1	90	3.5	100	3.9	105	4.1	125	4.9	155	6.1	190	7.5	220	8.7	250	9.8	-	-	320	12.6	-	-	385	15.2
	H (mm / pulg.)	240	9.4	250	9.8	250	9.8	260	10.2	320	12.6	420	16.5	510	20.1	605	23.8	725	28.5	-	-	895	35.2	-	-	1.185	46.7
700-EN	Peso (Kg/lb)	10	22	10.8	23.8	13.2	29	15	33	26	57.2	55	121	95	209	148	326	255	561	-	-	437	960	-	-	1.061	2.334
	L (mm / pulg.)	-	-	-	-	-	-	310	12.2	350	13.8	480	18.9	600	23.6	730	28.7	850	33.5	-	-	-	-	-	-	-	-
	W (mm / pulg.)	-	-	-	-	-	-	200	7.9	235	9.3	320	12.6	390	15.4	480	18.9	550	21.7	-	-	-	-	-	-	-	-
	h (mm / pulg.)	-	-	-	-	-	-	100	3.9	118	4.6	150	5.9	180	7.1	213	8.4	243	9.6	-	-	-	-	-	-	-	-
700 Bridas	H (mm / pulg.)	-	-	-	-	-	-	305	12	369	14.5	500	19.7	592	23.3	733	28.9	841	33.1	-	-	-	-	-	-	-	-
	Peso (Kg/lb)	-	-	-	-	-	-	21	46.2	31	68.2	70	154	115	253	198	436	337	741	-	-	-	-	-	-	-	-
	L (mm / pulg.)	205	8.1	210	8.3	222	8.7	250	9.8	320	12.6	415	16.3	500	19.7	605	23.8	725	28.5	733	28.9	990	39	1,000	39.4	1,100	43.3
	W (mm / pulg.)	155	6.1	165	6.5	178	7	200	7.9	223	8.8	320	12.6	390	15.4	480	18.9	550	21.7	550	21.7	740	29.1	740	29.1	740	29.1
700 Rosca	h (mm / pulg.)	78	3.1	83	3.3	95	3.7	100	3.9	115	4.5	143	5.6	172	6.8	204	8	242	9.5	268	10.6	300	11.8	319	12.6	358	14.1
	H (mm / pulg.)	239	9.4	244	9.6	257	10.1	305	12	366	14.4	492	19.4	584	23	724	28.5	840	33.1	866	34.1	1,108	43.6	1,127	44.4	1,167	45.9
	Peso (Kg/lb)	9.1	20	10.6	23	13	29	22	49	37	82	75	165	125	276	217	478	370	818	381	840	846	1,865	945	2,083	962	2,121
	L (mm / pulg.)	205	8.1	210	8.3	222	8.7	264	10.4	335	13.2	433	17	524	20.6	637	25.1	762	30	767	30.2	1,024	40.3	1,030	40.6	1,136	44.7
Angular: PN16; 25 Clase 150; 300	W (mm / pulg.)	155	6.1	165	6.5	185	7.3	207	8.1	250	9.8	320	12.6	390	15.4	480	18.9	550	21.7	570	22.4	740	29.1	740	29.1	750	29.5
	h (mm / pulg.)	78	3.1	83	3.3	95	3.7	105	4.1	127	5	159	6.3	191	7.5	223	8.8	261	10.3	295	11.6	325	12.8	357	14.1	389	15.3
	H (mm / pulg.)	239	9.4	244	9.6	257	10.1	314	12.4	378	14.9	508	20	602	23.7	742	29.2	859	33.8	893	35.2	1,133	44.6	1,165	45.9	1,197	47.1
	Peso (Kg/lb)	10	22	12.2	27	15	33	25	55	43	95	85	187	146	322	245	540	410	904	434	957	900	1,984	967	2,132	986	2,174
Angular: PN16; 25 Clase 150; 300	L (mm / pulg.)	155	6.1	155	6.1	212	8.3	250	9.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	W (mm / pulg.)	122	4.8	122	4.8	122	4.8	163	6.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	h (mm / pulg.)	40	1.6	40	1.6	48	1.9	56	2.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	H (mm / pulg.)	201	7.9	202	8	209	8.2	264	10.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Angular: PN16; 25 Clase 150; 300	Peso (Kg/lb)	5.5	12	5.5	12	8	18	17	37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	L (mm / pulg.)	-	-	121	4.8	140	5.5	159	6.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	W (mm / pulg.)	-	-	122	4.8	122	4.8	163	6.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	R (mm / pulg.)	-	-	40	1.6	48	1.9	55	2.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Angular: PN16; 25 Clase 150; 300	h (mm / pulg.)	-	-	83	3.3	102	4	115	4.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	H (mm / pulg.)	-	-	225	8.9	242	9.5	294	11.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Peso (Kg/lb)	-	-	5.5	12	7	15	15	33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	



