

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y TEXTIL**



**“ANALISIS DE RIESGOS EN LA PREPARACION DE  
SOLUCIONES DE CIANURO DE SODIO EN LA COMPAÑÍA  
MINERA ANTAMINA S.A.”**

**INFORME DE INGENIERIA**  
**PARA OPTAR POR EL TITULO PROFESIONAL DE:**  
**INGENIERO QUIMICO**  
**POR LA MODALIDAD DE EXPERIENCIA PROFECIONAL**  
**PRESENTADO POR:**  
**MANUEL GONZALO AURELIO DE LA PUENTE SOLIS**

LIMA - PERU

2005

## RESUMEN EJECUTIVO

Desde un inicio tanto en el diseño como en la operación de una planta industrial se tiene en mente aspectos fundamentales como el volumen de producción, control de costos, eficiencia del proceso y calidad del producto. Sin embargo, desde hace unos años ha venido en aumento una corriente de preocupación pública y de los gobiernos en general por la protección del medio ambiente, salud y seguridad personal, introduciendo una nueva variable dentro de las prioridades del diseño y operación: la prevención de accidentes o control de pérdidas; entendida no sólo como actividad aislada sino como parte de las actividades de administración del negocio.

Uno de los aspectos de mayor sensibilidad en la industria minero-metalúrgica es el uso de cianuro de sodio, material de alta toxicidad, como reactivo de proceso. El transporte, almacenamiento, uso, manipulación y disposición de desechos de esta sustancia deben ser realizados dentro de estrictas medidas de control, las cuales deben ser determinadas en base a un análisis de riesgo.

El presente informe contiene los resultados del análisis aplicado a las fases de almacenamiento, uso, manipulación en Antamina. La metodología aplicada se basa en las mejores prácticas mundiales para la identificación de peligros y evaluación de riesgos en procesos, también conocido como "Análisis de Riesgos". Consiste en la identificación de las fuentes potenciales de lesiones, daños o contaminación; para luego evaluar que tan posible y dañino puede resultar su efecto. Con esta información se determinan los riesgos críticos del proceso de preparación de soluciones acuosas de cianuro de sodio y se desarrolla un plan de control de estos riesgos.

El principal objetivo de este trabajo es responder en detalle a las necesidades de protección de las personas y del medio ambiente en todos los niveles en que pudieran ser afectados persiguiendo también el objetivo de proteger a la compañía de las graves pérdidas que originaría un accidente que involucrara el cianuro de sodio como agente tóxico.

## CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>4</b>
1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA COMPAÑÍA .....	4
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO MINERO-METALÚRGICO .....	6
1.3. ORGANIZACIÓN DE LA COMPAÑÍA .....	13
1.4. EL DEPARTAMENTO DE SEGURIDAD INDUSTRIAL.....	15
1.5. LA POSICIÓN DE INGENIERO SENIOR DE SEGURIDAD INDUSTRIAL.....	17
1.6. APORTES DURANTE EL DESEMPEÑO PROFESIONAL.....	18
1.7. PROPÓSITO DEL PROYECTO .....	20
<b>2. DESARROLLO DE CONCEPTOS Y TECNICAS</b> .....	<b>29</b>
2.1. REACTIVOS QUÍMICOS EN EL PROCESO METALÚRGICO .....	29
2.2. GENERALIDADES ACERCA DEL CIANURO .....	30
2.3. APLICACIÓN DEL CIANURO DE SODIO EN LA INDUSTRIA.....	31
2.4. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL CIANURO DE SODIO.....	33
2.5. REACCIONES DEL CIANURO DE SODIO .....	34
2.6. TOXICOLOGÍA DEL CIANURO DE SODIO. ....	39
2.7. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PREPARACIÓN DE SOLUCIONES DE CIANURO DE SODIO. ....	42
2.8. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES DE PREPARACIÓN DE CIANURO DE SODIO .....	44
2.9. FILOSOFÍA DE CONTROL.....	47
<b>3. DESARROLLO DEL ANALISIS DE RIESGOS</b> .....	<b>49</b>
3.1. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS .....	49
3.2. EVALUACIÓN DE RIESGOS .....	54
3.3. DESARROLLO DE CONTROLES.....	60
<b>4. RESULTADOS EL ANALISIS DE RIESGO</b> .....	<b>61</b>
4.1. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS DE LAS ACTIVIDADES .....	61
4.2. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS DEL PROCESO .....	61
4.3. CONFIGURACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE RIESGOS .....	61
4.4. ESCENARIOS DE RIESGO CRÍTICOS.....	62
4.5. DESARROLLO DE MEDIDAS DE CONTROL .....	62
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>70</b>
5.1. MODIFICACIÓN DEL PERFIL DE RIESGOS.....	70
5.2. PROGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN .....	71
5.3. EVALUACIÓN COSTO/BENEFICIO .....	74
5.4. CONCLUSIONES .....	75
5.5. RECOMENDACIONES .....	76
<b>6. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>78</b>

### ANEXOS

Anexo 1: Tablas de Identificación de Peligros en las Actividades.

Anexo 2: Tablas de Identificación de Peligros en el Proceso.

Anexo 3: Tablas de Evaluación de Riesgos.

# **1. INTRODUCCIÓN**

## **1.1. Descripción General de la Compañía**

Compañía Minera Antamina S.A. fue constituida con la finalidad de explotar el yacimiento minero ubicado en la zona de la laguna Antamina, ubicada en el departamento de Ancash, provincia de Huari, Distrito de San Marcos, a 270 kilómetros al noreste de Lima y a una altura promedio de 4185 m.s.n.m.

Antamina se dedica a la producción de concentrados de cobre y zinc mediante la explotación de minerales por el método de tajo abierto y una planta concentradora para el tratamiento metalúrgico de los mismos.

El aporte de Antamina al desarrollo nacional se puede sintetizar en los siguientes datos:

- La puesta en marcha de este megaproyecto significó una inversión inicial de 2 260 millones de dólares, determinando un aumento del 0,8% en el PBI nacional, y de 30% en la producción minera peruana en el año 2002.
- Ha invertido 16 millones de dólares en programas sociales, la mayor cifra comprometida en alivio a la pobreza por cualquier empresa privada en el Perú.
- Sus vías de acceso integran al resto del país al Callejón de Conchucos, una zona olvidada desde inicio de la República.
- Su construcción comprometió a 50 empresas contratistas y a 9 795 trabajadores. Indirectamente empleó hasta 35 262 trabajadores.
- La operación emplea 1 400 trabajadores, 96% de ellos peruanos.
- Siendo una operación minera de clase mundial, su construcción y operación significó una importante transferencia de conocimientos y tecnología.

La primera etapa requirió del entrenamiento de trabajadores en tecnologías de construcción y montaje no utilizadas antes en el país, la asesoría de consultores de Norteamérica, Canada, Europa y Chile permitió el surgimiento de varias empresas peruanas especializadas en trabajos de esta magnitud.

Pasar a la etapa de operaciones significó entrenar en diversos aspectos de la operación a un primer grupo de supervisores y operadores experimentados por un año. Sin embargo, la fase de mayor dificultad fue el entrenamiento y calificación

del 40% de la fuerza laboral de base sin experiencia minera anterior y proveniente de diversas zonas de Ancash, en especial de poblados aledaños, en la operación de equipo de movimiento de tierras, geología, operaciones metalúrgicas, hotelería y servicio de alimentación en gran escala.

Otra forma de transferencia de tecnología y conocimiento de Antamina es la promoción, en conjunto con los gobiernos locales de las localidades vecinas, de centros de capacitación en técnicas agropecuarias, piscicultura y desarrollo de la salud. Asimismo participa en el asesoramiento para la formación de microempresas locales. Todos estos esfuerzos están orientados a ayudar a las comunidades vecinas a lograr un desarrollo sostenible en el tiempo, aún después del cierre de operaciones de Antamina.

En proceso de Antamina se inicia en el tajo abierto, donde se minan un promedio de 400 000 TM de material al día de los cuales 70 000 TM corresponden a mineral valioso y 330 000 TM de material de desmonte.

La planta concentradora está diseñada para el tratamiento de las 70 000 TM al día de mineral con contenido promedio:

1,30 % de cobre

1,00 % de zinc

0,03% de molibdeno

Y la producción de los siguientes concentrados:

Concentrado de cobre - 28% ley promedio

Concentrado de zinc - 55% ley promedio

Se obtiene como subproductos los siguientes concentrados:

Concentrado de molibdeno

Concentrado de bismuto/plomo

En promedio la producción de concentrados es de 5 000 TM al día. Los concentrados de cobre y zinc transportados en forma de pulpa mediante un mineroducto de 314 Km. de longitud hacia el puerto de embarque en Punta Lobitos – Huarmey en donde se secan y embarcan para exportación.

Como residuo del proceso se descargan 65 000 TM de relaves al día en un depósito de relaves de 220 metros de alto en el área de mina.

## 1.2. Descripción del proceso minero-metalúrgico

Se realiza de mediante las siguientes etapas:

### *Explotación minera*

El método de explotación es a tajo o cielo abierto (open pit); con bancos de explotación de 15 metros de altura. Se inicia con la perforación del terreno, luego se realizan las voladuras, usando como explosivos anfo y anfo pesado. El reto principal de la perforación y voladura es obtener un material óptimamente fracturado. Fragmentado el material, se inicia la actividad de carguío y acarreo

Figura 1,1: Tajo abierto de Antamina



(transporte) para lo cual se utilizan palas eléctricas y camiones de 240 TM de capacidad.

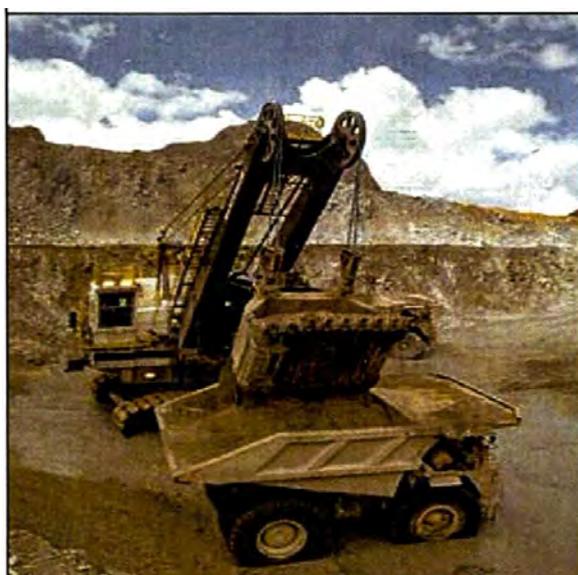
El material estéril es llevado a botaderos mientras que el mineral se lleva hacia la chancadora primaria, con capacidad promedio de 80,000 TM por día donde se reduce el tamaño de

bloques de 15 hasta 5 pulgadas. Para el material ya chancado se usa una faja transportadora a lo largo de un túnel de 2.6 Km., que lo transporta a las pilas de acopio de mineral grueso.

### *Extracción del mineral grueso del área de acopio*

Se tienen dos pilas de acopio de 260 000 TM de capacidad, y una capacidad viva de 50 000 TM cada una. Debajo de cada pila de acopio se tienen 3 alimentadores de placas con motores de velocidad variable que extraen el mineral. Estos junto a la balanza de la faja transportadora son usados para controlar el régimen de alimentación de mineral al molino SAG.

Figura 1,2: Carguío de camiones.



La faja transportadora está equipada con dispositivos de enclavamiento de tipo faja normal: rasgadura, desplazamiento lateral, detección de chute atorado, interruptor de baja velocidad en la polea de cola, y los cables de emergencia o seguridad.

### ***Molienda en Molino SAG (Semi Autógeno) y Clasificación***

En esta etapa se usa un trommel integral equipado con aberturas de 13 mm y un spray de retorno a chorro de agua para cerrar el circuito. El material que tiene un tamaño mayor a la abertura del trommel regresa al molino SAG para ser molido nuevamente.

El término molino SAG es el acrónimo de molienda semiautógena. El término de molienda autógena significa que toda la acción de molienda es realizada por partículas de mineral que son frotadas entre sí. En este tipo de molino una parte de la molienda es autógena mientras que la otra es realizada por bolas de molienda, de ahí el término semiautógena (SAG)

### ***Molienda en el Molino de Bolas y Clasificación***

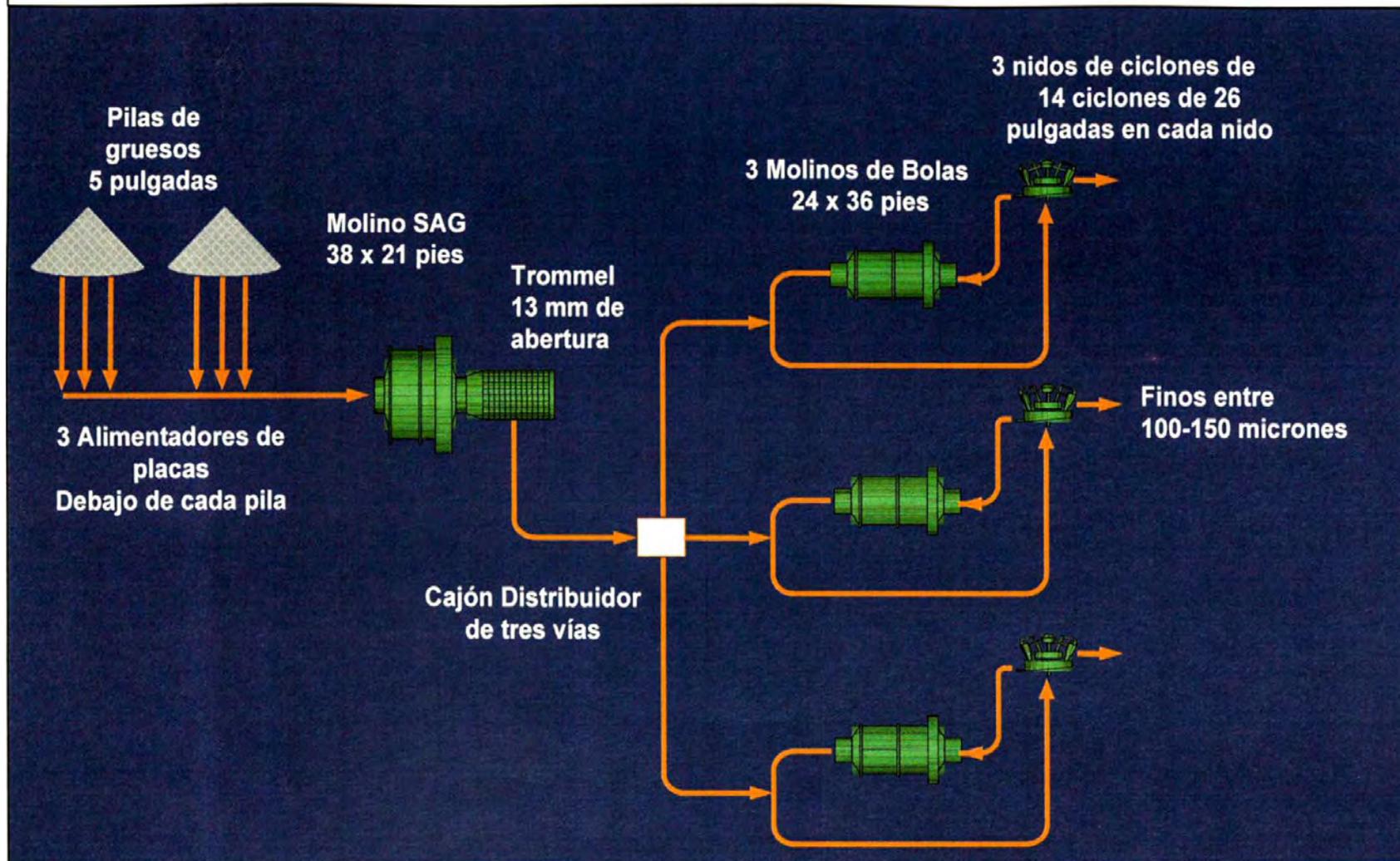
La descarga del molino SAG es enviado a un cajón que divide el flujo hacia tres bombas centrífugas que alimentan a un nido de 14 ciclones cada una.

El material fino irá a la etapa de flotación mientras que los gruesos serán el alimento para los molinos de bolas.

El objetivo de nuestro circuito es obtener tamaño de partículas  $d_{80}$  de 100  $\mu\text{m}$  para minerales de cobre-zinc y 150  $\mu\text{m}$  para minerales de cobre solo.

En la figura 1,3 se muestra el diagrama de flujo del circuito de molienda.

Figura 1,3: Diagrama de flujo del circuito de molienda



### ***Circuito de Flotación de Cobre***

Este circuito consta de las siguientes etapas:

Flotación Rougher ó Flotación Primaria.- En esta etapa se recupera el mayor contenido de cobre del mineral utilizando 21 celdas de flotación convencional Outokumpu de 130 m<sup>3</sup> (OK-130), distribuidas en tres filas de 7 celdas cada una.

Remolienda de Concentrado.- El producto de las celdas rougher contienen partículas de 50 µm a 150 µm, y se envían a una clasificación donde el grueso alimenta a 2 molinos verticales de 746 Kw de potencia y de 3,2 x 13,06 m, los que trabajan en circuito cerrado con ciclones D-15. Los finos de estos ciclones con un  $d_{80}$  de 45 µm pasan a la etapa de limpieza.

Flotación Cleaner (primera limpieza) y Flotación Scavenger Cleaner (recuperación y segunda limpieza).- La primera limpieza cuenta con 4 celdas columnas de 4,3 m  $\Phi$  x 14 m. Su producto, ya es el concentrado final cuya ley se estima en un promedio de 30% de cobre; las colas de la primera limpieza van a la flotación scavenger cuyo concentrado es enviado a la segunda limpieza que consta también de 4 celdas columna de 4,3 m  $\Phi$  x 14 m. Este concentrado se une con el concentrado de la primera limpieza, constituyendo el producto final llamado concentrado bulk o de cobre, el cual va al espesador de bulk o cobre con contenidos de plomo-bismuto ó molibdeno dependiendo del tipo de mineral tratado y el concentrado obtenido.

Las colas de la segunda limpieza se envían nuevamente a la clasificación cerrando el circuito. Asimismo, las colas de rougher y scavenger se unen y pueden ir directamente al relave final o en caso de contener zinc va al circuito de flotación de zinc.

### ***Circuito de Flotación de Zinc***

Al igual que el circuito de cobre se divide:

Flotación Rougher.- En la cual se recupera el mayor contenido de cinc del mineral proveniente del circuito de cobre, utilizando 24 celdas de flotación convencional Outokumpu de 130 m<sup>3</sup> (OK-130) distribuidas en tres filas de 8 celdas cada una. La primera celda de cada fila hace de celda-acondicionador.

Remolienda de Concentrado.- El producto de las celdas rougher se envía a una clasificación donde el grueso alimenta a 2 molinos verticales de 746 Kw. de potencia y de 3,2  $\Phi$  x 13,06 m, los que trabajan en circuito cerrado con los ciclones D-15. Los finos de estos ciclones con un  $d_{80}$  de 45  $\mu\text{m}$  pasan a la etapa de limpieza.

Flotación Cleaner y Flotación Scavenger Cleaner.- La primera limpieza cuenta con 5 celdas columnas de 4,3 m  $\Phi$  x 14 m cuyo producto es el concentrado final, su ley se estima en un promedio de 54% de cinc; las colas de la primera limpieza van a la flotación scavenger y su concentrado se envía a la segunda limpieza que consta también de 5 celdas columna de 4,3 m  $\Phi$  x 14 m cuyo concentrado se une con el concentrado de la primera limpieza, llegando a formar el producto final llamado concentrado final de zinc, el cual va al espesador de zinc.

Las colas de la segunda limpieza se envían nuevamente a la clasificación cerrando el circuito. Asimismo, las colas de rougher y scavenger se unen y van directamente al relave final.

### ***Circuito de Flotación Bismuto/Molibdeno en Modo Molibdeno***

Se divide en las siguientes etapas:

Espesamiento y Almacenamiento de Concentrado Bulk.- El concentrado que proviene del circuito de flotación de cobre, fluye hacia el espesador de concentrado bulk. El concentrado bulk a 60% de sólidos se bombea al tanque de almacenamiento de bajo bismuto.

Flotación Rougher.- Que consta de 12 celdas de 16 m<sup>3</sup> Outokumpu OK-16, los cuales son alimentados por el concentrado del tanque acondicionador de 23 m<sup>3</sup> de capacidad, y el concentrado producido se envía a remolienda. Las colas de esta etapa de flotación constituyen el concentrado final de cobre.

Remolienda de Concentrados.- Recibe el concentrado proveniente de las celdas de flotación rougher. Consiste en un molino vertical 1,17m  $\Phi$  x 3,81 m, que trabaja cerrando el circuito con un nido de ciclones D-6. El rebose del ciclón constituye la alimentación para la primera limpieza.

Flotación Cleaner.- Consta de tres etapas de limpieza usando celdas columna, para la primera limpieza se usa una celda de 1,5 m  $\Phi$  x 11 m, para la segunda limpieza

una celda de 1,2 m  $\Phi$  x 11 m y para la tercera limpieza, una celda de 1,0 m  $\Phi$  x 11 m trabajando en cascada. Obteniendo un concentrado final de 52% de molibdeno.