4. Solenoide para circuito hidráulico de válvula BERMAD:

BERMAD Irrigation

Solenoid Valves Catalog



S - Series

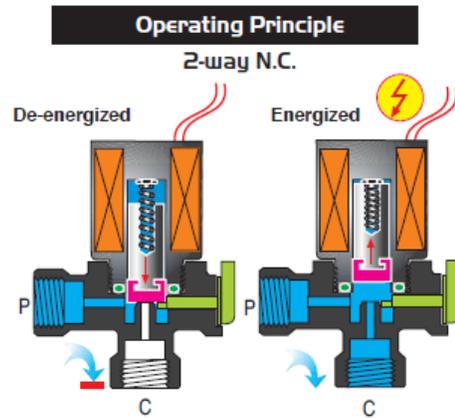
Model S-390

Continuous Current Solenoid Pilot Valves

Model S-390: 2-way Solenoid Pilot Valve

Technical Data and Specifications:

- **Pressure Range:** 0-10 bar
 - **Materials:**
 - Seals: NBR
 - Wet parts: Stainless steel 400 and nylon
 - **Base Flow Factor:** $K_v = 1.3$ l/min at ΔP of 1 bar with orifice size 1.8 mm
 - **Solenoid to Base Connection:** 3/4" 20 UNEF threaded
 - **Leads:** 0.32 mm² x 30 cm
- Operating:**
- **Pressure Range:** 0-10 bar
 - **Base Flow Factor:** (Kv.)
 - Pressure Port: 2.0 l/min.
 - Exhaust Port: 2.0 l/min.
- Electrical:**
- **Voltage Range:** 9-40 VDC
 - **Pulse Width:** 20-100 mSec.
 - **Coil Resistance:** 6Ω
 - **Coil Inductance:** 90 mH



2Way Electrical Data

Actuator Type	Actuator Index	Cable Color	Power (watt)	Current (amp)		Coil Resistance ohm@20°C
				Inrush	Holding	
24VAC-R	AR	Red	1.7	0.28	0.14	35
24VAC-D	ED	Red/Orange	2.2	0.13	0.13	56
24VAC-R	DR	Red	2.2	0.76	0.43	6
24VDC	AO	Black	3.6	0.15	0.15	170
12VDC	HO	Blue	3.8	0.17	0.17	38

5. Transmisor de Posición Honeywell PK 88316

Honeywell

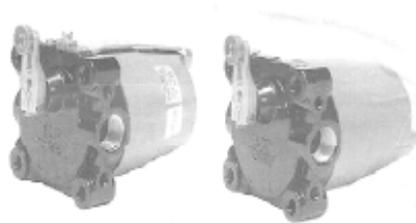
Installation and Service Instructions for CX Weather-Sealed Explosion-proof Switches

ISSUE 2

PK 88136



0518



⚠ WARNING
PERSONAL INJURY
DO NOT USE these products as safety or emergency stop devices, or in any other application where failure of the product could result in personal injury.
Failure to comply with these instructions could result in death or serious injury.

GENERAL INFORMATION

Sealed construction for Honeywell CX explosion-proof switches provides protection from the entry of water, dust and oil as defined in NEMA 3, 4, 4X, 6, 6P, 13, and IP66/IP67 as defined in IEC 529.