### ***Circuito de Flotación Bismuto/Molibdeno en Modo Bismuto***

Se divide en las siguientes etapas:

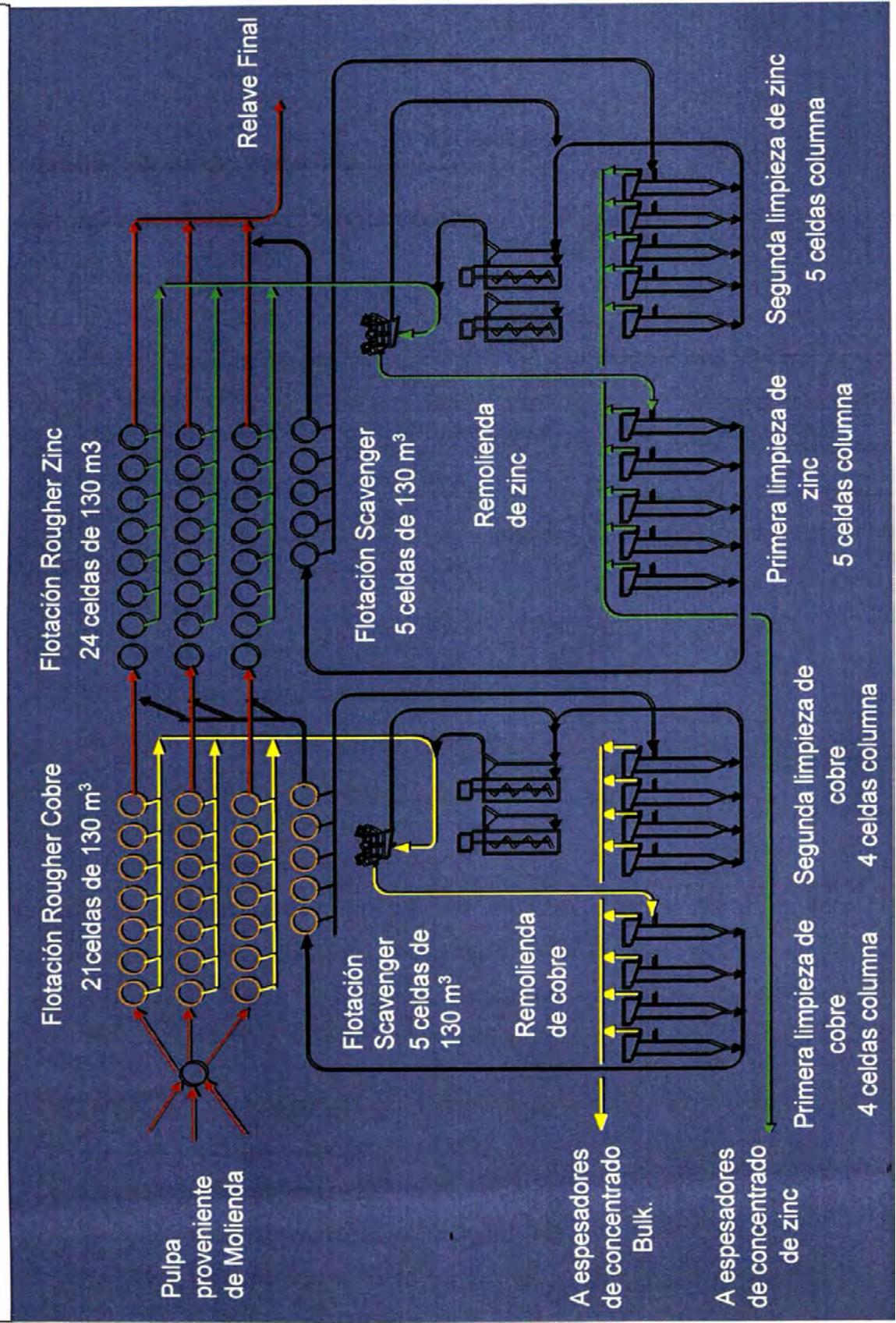
Espesamiento y Almacenamiento de Concentrado Bulk.- El concentrado que proviene del circuito de flotación de cobre y va hacia el espesador de concentrado bulk. El concentrado bulk a 60% de sólidos se bombea al tanque de almacenamiento de alto bismuto.

Flotación Rougher.- Que consta de 12 celdas convencionales de 16 m<sup>3</sup> Outokumpu OK-16, los cuales son alimentados por el concentrado del tanque acondicionador de 23 m<sup>3</sup> de capacidad, el concentrado producido se envía a la etapa de limpieza. Las colas rougher constituyen el concentrado final de cobre.

Flotación Cleaner.- Consta de tres etapas de limpieza usando celdas columna, para la primera limpieza se usa una celda de 1,5 m  $\Phi$  x 11 m, para la segunda limpieza una celda de 1,2 m  $\Phi$  x 11 m, para la tercera limpieza, de 1,0 m  $\Phi$  x 11 m trabajando en cascada. Obteniendo un concentrado final mayor a 50% de plomo.

En la figura 1,4 se muestra el diagrama de flujo del proceso de flotación.

Figura 1.4: Diagrama de flujo del proceso de flotación



### **1.3. Organización de la Compañía**

Compañía Minera Antamina S.A. está organizada bajo la dirección de un Presidente y 5 Vicepresidentes:

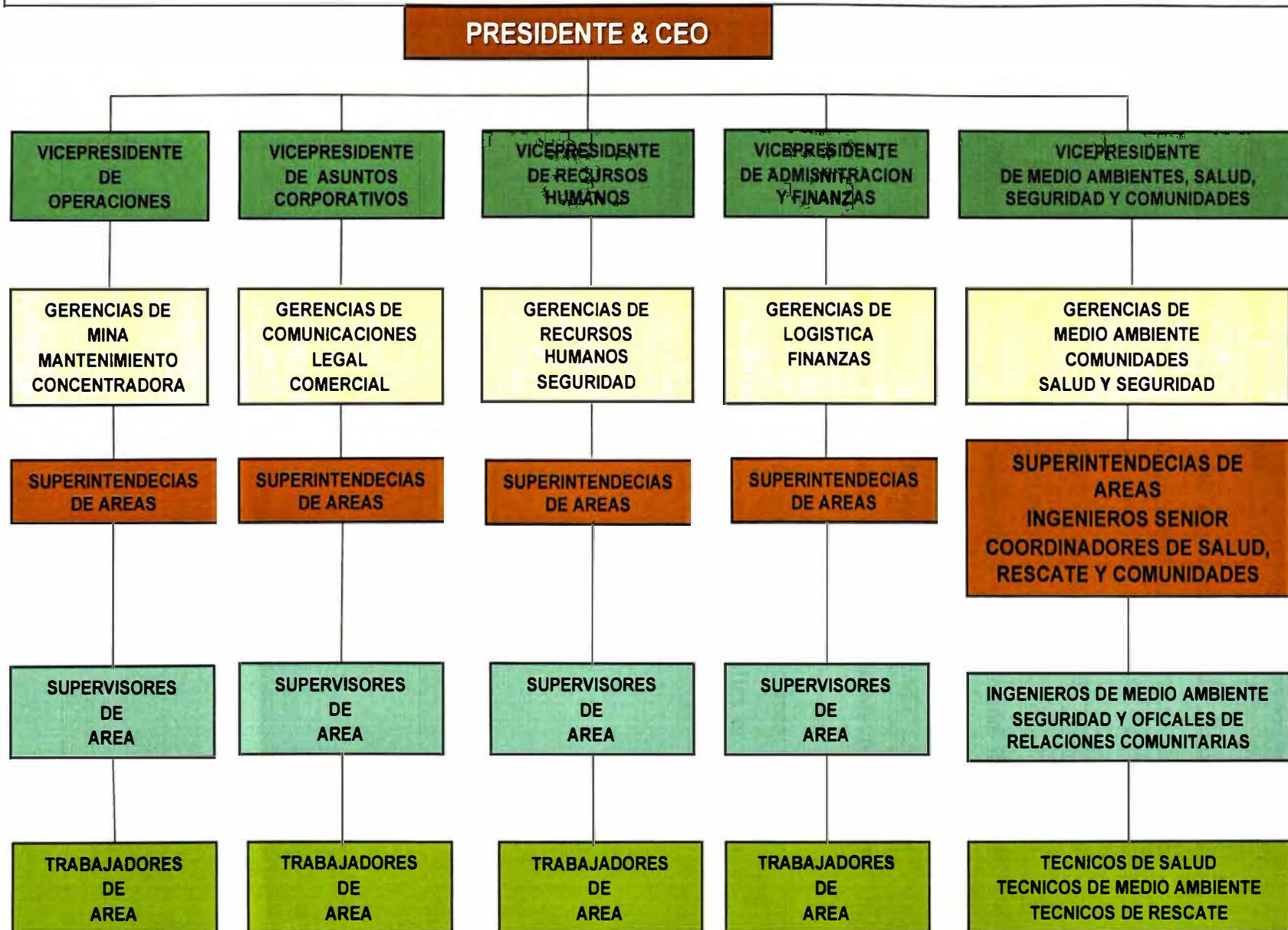
- Vicepresidente de Operaciones
- Vicepresidente de Asuntos Corporativos
- Vicepresidente de Recursos Humanos y Seguridad
- Vicepresidente de Medio Ambiente, Salud y Seguridad Industrial
- Vicepresidente de Administración y Finanzas

Los niveles subalternos a las vicepresidencias se organizan como sigue:

- Gerentes
- Superintendentes
- Coordinadores, Supervisores Senior, Ingenieros Senior
- Supervisores, Ingenieros, Especialistas
- Supervisores auxiliares, Ingenieros Junior
- Técnicos
- Operadores
- Auxiliares, ayudantes

En el organigrama adjunto en la figura 1,5 se muestra la organización general de la Compañía Minera Antamina S.A. mostrando en el cuadro naranja, de mayor tamaño, la posición del Ingeniero Senior de Seguridad Industrial.

Figura 1,5: Organización de Compañía Minera Antamina S.A.



#### **1.4. El Departamento de Seguridad Industrial**

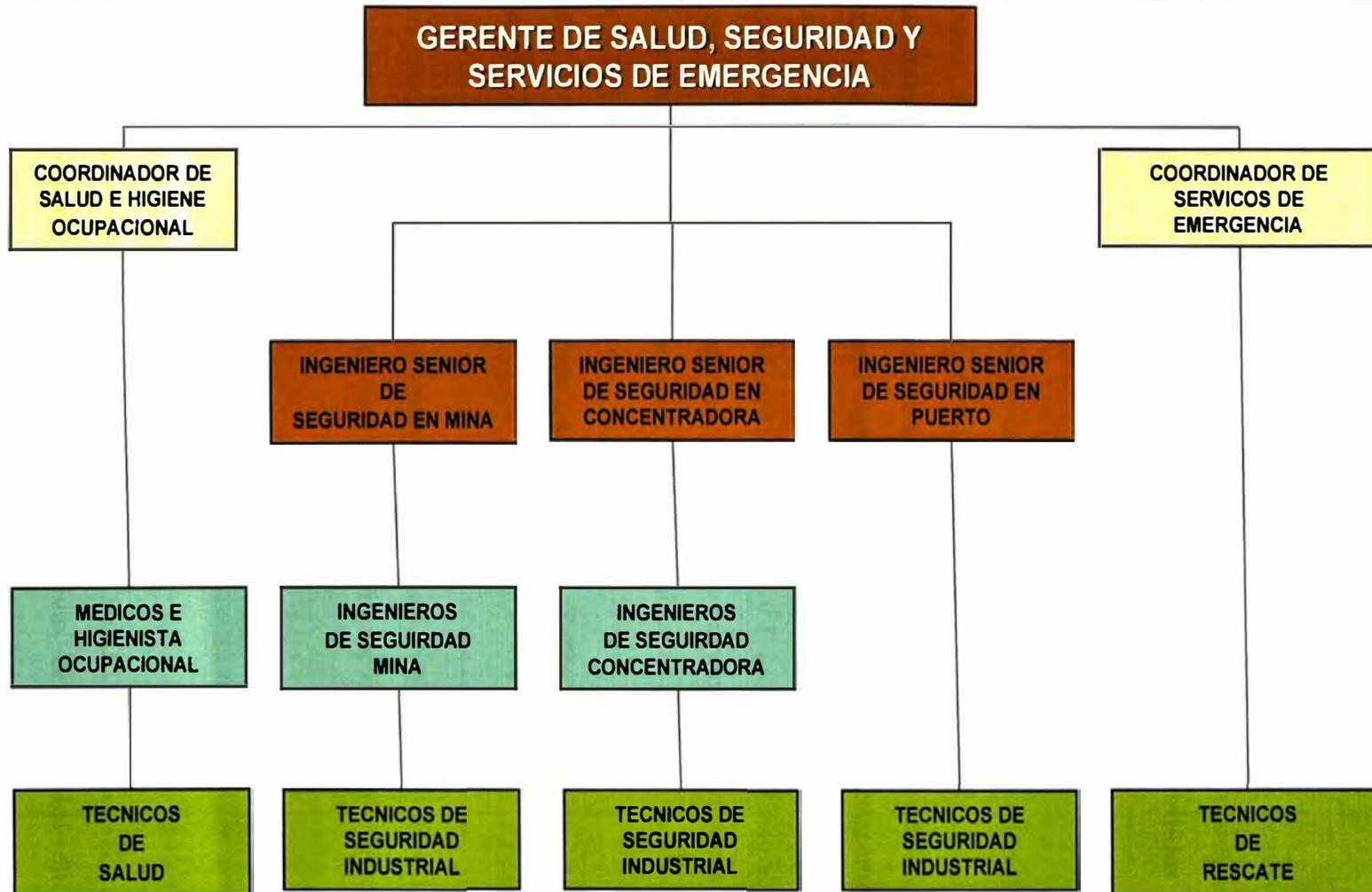
En la figura 1,6 se muestra la organización del departamento de Seguridad y Servicios de Emergencia y la ubicación organizacional del Ingeniero Senior de Seguridad Concentradora.

El objetivo del departamento es ofrecer un servicio de asesoría de excelencia a todos los niveles de la compañía en materia de prevención de riesgos a través de la elaboración, implementación y control de programas de seguridad industrial enmarcados en un sistema de gestión de riesgos eficiente y confiable.

Con este fin se distribuye al personal que debe asesorar a cada área de la compañía según la afinidad de las actividades del área con su formación profesional.

Sin embargo, es política del departamento aplicar un proceso de rotación entre diversas áreas de acción a fin de entrenar al personal en los detalles en todas las actividades que se realizan en la operación.

Figura 1,6: Organización del Departamento de Salud, Seguridad y Servicios de Emergencia.



## **1.5. La Posición de Ingeniero Senior de Seguridad Industrial**

### ***Misión del cargo***

Planificar, asesorar, coordinar, monitorear y auditar las actividades de Seguridad Industrial en las áreas operativas y de servicios, de acuerdo a las estrategias y programas de prevención de pérdidas, para evitar o minimizar las pérdidas por accidentes.

### ***Finalidades***

- Asesorar y facilitar a todos los niveles del personal desde los empleados hasta los gerentes del área en la implementación de los Programas de Salud y Seguridad Industrial para evitar o minimizar las pérdidas por accidentes.
- Asesorar, participar y promover actividades preventivas como el Programa de Inspecciones y observaciones planeadas de tareas de Salud, Seguridad Industrial y Medioambiente para Identificar Peligros y Evaluar los Riesgos.
- Monitorear las recomendaciones de las Auditorias e Inspecciones internas y/o externas de Salud, Seguridad Industrial y Medioambiente con la finalidad de asegurar la implementación de estas.
- Asesorar, participar y promover actividades correctivas tales como investigación y análisis de incidentes para evitar la recurrencias de estos hechos.
- Registrar, procesar y analizar los indicadores de Salud, Seguridad Industrial y Medioambiente con el fin medir el desempeño del área contra los parámetros establecidos.
- Otras funciones de acuerdo a la naturaleza del puesto le sean asignadas por Superior inmediato.

### ***Naturaleza de la responsabilidad***

- Identificar necesidades de entrenamiento en Salud y Seguridad Industrial
- Asesorar la implementación de acciones correctivas determinadas en las inspecciones, auditorias e investigaciones de accidentes / incidentes.
- Analizar los datos estadísticos para reconocer la tendencia de incidentes y reforzar los programas de Salud y Seguridad Industrial.

- Identificar las faltas de seguridad en las operaciones y/o equipos de protección al trabajador.
- Coordinar el programa de permisos de trabajo en todas las áreas operativas.
- Desarrollo de procedimientos específicos de trabajo

***Relaciones más importantes***

- Internas: Todo el personal de Compañía Minera Antamina S.A.
- Externas: Contratistas, Consultores, Proveedores.

**1.6. Aportes durante el desempeño profesional.**

En el marco de los objetivos y funciones asignados a la posición de trabajo se han realizado aportes mediante la participación e involucramiento del personal en los siguientes aspectos:

- Desarrollo del sistema de comunicación de riesgos químicos en planta concentradora.
- Mejora en la calidad de reportes dentro del programa STOP.
- Desarrollo del programa de permisos de trabajo.
- Implementación de soluciones a problemas de seguridad recurrentes como falsas señales en el sistema de detección de ácido sulfhídrico en el circuito de flotación Mo/Bi.
- Participación en el desarrollo y prueba de planes para emergencias con sustancias químicas peligrosas.
- Implementación del programa de mapeo de riesgos en planta concentradora.
- Implementación del Sistema de Gestión de Seguridad de Concentradora al momento con un avance promedio del 80%, el más alto dentro de la compañía.
- Desarrollo de un programa de seguridad para el área crítica de preparación de cianuro de sodio.
- Implementación del programa de análisis de tareas críticas y elaboración de procedimientos.

En estas y otras actividades se ha requerido de diferentes aspectos de la formación profesional en ingeniería química. En el área de concentradora se requiere aplicar

los conocimientos adquiridos acerca de proceso y propiedades químicas de las sustancias a fin de entender los riesgos que estos conllevan.

Asimismo, el hecho de tener que proponer soluciones de seguridad en el marco de las diversas actividades que se realizan en la planta concentradora plantea el reto ser consistente con la misión del proceso en sí, mantener la planta produciendo concentrados al menor costo posible.

Durante el desarrollo de las tareas se tiene oportunidad de reconocer ciertos aspectos específicos de la carrera de ingeniero químico que son indispensables para el trabajo como ingeniero de seguridad, siendo los más resaltantes:

- Entendimiento del significado de las propiedades físico químicas de las sustancias, soluciones, etc.
- Tipos, naturaleza, mecanismos y cinética de las reacciones químicas.
- Naturaleza del equilibrio químico en soluciones.
- Entendimiento de los fenómenos de tensión superficial, base de todo el proceso de flotación.
- Conocimiento de los principios básicos de los equipos de proceso.
- Conocimientos de instrumentación y control de procesos.
- Capacidad de entender diagramas de tubería e instrumentación, diagramas de flujo y balances de materia.
- Aplicación de la economía a los procesos.

Inclusive en el área de operación minera, en la cual las actividades parecieran escapar al ámbito de la ingeniería química, existe la oportunidad de aplicar el criterio profesional relacionando las actividades mineras con operaciones unitarias de ingeniería química, que siendo de naturaleza diferente son controlados por principios similares, por ejemplo, las operaciones de trituración y reducción de tamaño, reconocimiento de propiedad mineralógicas, reconocimiento de las propiedades de los explosivos, principios de funcionamiento de equipos diversos basados en la combustión, sistemas de lubricación y disipación del calor.

Es decir, en los años de desempeño profesional en la industria minera se han presentado una gama de oportunidades para aplicar el conocimiento adquirido en las aulas universitarias de manera indirecta pero, al mismo tiempo, de forma creativa e interesante.

### **1.7. Propósito del Proyecto**

#### ***Filosofía de la Seguridad Industrial***

La finalidad principal de la seguridad industrial como tal es la protección de los recursos de la compañía frente a pérdidas derivadas de eventos no intencionales y no esperados denominados “accidentes”.

Los recursos que pueden ser impactados por las pérdidas son:

- Las personas.
- La propiedad y equipos.
- La producción.
- El medio ambiente.

Desde el punto de vista ético y jurídico, la protección de la persona humana debe ser un valor fundamental dentro de cualquier organización. Asimismo, la protección de nuestro patrimonio ambiental y los recursos naturales ha adquirido el mismo nivel de importancia en los últimos tiempos.

Desde el punto de vista económico la necesidad de la seguridad industrial surge del concepto de pérdidas como tal, que significa derroche no deseado de recursos. Las pérdidas accidentales no se encuentran en ningún presupuesto y por tanto afectan directamente las utilidades de cualquier compañía.

El concepto de seguridad industrial ha ido evolucionando a lo largo del tiempo, en los inicios la actividad industrial se basaba sólo en la productividad. Con la automatización se originaron ciertos métodos organizativos y de fabricación en serie, las organizaciones se dieron cuenta que se manejaban magnitudes físicas por encima de lo que puede soportar el cuerpo humano y fue en ese contexto que alcanza relevancia el factor de la seguridad.

Esta actividad es consecuencia de la etapa histórica, conocida con el nombre de Revolución Industrial, la cual se inicia en 1776, a raíz de haber inventado el Ingeniero Inglés James Watt, la máquina de vapor.

No es que antes de este invento no existieran medios de producción pues ya funcionaban motores hidráulicos y molinos de vientos, pero la escasez de estos medios de producción, su baja velocidad y escasa potencia, hacían irrelevante la ocurrencia de accidentes, que a su vez ocasionaban graves lesiones.