CX Series products with conduit types ¾-14NPT also meet the North American Hazardous Locations Designation: Class I, Group C and D; Class II, Groups E, F and G. CX listings beginning with numbers 14, 16, 24, 26, 36, or 84 (example: 14CX1) also meet Class I, Group B. These explosion-proof and weather-sealed switches are protected from flammable hydrocarbon atmospheres, metal dust, coal dust, and grain dust, and comply with UL Standard: UL 894 and UL 1203, CSA Standard: C22.2 no. 25-1986, C22.2 no. 30-M1986.

Select CX Series products also meet the European Hazardous Locations Designation: EExd IIC T6 category II 2 GD, KEMA 01ATEX2111X and complies with the European Directive on Equipment and Protective Systems Intended for Use in Potentially Explosive Atmospheres (94/9/EC) commonly referred to as the ATEX Directive. Compliance with the Essential Health and Safety Requirements has been assured by compliance with EN50014 1997, EN50018 1994 and EN50281-1-1. The European-approved products have a temperature range of -40 °C to 70 °C [-40 °F to

158 °F], and when used within the maximum voltage and current specified on the product will have no heating problems. **Notice:** As ambient temperature approaches 60 °C [140 °F], the cable entry can be 70 °C [158 °F] or higher. Cable branching can be 80 °C [176 °F] or higher, making it important to select cable that meets these requirements.

Application Note: Enclosures are based, in general, on the broad definitions outlined in NEMA standards. Therefore, it will be necessary for the user to determine that a particular enclosure is adequate when exposed to the specific conditions that might exist in intended applications. Except as might otherwise be noted, all references to products relative to NEMA enclosure types are based on MICRO SWITCH evaluation only.

IMPORTANT: Switches without shaft re-storing force do not have overtravel stops. On switches with potentiometers, use care to insure that overtravel does not exceed 125° in the application and during set-up.

LEVER POSITIONING

Loosen the screw with a 9/64 inch hexagon key wrench, move the lever to the desired position and securely tighten the screw until the "teller tab" can no longer be moved by hand. Then tighten the screw another 1/8 to 1/4 turn to assure that the lever is tight on the shaft. Hexagon key wrenches are provided in adjusting tool set LSZ4005 for this purpose.

CAM ADJUSTMENT

Pretravel, overtravel, and actuation sequencing can be adjusted and/or modified in the field. No tools are required.

To Adjust Plunger Types:

1. Lift cam follower.



CX Series

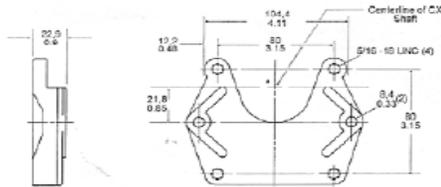
ISSUE 2 PK 88136

REPLACEMENT LEVERS

To order replacement levers, order the part number which is metal stamped on either the lever or the hub. **Only nonsparking levers can be used to retain the explosion-proof properties.**

MOUNTING ADAPTER — 15PA148-CX

Available for adapting CX to existing 2 hole mount.



ANALOG POSITION-SENSING UNITS

1. Resistive Output

- Specifications:
 500 ohms \pm 10% in center (free position)
 975 ohms max. at 105° rotation clockwise (CW)
 25 ohms min. at 105° rotation CCW
 2 watts power at 70°C/150°F at full scale

Wiring Diagram



2. Current Output (4 to 20 mA)

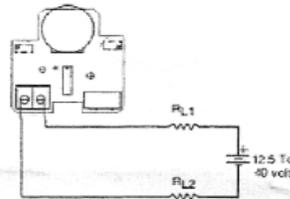
The signal from the position-sensing unit is converted to a two-wire 4 to 20 mA current output.