Los prototipos de máquinas de vapor, no eran ni la sombra de lo que hay en la actualidad, carecían de manómetros, controles de temperatura, niveles de flujos, termostatos y sobre todo, la importante e indispensable válvula de seguridad, a través de la cual se libera presión del interior de la caldera, para evitar el estallido de la misma. Por tanto, los accidentes comenzaron a multiplicarse, además de los daños y las pérdidas.

Las primeras medidas en cuanto a seguridad se refieren, comenzaron a tomarse en Inglaterra, al nombrarse inspectores, los cuales visitaban a las empresas y recomendaban la colocación de protectores de los llamados puntos críticos de las máquinas, lugares en los que podían ser afectados los obreros, al ser lesionados sus manos, brazos y piernas. Estas recomendaciones no surtían los efectos apetecidos, por carecer de sanciones para aquellos patronos que no la pusieran en práctica y como no existían precedentes al respecto, desde el punto de vista de justicia social, eran los obreros los que soportaban la peor parte.

Para el año 1868, durante el gobierno de Bismark, a casi un siglo de iniciarse la Revolución Industrial, se emite en Alemania la Ley de Compensación al Trabajador, dicha ley establecía, que todo trabajador que sufriera una lesión incapacitante, como consecuencia de un accidente industrial, debía ser compensado económicamente por su patrón. Dicha ley se fue adoptando rápidamente en los países industrializados de Europa y en los Estados Unidos.

Debido a los fuertes desembolsos que tenían que hacer los propietarios de empresas, dispusieron que los accidentes que produjeran lesiones incapacitantes

fueran investigados, con la finalidad de descubrir los motivos que los provocaban y hacer las correcciones de lugar, para que en el futuro por una causa similar, no ocurrieran hechos parecidos.

Durante el siglo XX el concepto y las técnicas aplicadas de las que se sirve la seguridad industrial han ido perfeccionándose conforme las legislaciones en el mundo han establecido el respeto por normas, reglas y estándares orientados a la prevención de pérdidas humanas e impactos al ambiente derivados de la actividad industrial.

Actualmente se entiende como seguridad industrial a la gestión de riesgos relativos a la naturaleza de las industrias, entendiéndose como una parte imprescindible de la dirección y gestión gerencial de todas las organizaciones.

Por eso actualmente se habla de Sistemas de Gestión de Riesgos Ocupacionales, Sistemas de Administración del Control de Pérdidas o Sistemas Integrados de Medio Ambiente, Salud, Seguridad Industrial y Calidad, como parte del sistema de administración de la compañía en sí y una de las responsabilidades más importantes de la línea de administración en todos sus niveles.

### ***La seguridad de los procesos químicos***

En el marco expuesto acerca de la seguridad industrial como integrante del sistema de administración de las organizaciones, en el caso de las industrias químicas surge la necesidad de incorporar la administración de los riesgos derivados de los procesos que manejan materiales químicos peligrosos.

Esta necesidad surgió de las lecciones aprendidas de accidentes ocurridos en este tipo de industrias, que alcanzaron proporciones de catástrofes, por ejemplo:

Flixborough, Inglaterra (Ver figura 1,7)

Ocurrido en Junio de 1974 en una planta diseñada para producir 70 000 TM de Caprolactama, un materia requerida para la fabricación del Nylon.

Parte del proceso constaba de una batería de 6 reactores en serie en los cuales se oxidaba ciclohexano a ciclohexanona y luego a ciclohexanol por medio de inyección de aire en presencia de un catalizador.

El ciclohexano es una sustancia de propiedades similares a la gasolina, el sistema contenía normalmente hasta 20 TM de ciclohexano en cada reactor y a las condiciones de operación (155°C y 7.9 atm) este material se volatiza inmediatamente si es despresurizado a presión atmosférica.

El accidente se produjo cuando se descubrieron grietas en la estructura del quinto reactor de la batería que provocaban fugas del material. El reactor fue retirado para su reparación y se decidió instalar una tubería de by-pass entre el cuarto y sexto reactor. Esta solución reduciría la capacidad de producción pero no la detendría pues el ciclohexano que no reaccionaba sería separado y reciclado posteriormente.

---

Figura 1,7: Desastre de Flixborough (01/06/1974, UK).



El problema fue que la tubería de by-pass se construyó de una tubería flexible la cual se le colocaron estructuras de soporte insuficientes por su carácter “provisional”, Esto ocasionó la ruptura de la tubería por la fatiga ocasionada por el movimiento provocado por la presión de los reactores.

Se estima que aproximadamente 30 TM de ciclohexano se volatilizaron de manera instantánea, originando una nube de vapor que se inflamó unos 45 segundos después. La explosión consecuente produjo la muerte de 28 trabajadores mientras que otras 36 resultaron heridas. La planta resultó destruida por el incendio subsiguiente a la explosión que no pudo ser apagado sino hasta 10 días después. Los daños se extendieron a 1821 casas de los alrededores, reportándose 53 personas lesionadas externas a la compañía.

Seveso, Italia (Ver figura 1,8)

En Julio de 1976 se produjo la explosión de un reactor de TCP (2,4,5 – triclorofenol) en una planta de pesticidas ubicada en Meda, un pueblo a 20 kilómetros al norte de Milán, Italia.

Como resultado, una nube de gases que contenía TCDD (2,3,7,8 – tetracloro di benzo – p – dioxina) altamente tóxico fugó a la atmósfera afectando un área densamente poblada de seis kilómetros de largo por uno de ancho.

---

Figura 1,8: Fotografía del desastre de Seveso.



Pese a las medidas de emergencia asumidas, como la evacuación de la población y tratamiento del suelo contaminado, los efectos se manifestaron durante un tiempo posterior al accidente. Principalmente se produjeron malformaciones en niños, abortos, cáncer de hígado y enfermedades eruptivas en la piel. El mayor impacto se produjo en la localidad próxima de Seveso, de donde viene el nombre con el que se conoce al desastre.

La gravedad del incidente se incrementó debido a la demora en los informes de la Compañía operadora de la planta, solo 10 días después se informó que la fuga contenía dioxina y no se pudo evaluar correctamente la magnitud ni las medidas de contingencia pues no se conocían con precisión los efectos de esta sustancia ni como manejar e incluso, de su naturaleza.

#### Bophal, India (Ver figura 1.9)

En diciembre de 1984 se produjo el accidente considerado más desastroso de la industria química. Una fuga de 20 t de Metil Isocianato (MIC) produciendo una nube tóxica que mató a 2000 personas e hirió a otras 20000.

Figura 1.9: Fotografía de la catástrofe de Bophal, India.



produjo cuando 1000 kg de agua ingresaron por error a un tanque de almacenamiento de MIC, ocasionando que se produzca vapor de MIC altamente inflamable. Este vapor no pudo ser neutralizado pues el scrubber de la línea de venteo estaba en mantenimiento y escapó al ambiente produciendo una nube tóxica que se propagó por la población adyacente.

(Ver figura 1,10)

En 1988 se produjo la explosión y subsiguiente incendio que destruyó la petrolera del Mar De Norte llamada Piper Alpha. Los daños incluyeron a 165 personas muertas y 1200 millones de dólares en pérdidas.

Figura 1,10: Fotografía de la catástrofe de Piper Alpha.



El accidente fue producido por la ignición de una fuga de gas a través de un agujero en una línea por el retiro para reparación de una válvula de alivio. El accidente se agravó por una cadena de decisiones relacionadas al manejo de la emergencia, no pudiéndose controlar los efectos de la primera explosión..

Las lecciones de estos accidentes dieron lugar a la aparición de normas, comités de seguridad, asociaciones de estudio de prevención y otros organismos dedicados a la seguridad en el tema de la Seguridad en los Procesos Químicos, tanto en Europa como en Norte América.

A continuación se muestra un resumen cronológico del desarrollo de la Seguridad en los Procesos Químicos:

1982

- CC.EE. Directiva 82/501, más conocida como la Directiva Seveso, de la Unión Europea.

1985

- La Asociación Americana de Ingenieros Químicos AIChE crea el Centro de Seguridad de los Procesos (CCPS).
- La asociación de productores químicos de Canadá promueve la creación del CAER que es un programa de respuesta y concientización de las comunidades a raíz de la experiencia de Bhopal.

1990

- El API RP 750, "Management of Process Hazards", también de Estados Unidos.
- La Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos emite el "Acta de Aire Limpio" (The Clear Air Act).

1992

- Se emite la norma 29 CFR 2910.119 for "Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals" regulada por la "Occupational Safety and Health Administration (OSHA) de Estados Unidos. Esto fue como consecuencia de la explosión ocurrida en una planta de Pasadera, Texas.

1996

- Se emite la norma EPA-40 CFR Part 68: Accidental Release Prevention Requirements: Risk Management Program – que regular los Programas de Gestión de Riesgos para prevenir fugas accidentales de productos químicos peligrosos al ambiente.

1999

- Se emite la Directiva Seveso II, de la Unión Europea para mejorar y extender el alcance de la primera norma.

En muchos países del mundo se asumen estas normas como estándares internacional o modelos a seguir al momento de implementar una legislación nacional sobre materiales peligrosos y procesos químicos.

Si bien la legislación peruana es aún incompleta respecto a estos temas, este tipo de regulaciones se han convertido en estándares internacionales adoptados por consorcios multinacionales que operan en nuestro país, especialmente luego que desastres con impacto socio ambiental han reforzado el papel decisivo de la opinión pública en la operación de industrias cuyos insumos, productos y subproductos pudieran afectar las comunidades vecina o a sus propios trabajadores.

La Administración de la seguridad en los procesos químicos está orientada a la prevención de fugas o escapes de materiales químicos peligrosos con las consecuencias que pudieran tener éstos sobre las personas, el medio ambiente, la propiedad, y en última instancia la supervivencia misma del negocio.

En este marco interno y externo, Compañía Minera Antamina realizó un mapeo de riesgos a nivel de todos sus procesos, concluyendo que una de sus áreas de mayor sensibilidad es el transporte, uso, manipulación y almacenamiento de cianuro de sodio, material de alta toxicidad, como insumo del tratamiento metalúrgico de los minerales de su yacimiento.

El presente informe de ingeniería es la respuesta en detalle a las necesidades de protección de las personas y del medio ambiente en todos los niveles en que pudieran ser afectados persiguiendo también el objetivo de proteger a la compañía de las graves pérdidas que originaría un accidente que involucrara el cianuro de sodio como agente tóxico.

## **2. DESARROLLO DE CONCEPTOS Y TECNICAS**

### **2.1. Reactivos Químicos en el proceso metalúrgico**

Para llevar a cabo el proceso de flotación se requiere aumentar las propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas de las especies mineralógicas, por esto es necesario añadir reactivos a la pulpa.

Estos reactivos según su acción se clasifican en:

#### ***Colectores***

Su función principal es la de proporcionar propiedades hidrofóbicas a las superficies de los minerales. Favorecen la adherencia de los sulfuros a las burbujas de aire en las celdas y con ello su recuperación. Los más comunes son:

- Xantatos: que son colectores fuertes, menos selectivos y de acción rápida.
- Ditionofosfatos (aerofloats): que son más selectivos, menos fuertes y de acción relativamente lenta.

#### ***Modificadores***

Sirven para la regulación de las condiciones de funcionamiento de los colectores y aumentan su selectividad y a su vez se clasifican en:

##### ***Modificadores de pH***

Controlan la concentración iónica de las pulpas y sus reacciones a través de su acidez o alcalinidad. El más usado en la lechada de cal, pues la flotación de sulfuros se favorece en medios alcalinos.

##### ***Activadores***

Fomentan las propiedades hidrofóbicas de los minerales y aumentan su flotabilidad.

##### ***Depresores***

Hidrofilizan las superficies minerales y contribuyen a su depresión.

Algunos de los modificadores más usados son:

- Cianuro de sodio: No permite flotar a la esfalerita ni a la pirita.
- Sulfato de cobre: Reactiva la esfalerita. La esfalerita es deprimida en el circuito de plomo y debe ser reactivada para que flote en el circuito de zinc. También reactiva a la chalcopirita, pirita, arsenopirita, pirrotita y cuarzo (ganga).
- Sulfuro de sodio: Activador de los minerales oxidados.
- Oxígeno: Activador de sulfuros y algunos óxidos.
- Sulfato de zinc: No permite flotar a la esfalerita, ni a la pirita, pero más a la esfalerita que a la pirita.
- Bisulfito de sodio: También deprime a la esfalerita y a la pirita.

### ***Espumantes:***

Permiten la formación de una espuma estable, de tamaño de burbujas apropiado para llevar los minerales al concentrado. Los espumantes más usados son:

- El aceite de pino: forma espuma resistente, persistente, no selectiva y con cierto poder colector.
- El aceite cresílico: forma espuma quebradiza y más selectivo.
- Frother 70: forman espumas quebradizas, más selectivas y de textura fina.

## **2.2. Generalidades acerca del cianuro**

Cianuro es un término genérico para un grupo de elementos químicos que contienen carbón y nitrógeno. Los compuestos de cianuro incluyen tanto las reacciones químicas que ocurren naturalmente y las que provoca el hombre (antropogénicas).

Existen más de 2 000 fuentes naturales de cianuro incluyendo diversas especies de artrópodos, insectos, bacterias, algas, hongos, y plantas más desarrolladas.

El carbón y el nitrógeno, los dos elementos que forman el cianuro están presentes en todas partes. Juntos forman casi el 80% del aire que respiramos, y ambos están

presentes en las moléculas orgánicas que son la base de toda forma de vida. El cianuro de hidrógeno se formó en las primeras etapas de desarrollo de nuestro planeta como precursor de los aminoácidos, a partir de lo cual comenzó a evolucionar la vida en la Tierra. El cianuro que se forma naturalmente, es producido y usado por plantas y animales como un mecanismo de protección que los hace poco atractivos como alimento. Muchos organismos pueden adaptar la presencia de cianuro o desintoxicarse de él.

Las principales formas de cianuro derivados de la intervención humana son el cianuro de hidrógeno gaseoso y el cianuro de sodio y potasio sólido.

Debido a sus propiedades, el cianuro se usa en la fabricación de partes metálicas y de numerosos productos orgánicos de utilidad cotidiana tales como plásticos, telas sintéticas, fertilizantes, herbicidas, tinturas y productos farmacéuticos.

Existe una muy justificable preocupación pública respecto la utilización del cianuro en la industria.

El cianuro es una sustancia tóxica y puede ser letal si se ingiere o inhala en cantidades suficientes, esto es también válido para otros productos químicos tales como la gasolina y productos caseros de limpieza.

También es el caso de miles de productos químicos que se usan en los modernos procesos industriales, en donde el conocimiento del producto, un adecuado procedimiento de manipulación y una actitud responsable son muy importantes para lograr un uso seguro y beneficioso.

### **2.3. Aplicación del Cianuro de Sodio en la industria**

Las industrias mineras, metálicas y químicas son las principales consumidoras del cianuro de sodio. Los usos más comunes incluyen:

### ***Galvanoplastia***

Los baños cianurados de latón, cadmio, cobre, oro y plata depositan recubrimientos metálicos decorativos y funcionales en una variedad de piezas.

El excelente poder de penetración permite depósitos relativamente uniformes en piezas de geometría complicada.

### ***El endurecimiento de Acero***

Los baños de sales derretidas que contienen de 10 a 30% de cianuro de sodio tienen gran aplicación en el endurecimiento de aceros a temperaturas abajo de los 870 °C. El proceso de baño de sales derretidas es rápido, fácil de operar y proporciona mezclas de carbono-nitrógeno que tienen una uniformidad y excelente resistencia a la abrasión.

### ***Limpieza de metales***

Las soluciones acuosas del cianuro de sodio son efectivas como limpiadoras (desengrasantes) de metal, especialmente en la remoción del "smut" (carboncillo) después del decapado (baño ácido).

### ***Fabricación Química***

El cianuro de sodio es usado para fabricar otros químicos que permiten obtener productos tan diversos como son los farmacéuticos, vitaminas, suplementos alimenticios animales, tintes, pigmentos, insecticidas, agentes secuestrantes, polímeros y catalizadores.

En cualquier síntesis o formulación en la que intervenga el cianuro de sodio, ningún compuesto cianurado deberá sobrevivir como una impureza en el producto final. Esto es de suma importancia con los productos de consumo.

### ***Flotación y extracción minera.***

El proceso de cianuración para extraer oro y plata de minerales de baja ley usa soluciones acuosas de cianuro de sodio mas oxígeno (aire), para convertir el metal noble (M) en soluble  $\text{NaM}(\text{CN})_2$  en el que M puede ser recuperado por precipitación con polvo de cinc o talco de aluminio, absorción de carbón o embobinado eléctrico.

Se usa en la flotación de galena (sulfuro de plomo) en la separación de los minerales combinados que contienen esfalerita (sulfuro de cinc) y pirita (sulfuro de hierro), el cianuro de sodio actúa como depresor; esto significa, que reduce la tendencia de los materiales inertes para viajar a lo largo en la espuma y deteriorar la separación.

El cianuro de sodio tiene usos similares en la separación de la molibdenita en los concentrados de cobre por flotación. También se usa para purificar la molibdenita por medio de la extracción de las impurezas de cobre.

#### **2.4. Propiedades físico-químicas del cianuro de sodio.**

El cianuro de sodio, en la presentación comercial utilizada en Antamina, es un sólido blanco y soluble en agua. Es embolsado en forma de briquetas a fin de minimizar la posibilidad de emisión de polvos. Es inodoro, sin embargo al abrir el empaque puede percibirse cierto olor a “almendras” debido a la formación de pequeñas cantidades de cloruro de hidrógeno por contacto con la humedad del aire. Estas y otras de sus propiedades (ver tabla 2,1) permiten un transporte, almacenamiento y manipulación seguros si se siguen los procedimientos correctos.

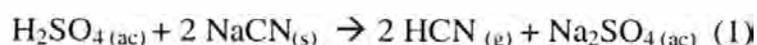
Tabla 2,1: Propiedades Físico Químicas del Cianuro de Sodio.	
Punto de ebullición, °C a 1atm	1496
Presión de vapor	Mínimo
Densidad de vapor	Ninguno
Punto de fusión	564 °C
Solubilidad en agua, % a 20°C	37
Forma del sólido	Briquetas
Color	Blanco
Gravedad específica	1,6

## 2.5. Reacciones del cianuro de sodio

### *Formación del Ácido Cianhídrico*

La reacción más peligrosa del cianuro de sodio es aquella con los ácidos y en la que se forma el letal gas ácido cianhídrico (HCN), el cual es invisible y tiene un olor muy débil.

Por ejemplo, uno de los ácidos más usados en la industria es el ácido sulfúrico, si accidentalmente se llegara a derramar sobre cianuro de sodio, se produciría la reacción (1).



Es decir, la generación del HCN gaseoso sería casi “inmediata” y en cantidades considerables.

Tomando un caso hipotético:

Por alguna razón tenemos una botella de 1 galón de ácido sulfúrico al 93% (aproximadamente 6.8 Kg.), comúnmente usado en laboratorio, a su lado queda destapado un envase plástico con 1 libra (0.454 Kg.) de cianuro de sodio. Accidentalmente, alguien hace caer al suelo ambos recipientes, mezclándose su contenido sobre el piso del laboratorio, en cual tiene un área de 150 m<sup>2</sup> y el techo a una altura de 2m. Sucedería lo siguiente:

Los 454 gramos de NaCN (9.2 mol-gr) reaccionarán completamente con 4.1 mol-gr de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (aproximadamente 24 gramos de ácido sulfúrico), por lo que se generarán 9.2 mol-gr de HCN, lo que es igual a 248 gramos.

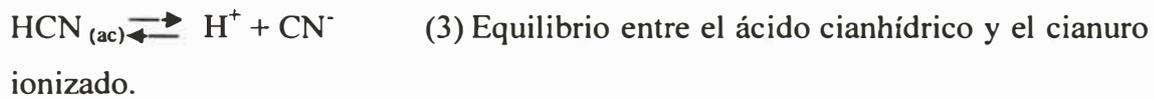
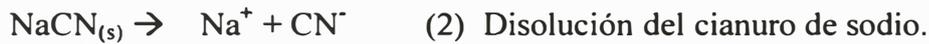
En el espacio de aire del laboratorio de 300 m<sup>3</sup>, usando la ley de gases ideales para hacer un estimado, significa aproximadamente 6374 mol-gr de aire o 184 846 gramos de aire.

De acuerdo a estos resultados, en poco tiempo tendríamos una concentración de:

$248 \cdot 10^6 / 184\ 846 = 1342$  ppm de HCN en el laboratorio. Esta es una concentración que causa la muerte inmediatamente.

También se produce gas HCN al contacto con el agua. El cianuro de sodio disuelto en agua forma un equilibrio entre el cianuro de sodio ionizado y el altamente volátil HCN.

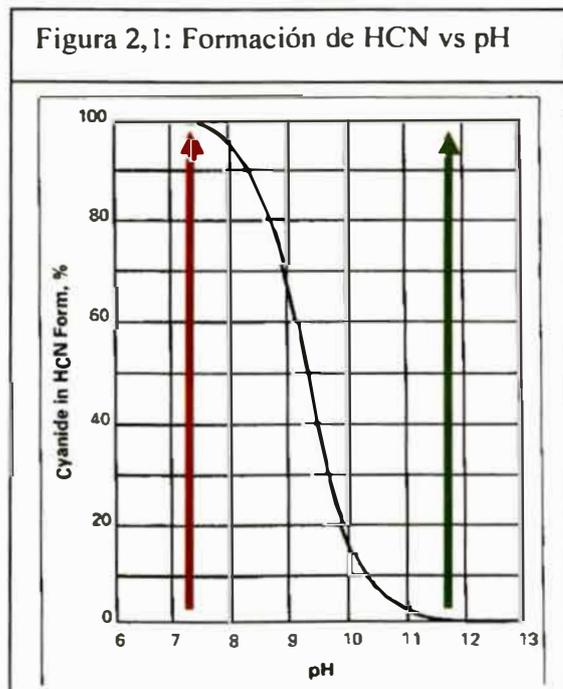
Esta formación se da mediante las reacciones (1) y (2).