- Specifications:
 Voltage compliance range: 12.5 to 40 VDC
 Maximum load resistance:

$$R_{L\max} = \frac{V_{\text{Supply}} - 12.5}{20 \text{ mA}}$$

- Current signal output: 4-20mA
 Span: Adjustable from 15° to 90° of angular rotation
 Null: 4 mA position may be set at any angular position

Typical Wiring Connections:



ROTARY ACTUATION

Catalog Listing Prefix (*listing indicates replacement parts)	11CX, 21CX, 61CX, 71CX, 81CX, 281CX, 91CX*	12CX, 22CX, 62CX, 72CX, 82CX, 282CX, 92CX*	14CX, 24CX, 64CX, 74CX, 84CX, 284CX, 94CX*	16CX, 26CX, 66CX, 76CX, 86CX, 286CX, 96CX*	1172CX, 2172CX, 9172CX*
Pretravel, max.	15°	15°	30°	30°	15°
Differential Travel, max.	5°	10°	25°	20°	5°
Overtravel, min.	90°	90°	75°	75°	90°
Circuitry	Single-Pole Double-Throw	Single-Pole Double-Throw	Double-Pole Double-Throw	Single-Pole Double-Throw	(Gold Contact) Single-Pole Double-Throw
Electrical Ratings	UL/CSA Rating: L96 15 A, 120, 240, or 480 Vac. ½ Hp, 120 Vac; ¼ Hp, 240 Vac 0.5 A, 125 Vdc, 0.25 A, 250 Vdc.	UL/CSA Rating: L23 20 A, 120, 240, or 480 Vac. 1 Hp, 120 Vac; 2 Hp, 240 Vac 0.5 A, 125 Vdc, 0.25 A, 250 Vdc.	UL/CSA Rating: L58 10 A, 120 or 240 Vac. 0.3 A, 125 Vdc, 0.15 A, 250 Vdc.	UL/CSA Rating: L22 1 A, 125 Vac.	UL/CSA Rating: L22 1 A, 125 Vac

PLUNGER ACTUATION

Catalog Listing Prefix (*listing indicates replacement parts)	31CX, 41CX, 101CX*	32CX, 42CX, 102CX*		36CX, 46CX, 106CX*	3172CX
Circuitry	Single-Pole Double-Throw	Single-Pole Double-Throw		Single-Pole Double-Throw	(Gold Contact) Single-Pole Double-Throw
Electrical Ratings	UL/CSA Rating: L96 15 A, 120, 240, or 480 Vac. ½ Hp, 120 Vac; ¼ Hp, 240 Vac 0.5 A, 125 Vdc, 0.25 A, 250 Vdc.	UL/CSA Rating: L23 20 A, 120, 240, or 480 Vac. 1 Hp, 120 Vac; 2 Hp, 240 Vac 0.5 A, 125 Vdc, 0.25 A, 250 Vdc.		UL/CSA Rating: L22 1 A, 125 Vac.	UL/CSA Rating: L22 1 A, 125 Vac
Pretravel, max.			2.5 mm [0.10 in]		
Differential Travel, max.			1 mm [0.04 in]	2 mm [0.08 in]	1 mm [0.04 in]
Overtravel, min.			4.75 mm [0.19 in]		

6. PLC MicroLogix 1100 – L16DWD



General Specifications

Description	1763-			
	L16AWA	L16BWA	L16BBB	L16DWD
Dimensions	Height: 90 mm (3.5 in.), 104 mm (4.09 in.) (with DIN latch open) Width: 110 mm (4.33 in.), Depth: 87 mm (3.43 in.)			
Shipping weight	0.9 kg (2.0 lbs)			
Number of I/O	12 inputs (10 digital and 2 analog) and 6 outputs			
Power supply voltage	100...240V AC (-15%, +10%) at 47...63 Hz		24V DC (-15%, +10%) Class 2 SELV	12V to 24V DC (-15%, +10%) Class 2 SELV
Heat dissipation	See Appendix G .			
Power supply inrush current (max.)	120V AC: 25 A for 8 ms 240V AC: 40 A for 4 ms		24V DC: 15 A for 20 ms	
Maximum power consumption	46 VA	52 VA	35 W See MicroLogix 1100 DC Input Power Requirements for 1763-L16BBB Unit on page 156 .	
24V DC sensor power	None	250 mA at 24V DC AC Ripple < 500 mV peak-to-peak 400 µF max.	None	
Input circuit type	Digital: 120V AC Analog: 0...10V DC	Digital: 24V DC sink/source (standard and high-speed) Analog: 0...10V DC	Digital: 24V DC sink/source (standard and high-speed) Analog: 0...10V DC	
Output circuit type	Relay	Relay	Relay/FET	Relay
Temperature, operating	-20...65 °C (-4...149 °F) ambient			
Temperature, storage	-40...85 °C (-40...185 °F) ambient			
Relative humidity	5%...95% non-condensing			
Vibration	Operating: 10...500 Hz, 5 g, 0.015 in. max. peak-to-peak, 2 hours each axis Relay Operation: 1.5 g			
Shock, operating	30 g; 3 pulses each direction, each axis Relay Operation: 10 g			
Shock, non-operating	50 g panel mounted (40 g DIN Rail mounted); 3 pulses each direction, each axis			
Terminal screw torque	0.56 Nm (5.0 in-lb) rated			
Agency certification	UL Listed Industrial Control Equipment for use in Class 1, Division 2, Hazardous Locations, Groups A, B, C, D C-UL Listed Industrial Control Equipment for use in Canada CE marked for all applicable directives C-Tick marked for all applicable acts			
Electrical/EMC	The controller has passed testing at the following levels:			

7. Módulo de entradas analógicas 1762-IF4



General

Attribute	Value
Dimensions, HxWxD	90 x 40.4 x 87 mm (3.54 x 1.59 x 3.43 in.)
Approximate shipping weight (with carton)	235 g (8.28 oz)
Bus current draw, max	40 mA @ 5V DC 50 mA @ 24V DC
Analog normal operating range	Voltage: -10...10V DC Current: 4...20 mA
Full scale ⁽¹⁾ analog ranges	Voltage: -10.5...10.5V DC Current: -21...21 mA
Resolution	15 bits (bipolar)
Repeatability ⁽²⁾	±0.12%
Input group to system isolation	30V AC/30V DC rated working voltage ⁽⁴⁾ (IEC Class 2 reinforced insulation) type test: 500V AC or 707V DC for 1 min
Module power LED	On: indicates power is applied.
Recommended cable	Belden 8761 (shielded)
Vendor ID code	1
Product type code	10
Product code	67
Wire size	See Wire Size and Terminal Screw Torque on page 15
Wiring category ⁽³⁾	2 - on signal ports
Pilot duty rating	Not rated
Enclosure type rating	IP20
North American temp code	T3C

Attribute	Value
Temperature, operating	IEC 60068-2-1 (Test Ad, Operating Cold), IEC 60068-2-2 (Test Bd, Operating Dry Heat), IEC 60068-2-14 (Test Nb, Operating Thermal Shock): -20... 65 °C (-4...149 °F)
Temperature, storage	IEC 60068-2-1 (Test Ab, Unpackaged Non-operating Cold), IEC 60068-2-2 (Test Bb, Unpackaged Non-operating Dry Heat), IEC 60068-2-14 (Test Na, Unpackaged Non-operating Thermal Shock): -40...85 °C (-40... 185 °F)
Relative humidity	IEC 60068-2-30 (Test Db, Unpackaged Damp Heat): 5...95% non-condensing
Vibration	IEC 60068-2-6 (Test Fc, Operating): 5 g @ 10... 500 Hz
Altitude, operating, max	2000 m (6562 ft)
Shock, operating	IEC 60068-2-27 (Test Ea, Unpackaged Shock): 30 g
Shock, nonoperating	IEC 60068-2-27 (Test Ea, Unpackaged Shock): Panel mount - 50 g DIN mount - 40 g
Emissions	CISPR 11 Group 1, Class A
ESD immunity	IEC 61000-4-2: 4 kV contact discharges 8 kV air discharges 4 kV indirect
Radiated RF immunity	IEC 61000-4-3: 10V/m with 1 kHz sine-wave 80% AM from 80...2700 MHz
EFT/B immunity	IEC 61000-4-4: ±2 kV at 5 kHz on signal ports
Surge transient immunity	IEC 61000-4-5: ±1 kV shielded line-earth (CM) on signal ports
Conducted RF immunity	IEC 61000-4-6: 10V rms with 1 kHz sine-wave 80% AM from 150 kHz...80 MHz