De acuerdo a esto, la formación de HCN en soluciones acuosas de cianuro de sodio estará gobernada por la constante de disociación de la reacción (3) que es:

$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{CN}^-]}{[\text{HCN}]} = 4.365 \times 10^{-10} \quad (20^\circ\text{C y 1 Atm}).$$

De acuerdo a esto, dada una cantidad fija de soluto NaCN, el factor principal para la formación de HCN será la concentración de ión  $\text{H}^+$ , es decir, el pH de la solución. Una representación gráfica de la formación de HCN respecto al pH, se presenta en la figura 2,1.



En ella se puede apreciar que la formación de HCN en una solución típica de cianuro de sodio se dará a un rango de pH que fluctúa entre 7.5 y 11.5. A un pH 7,5 o menor, en soluciones diluidas, todo el cianuro estará como HCN mientras que al acercarnos al límite superior la formación se irá reduciendo.

Por lo tanto, para eliminar la formación del HCN al momento de preparar una típica solución concentrada de cianuro de sodio se deberá mantener un pH de 12 como mínimo.

Para dar un ejemplo del riesgo del cianuro en soluciones, se plantea el siguiente caso hipotético:

A fin de preparar una solución de cianuro de sodio al 20% para ser usado en planta, el operador ajusta el pH del agua de mezcla a 12, utilizando soda cáustica, si se olvidara de esto, el agua de mezcla se mantendría a pH 8. Suponiendo que el operador olvida agregar soda cáustica y de verificar el pH del agua de mezcla (30 m<sup>3</sup>) y agrega una bolsa de cianuro de sodio sólido de 1 000 kg en el tanque de mezcla, sucederían los siguientes eventos:

- a) Las briquetas de cianuro caerían al fondo del tanque disolviéndose parcialmente por contacto con el agua y por la agitación que ya está en funcionamiento. Se puede asumir conservadoramente que se puede disolver el 50% del cianuro (500Kg o 10 200 mol g) en los primeros minutos.
- b) Las briquetas tienen una cobertura de soda cáustica por lo que el pH de la solución aumentará. Asumiendo conservadoramente que alcance un pH 9, de la figura 2,1 podremos deducir que el 90% de CN<sup>-</sup> estará en forma de ácido cianhídrico, es decir 9 180 mol gr, quedando 1 020 mol gr en forma de ión cianuro.
- c) De la ecuación de equilibrio la cantidad de HCN que quedará disuelto en la solución será 2 337 mol gr, por lo tanto se liberarán al ambiente 6 843 mol gr de HCN gaseoso.

- d) Esta cantidad tiene el potencial de contaminar 21 200 kg de aire con una concentración inmediatamente mortal de 300 ppm de HCN.
- e) Utilizando como estimación la ley de gases ideales, podemos visualizar esta cantidad de aire como una semiesfera alrededor del punto de emisión de HCN de 75 metros de radio.

Las temperaturas y concentraciones incrementan los vapores de HCN. En los tanques de operación con una solución del 24% y a temperatura normal, la concentración del HCN en el espacio de vapor superior, típicamente será de 250 ppm (pH=11 sin ajuste). Si se eleva el pH entre 12 y 12.5, los niveles del HCN disminuirán aproximadamente a 125 ppm y con un pH de 13, por debajo de los 50 ppm.

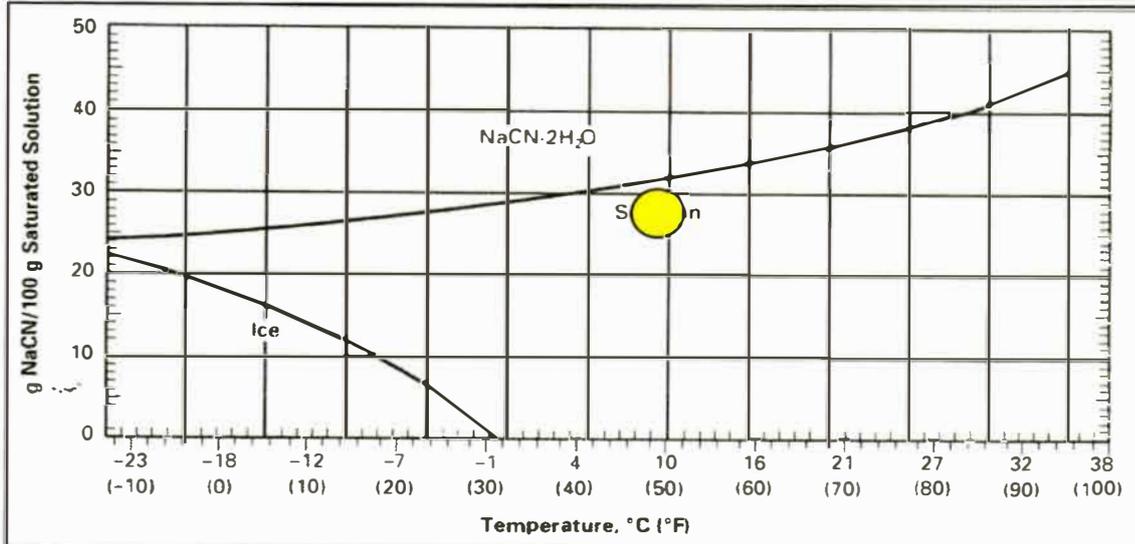
El HCN en el ambiente alrededor de la solución de cianuro de sodio también podrá ser influenciado por la cantidad de área de la solución así como de la ventilación. En soluciones de cianuro de sodio, las concentraciones de HCN deben ser mantenidas bajas y/o contenidas para evitar los vapores tóxicos.

#### ***Formación de cianuro de sodio dihidrato***

Cristales de di-hidrato,  $\text{NaCN} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , se forman cuando las soluciones saturadas de cianuro de sodio se enfrían a temperaturas por abajo de los 35 °C, o se concentran a más de 24 % en masa, como se puede ver en la figura 2.2.

El inconveniente radica en la estabilidad del cianuro de sodio di-hidrato, el cual ya no se disuelve nuevamente sino que queda adherido como una pátina blanca y dura en el interior de tuberías y equipos de proceso.

Figura 2,2: soluciones saturadas de cianuro de sodio. Se indica el área donde se ubican los parámetros de la operación estudiada.



### ***Reacciones de destrucción del cianuro***

Estas reacciones químicas adquieren importancia frente al reto de la eliminación de residuos de cianuro de los efluentes emitidos por las industrias en general y en el caso particular de Antamina por la calidad de agua a ser mantenida en la represa de relaves.

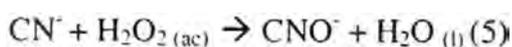
El proceso completo en el que se generan sub productos deberá de ser revisado para estudiar la posibilidad de reciclar el cianuro en lugar de desecharlo. Si el reciclado no es factible, el intercambio iónico y la osmosis inversa pueden ser útiles para concentrar los cianuros, pero la destrucción es siempre más fácil y económica.

De los métodos químicos la forma más efectiva y de mayor uso para destruir el cianuro, es la oxidación a cianato (CNO-) con hipoclorito o peróxido de hidrógeno. Ambos métodos son efectivos para oxidar los cianuros libres y los ácidos débiles de disociación.

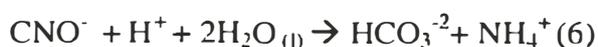
La clorinación alcalina es el tratamiento con hipoclorito y se produce según la reacción (4), en un medio a pH ajustado entre 9 y 10.



El tratamiento con peróxido se produce según la reacción (5) que se muestra a continuación:



El ión cianato ya no se considera agresivo para el ambiente pues se degrada naturalmente aunque aún no se ha determinado cual es el mecanismo exacto. Parte de este mecanismo, que es conocido es la hidrólisis que se produce según la reacción (6) que se muestra a continuación:



Para soluciones concentradas de cianuro, el calentamiento continuo a altos niveles de temperatura destruirá gran parte del cianuro con la liberación asociada de amoníaco.

## 2.6. Toxicología del cianuro de sodio.

### *Efectos y rutas de exposición*

El cianuro de sodio es un veneno de acción inmediata que puede causar la muerte rápidamente a bajos niveles de exposición. Su efecto tóxico es el resultado de la inhibición del proceso específico en las células del cuerpo por medio de la restricción del oxígeno en la respiración celular, particularmente las células cerebrales y del corazón.

El envenenamiento puede resultar de la aspiración del gas del cianuro, el polvo, o la solución; la absorción por medio de la piel, especialmente los ojos y otras membranas y los pies; y por medio de la ingestión.

El contacto con la piel puede causar irritación y envenenamiento especialmente al contacto prolongado o si se tiene heridas abiertas o raspones de piel o por las membranas mucosas. El cianuro de sodio es alcalino y ocasiona quemaduras a los ojos. Debido a que exista la posibilidad de absorción de vapores del ácido cianhídrico por la piel, el monitoreo del HCN en el aire es requerido aún para alguien que utilice la máscara de aire.

El cianuro no es un veneno acumulativo, y tampoco es carcinógeno. Se cree que no hay efectos crónicos por el envenenamiento con cianuro de sodio a menos que existan exposiciones continuas y prolongadas por encima de los límites ya establecidos anteriormente. Con un tratamiento rápido e inmediato, la recuperación a la sobre exposición normalmente es rápida y completa.

#### ***Límites de Exposición para el cianuro de sodio***

El Departamento de Trabajo de los Estados Unidos (OSHA) ha determinado que la exposición de un trabajador al cianuro de sodio (polvo) en un turno de 8 horas de trabajo de una semana de 40 horas no deberá exceder un promedio de 5 mg de cianuro por metro cúbico de aire.

#### ***Límites de exposición del HCN***

La actual ley del trabajo en Estados Unidos (OSHA) dice que el límite de exposición en el lugar de trabajo para el HCN es de 11 mg/m<sup>3</sup> o 10 ppm en una jornada promedio de 8 hrs.

La OSHA (y otros) también advierte que debido a que el ácido cianhídrico puede penetrar por la piel, el control de la inhalación de vapor solo, no es suficiente para prevenir la absorción de una dosis excesiva.