8. Panel Solar SOLARWORLD SW80:



Sunmodule

SW 70/75/80/85/90 mono/R5A

Comportamiento bajo condiciones estándar de prueba (STC*)

		SW 70	SW 75	SW 80	SW 85	SW 90
Potencia en el punto de máx. potencia	P_{max}	70 Wp	75 Wp	80 Wp	85 Wp	90 Wp
Tensión en vacío	V_{oc}	21,5 V	21,7 V	21,9 V	22,1 V	22,3 V
Tensión a potencia máxima	V_{mpp}	17,0 V	17,3 V	17,5 V	17,8 V	18,0 V
Corriente de cortocircuito	I_{sc}	4,60 A	4,80 A	5,00 A	5,20 A	5,40 A
Corriente a potencia máxima	I_{mpp}	4,13 A	4,35 A	4,58 A	4,79 A	5,01 A

*STC (standard test conditions): 1000 W/m², 25°C, AM 1,5

Comportamiento a 800 W/m², NOCT, AM 1,5

		SW 70	SW 75	SW 80	SW 85	SW 90
Potencia en el punto de máx. potencia	P_{max}	50 Wp	53,6 Wp	57,2 Wp	60,8 Wp	64,4 Wp
Tensión en circuito abierto	V_{oc}	19,4 V	19,6 V	19,8 V	20,0 V	20,2 V
Tensión a potencia máxima	V_{mpp}	15,3 V	15,5 V	15,7 V	15,9 V	16,1 V
Corriente de cortocircuito	I_{sc}	3,80 A	3,97 A	4,13 A	4,30 A	4,46 A
Corriente a potencia máxima	I_{mpp}	3,29 A	3,46 A	3,64 A	3,81 A	3,99 A

Ligera reducción de la eficiencia en el comportamiento con carga parcial a 25°C:

A 200 W/m² se alcanza el 95 % (+/- 3 %) de la eficiencia bajo condiciones estándar de prueba (1000 W/m²).

Materiales empleados

Células por módulo	36
Tipo de célula	Silicio monocristalino
Medidas de la célula	125 x 125 mm ²

Parámetros térmicos característicos

NOCT	46°C
TK I_{sc}	0,036 %/K
TK V_{oc}	-0,33 %/K

Parámetros característicos para la integración óptima en el sistema

Maximum system voltage SC II	1000 V _{DC}
------------------------------	----------------------

Otros datos

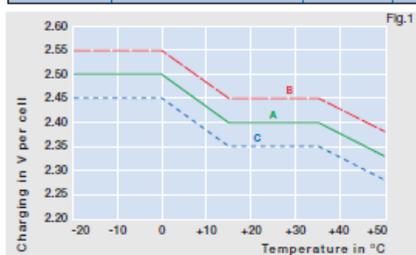
Tolerancia de potencia	+/- 5 %
Máx. diámetro externo del cable	6,9 mm
Máx. sección del cable	4 mm ² (AWG 12)

9. Baterías SONNENSCHEN S12/85Ah



Technical characteristics and data

Type	Part number	Nominal voltage	Nominal capacity	Discharge current	Length (l) max. mm	Width (b/w) max. mm	Height up to top of cover (h1) max. mm	Height incl. connectors (h2) max. mm	Weight approx. kg	Terminal	Terminal position
		V	C_{100} 1.8 V/C Ah	I_{100} A							
S12/6.6 S	NGSO1206D6HS0SA	12	6.6	0.066	151.7	65.5	94.5	98.4	2.6	S-4.8	3
S12/17 G5	NGSO120017HS0BA	12	17.0	0.170	181.0	76.0	-	167.0	6.1	G-M5	1
S12/27 G5	NGSO120027HS0BA	12	27.0	0.270	167.0	176.0	-	126.0	9.7	G-M5	1
S12/32 G6	NGSO120032HS0BA	12	32.0	0.320	197.0	132.0	160.0	184.0	11.2	G-M6	2
S12/41 A	NGSO120041HS0CA	12	41.0	0.410	210.0	175.0	-	175.0	14.8	A-Terminal	1
S12/60 A	NGSO120060HS0CA	12	60.0	0.600	261.0	136.0	208.0	230.0	19.0	A-Terminal	1
S12/85 A*	NGSO120085HS0CA	12	85.0	0.850	353.0	175.0	-	190.0	27.3	A-Terminal	1
S12/90 A	NGSO120090HS0CA	12	90.0	0.900	330.0	171.0	213.0	236.0	31.3	A-Terminal	2
S12/130 A	NGSO120130HS0CA	12	130.0	1.300	286.0	269.0	208.0	230.0	39.8	A-Terminal	4
S12/230 A	NGSO120230HS0CA	12	230.0	2.300	518.0	274.0	216.0	238.0	70.0	A-Terminal	3



Charge mode (to Fig.1):

- 1.) with switch regulator (two-step controller)
 - charge on curve **B** (max.charge voltage) for max.2 hrs/day
 - then switch over to continuous charge - curve **C**
- 2.) Standard charge (without switching) - curve **A**
- 3.) Boost charge (Equalizing charge with external generator)
 - charge on curve **B** for max. 5 hrs/month, then switch over to curve **C**

Type	Capacities $C_1 - C_{100}$ (20°C)				
	C_1 1.70 V/C	C_5 1.70 V/C	C_{10} 1.70 V/C	C_{20} 1.75 V/C	C_{100} 1.80 V/C
S12/6.6 S	2.9	4.6	5.1	5.7	6.6
S12/17 G5	9.3	12.6	14.3	15.0	17.0
S12/27 G5	15.0	22.1	23.5	24.0	27.0
S12/32 G6	16.9	24.4	27.0	28.0	32.0
S12/41 A	21.0	30.6	34.0	38.0	41.0
S12/60 A	30.0	42.5	47.5	50.0	60.0
S12/85 A	55.0	68.5	74.0	76.0	85.0
S12/90 A	50.5	72.0	78.0	84.0	90.0
S12/130 A	66.0	93.5	104.5	110.0	130.0
S12/230 A	120.0	170.0	190.0	200.0	230.0

10. Regulador de Carga STECA Solarix Sigma 12/24Vdc



Steca Solarix

Alpha, Gamma, Sigma, Omega

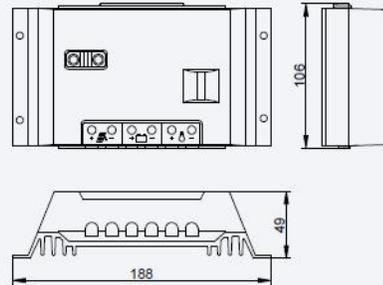
La serie Steca Solarix es el regulador de carga fotovoltaico más vendido en el mundo para empleo en sistemas solares domésticos medianos y suministro de energía fotovoltaica en el rango de 8 a 30 Amp (hasta 900 Wp).

El corazón del regulador es el circuito integrado llamado ATONIC®, que contiene el software de regulación basado en un algoritmo capaz del autoaprendizaje. El resultado es un cálculo exacto del estado de carga, la mejor garantía para una larga vida útil de la batería.

Características

- Carga de baterías por modulación de duración de impulsos shunt (PWM)
- Regulación basada en el estado de carga (SOC) de la batería
- Carga reforzada
- Carga de compensación
- Tensión final de carga
- Reconexión automática del consumidor
- Reconocimiento automática de tensión (12 V / 24 V)
- Compensación de temperatura
- Toma de tierra positiva
- (o) Toma de tierra negativa en un terminal
- Puentes en la placa de circuitos impresos
- Opción: opera el consumidor sólo por la noche

Datos técnicos

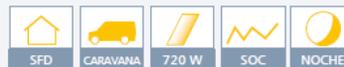


Regulador Fotovoltaico con LCD	Alpha	Gamma	Sigma	Omega
Tensión del sistema	12 V (24 V)			
Tensión de entrada Máx. del módulo	47 V			
Corriente Máx. de cortocircuito de entrada del módulo	8 A	12 A	20 A	30 A
Corriente Máx. de salida del consumidor	8 A	12 A	20 A	30 A
Consumo propio Máx.	5 mA			
Tensión final de carga (float)	13,7 V (27,4 V)			
Tensión de carga reforzada; 1 h	14,4 V (28,8 V)			
Carga de compensación (desactividad para acumulador de gel); 1 h	14,7 V (29,4 V)			
Tensión de reconexión (SOC / LVR)	> 50 % / 12,6 V (25,2 V)			
Protección contra descarga profunda (SOC / LVD)	< 30 % / 11,1 V (22,2 V)			
Temperatura ambiente admisible	-25 °C...+50 °C			
Tamaño del terminal (cable fino / único)	16 mm ² / 25 mm ²			
Tipo de protección de la caja	IP 32			
Peso	420 g			
Dimensiones L x A x A	188 x 106 x 49 mm			

Datos técnicos a 25 °C / 77 °F

Clase de potencia

8 A - 30 A



12. Antena omnidireccional ESTEEM AA20Eg:



**SPECIFICATION SHEET
MODEL AA20Eg**

Omni-Directional 2.4 GHz, 6 dBi Antenna

Applications: Fixed base mounting.

Antenna Type: Omni-Directional, DC grounded

Frequency: 2400-2500 MHz

Polarization: Vertical

Impedance: 50 ohms

Gain: 6 dBi (4 dBd)

VSWR: 1.2:1 typical

Vertical Beamwidth: 40 degrees

Antenna Material: Brass radiator

Recommended Mounting Hardware: Pole Mounting Bracket,
Supplied

Antenna Connector: TNC male reverse polarity with 12 in. pigtail
and weatherproof boot

Maximum Power Input: 30 Watts

Wind Survival: 150 mph

Antenna Envelope: 12 in. L x 1.0 in.

Bending Moment: 1.4 ft-lbs.

Equivalent Flat Plate Area: .04 sq. ft.

Wind Surface Area: .071 square feet

Radome: White UV inhibited fiberglass

Weight: 1.5 lbs.

Caution

To comply with the FCC exposure compliance requirements, a separation distance of at least 20 cm must be maintained between the antenna and all persons.



Pole Mounting Bracket

13. Antenna L-COM HyperLink HG2415U-PRO:



www.L-com.com

HyperLink Wireless Brand 2.4 GHz Professional 15 dBi Omnidirectional Antenna Model: HG2415U-PRO

Applications

- 2.4 GHz ISM band
- IEEE 802.11b, 802.11g and 802.11n
- Point to multi-point applications

Features

- Commercial grade all weather operation
- Center fed collinear array with solid brass elements
- Heavy-duty steel mounting brackets
- Integral N-Female connector



Electrical Specifications

Frequency	2400-2500 MHz
Gain	15 dBi
Polarization	Vertical
Vertical Beam Width	8°
Horizontal Beam Width	360°
Impedance	50 Ohm
Max. Input Power	100 Watts
VSWR	1.5:1 or Less
Lightning Protection	DC Short

Mechanical Specifications

Weight Antenna	3.3 lbs (1.5kg)
Length	40.5 in. (1.03m)
Base Diameter	1.69 in. (42.9mm)
Radome Diameter	1.52 in. (38.6mm)
Radome Material	Gray Fiberglass Weatherproof
Mounting	2.0" diameter mast max.
Wind Survival	up to 150 MPH
Operating Temperature	-40° C to 85° C (-40° F to 185° F)
RoHS Compliant	Yes
Connector	Integral N-Female