Mientras tanto, el límite establecido por la Administración de Salud y Seguridad Minera de los estados Unidos (MSHA) es de 10 ppm para el HCN para una jornada de 8 horas. La Conferencia Americana de Higienistas Industriales (ACGIH) recomienda el límite de 4.7 ppm para una jornada de 8 horas, valor instantáneo del límite del techo con una anotación similar sobre la piel.

***Efectos de exposición al vapor de HCN***

Los siguientes datos de toxicidad muestran la “Respuesta Humana Reportada a Varias Concentraciones de Vapor de HCN”

2-5	ppm: Umbral de olor.
10	ppm: límite de exposición por OSHA y MSHA, 8-hr TWA.
20-40	ppm: síntomas ligeros después de varias horas.
45-54	ppm: tolerancia de ½ o 1 hora sin efectos inmediatos.
100-200	ppm: fatal de ½ a una hora.
300	ppm: fatal rápidamente (si no hay tratamiento).

Estos números deberán ser considerados como estimados razonables únicamente, porque los datos no son exactos y los efectos varían según las personas. Además la respiración motivada por el trabajo físico incrementará la ingestión del cianuro y reducirá el tiempo en que los síntomas se presenten. El nivel de la exposición “fatal rápidamente” de 300 ppm supone que no existen primeros auxilios o tratamiento médico.

## 2.7. Descripción del proceso de preparación de soluciones de cianuro de sodio.

El cianuro de sodio es usado en Antamina como activador en los circuitos de flotación de Molibdeno/Bismuto.

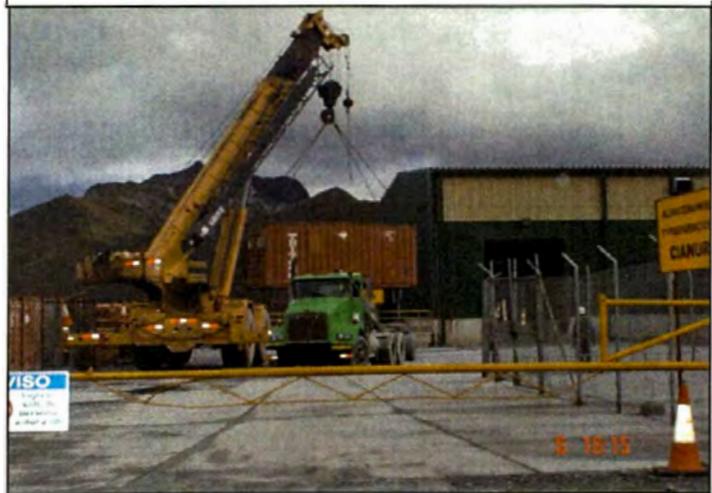
El cianuro de sodio es transportado hacia Antamina en empaques conteniendo 1 tonelada de material en forma de briquetas. El transporte se realiza en contenedores de 20 toneladas.

El proceso de preparación se lleva a cabo en las siguientes etapas:

### *Descarga de contenedores*

El proceso bajo responsabilidad directa de Antamina empieza en la fase de descarga desde la plataforma de camión de transporte al lugar de almacenamiento temporal, frente al edificio de preparación de cianuro, como se observa en la figura 2,3.

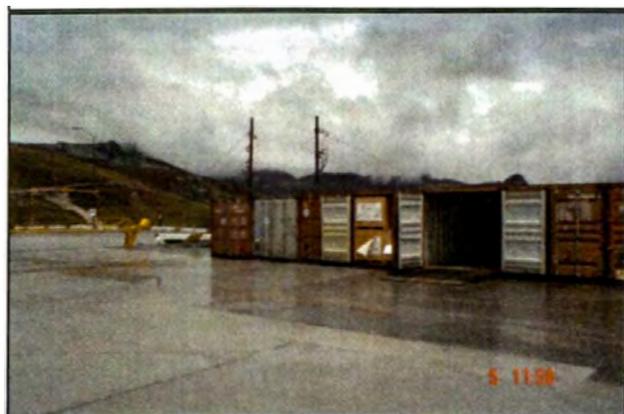
Figura 2,3: Fotografía de la descarga de contenedores de cianuro de sodio.



### *Transporte de las cajas*

Desde el contenedor se extraen las cajas para ser almacenadas en un segundo lugar de almacenamiento temporal dentro del edificio de preparación (Ver figura 2,4).

Figura 2,4: Fotografía de los contenedores durante el movimiento de cajas.



Desde alguno de estos dos lugares se movilizan las cajas hasta colocar una fila de 8 cajas que es la cantidad requerida para un lote de preparación de solución de cianuro requerida para el proceso.

### ***Mezclado del Cianuro con agua***

Se introduce en el tanque agitado para mezcla el agua de proceso requerida (50%) y 44 kg de soda cáustica sólida a fin de elevar el pH a 11,5 (Ver figura 2,5).

Se adiciona el cianuro de sodio levantando la bolsa desde el interior de cada una de las cajas alineadas mediante una grúa puente y liberando su interior con una cuchilla fija instalada en la tolva del tanque mezclador.

Se completa el agua hasta el 80% de la capacidad del tanque y se agita durante 2 horas como mínimo.

### ***Transferencia a los tanques de almacenamiento***

Luego se procede a la transferencia de la solución mediante dos bombas de transferencia (una operativa, otra en espera) al tanque de almacenamiento el cual tiene una capacidad equivalente a 21 horas de consumo de reactivo.

### ***Distribución a la planta***

Del tanque de almacenamiento se distribuye la solución a los puntos de adición en la planta mediante dos bombas de distribución (una operativa, otra en espera).

Figura 2,5: Fotografía del tanque de mezcla para soluciones de cianuro.

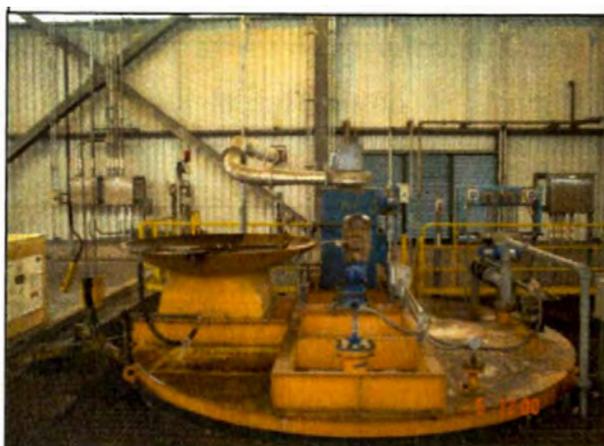


Figura 2,6: Tanque de mezcla y bombas de transferencia de soluciones de cianuro.



## 2.8. Descripción de las instalaciones de preparación de cianuro de sodio

### *Edificio*

El edificio de preparación de cianuro de sodio se encuentra aislado del resto de la planta y asegurado mediante un cerco perimétrico y avisos de advertencia. Como regla general sólo ingresa personal autorizado por la supervisión de planta y acompañado del operador de reactivos.

El edificio consta de un rampa de acceso para personas y montacargas, un nivel superior donde se realiza la preparación y una planta baja de acceso a la zona inferior de los tanques y a las bombas de transferencia de la solución.

Las figuras 3,7 (a), (b) y (c); son fotografías que muestran áreas internas y externas del edificio de preparación de soluciones de cianuro de sodio.

Figura 2,7 (a): Fotografía de la vista frontal externa del edificio.



Figura 2,7 (b): Fotografía de la vista posterior externa del edificio.



Figura 2,7 (c): Fotografía panorámica del interior del edificio.



**Equipos**

Se presenta una lista de equipos principales utilizados en la preparación de cianuro de sodio:

Tabla 2,2: Equipos principales para la preparación de soluciones de cianuro de sodio.		
Descripción	Capacidad y características	Tipo
Grúa Puente	2 TM de capacidad. Monorriel por 6,5 m de levante.	Eléctrico.
Sistema de ventilación del tanque de mezcla.	2 000 m <sup>3</sup> /h	Filtros de bolsa.
Sistema de ventilación del edificio de preparación.	16 000 m <sup>3</sup> /h a 0.063 Kpa.	Eléctrico.
Bomba de transferencia de solución de cianuro.	50 m <sup>3</sup> /h a 9.5m TH Acero al carbono. 1 operativa, 1 espera.	Centrífuga.
Bomba de distribución de solución de cianuro.	6,5 m <sup>3</sup> /h a 32m TH Acero al carbono. 1 operativa, 1 espera.	Centrífuga.
Bomba sumidero.	23 m <sup>3</sup> /h a 5m TH Acero al carbono	Centrífuga
Bomba sumidero.	23 m <sup>3</sup> /h a 5m TH Acero al carbono	Centrífuga
Tanque de retención de cianuro de sodio.	4,7 m diámetro por 4,9 m altura. 73 m <sup>3</sup> de capacidad. Acero al carbono, techo cerrado, techo y piso planos.	Estacionario.
Tanque de mezcla de cianuro de sodio.	3,9 m diámetro por 3,7 m de altura. 36 m <sup>3</sup> de capacidad. Acero al carbono, techo cerrado, techo y piso planos. con agitadores.	Estacionario.

Las figuras 2,8 (a), (b), (c) y (d) muestran las fotografías de algunos de los equipos e instalaciones del edificio de preparación de soluciones de cianuro de sodio.

Figura 2,8 (a): Fotografía de la tolva del tanque de mezcla (disolución) de cianuro.



Figura 2,8 (b): Fotografía del almacenamiento de cajas de cianuro y los extractores de aire.



Figura 2,8(c): Fotografía de las bombas de distribución de las soluciones de cianuro.



Figura 2,8(d): Fotografía de las bombas de sumidero para recuperación de derrames.



## 2.9. Filosofía de control

En las tablas 2,3 y 2,4 se presentas los principales parámetros de control del proceso de preparación de soluciones de cianuro de sodio.

Variable de Proceso	Punto de Control	Método de Control	Impacto en el Proceso
Concentración de cianuro en solución	18%	El operador mezcla cantidades fijas de cianuro sólido y agua.	Concentración baja reduce la recuperación del mineral. Concentraciones altas llevan al desperdicio del reactivo.
Presión en el circuito de distribución de cianuro.	Adecuada para permitir dosificación adecuada.	El operador de sala de control fija la presión deseada para el circuito.	Bajas presiones resultan en déficit de reactivo, disminuye la recuperación.

Equipo	Condición de enclavamiento
Sistema de detección y alarma de HCN.	Cuando uno de los sensores de HCN (ASH-8134A/ ASH-8134B/ ASH-8134 C) detecta niveles mayores de 10 ppm en el ambiente se activan las alarmas sonoras (YA-8134A externa- YA-8134B interna) y las luces estroboscópicas rojas (YL-8134A / YL- 8134 B). El personal debe evacuar el edificio.
Tanque de mezcla de cianuro TKS-057 Válvula de agua de proceso HV-8131	La válvula se cierra cuando en nivel del tanque es ALTO (LSH-8131).
Agitador del tanque de mezcla AGA-057	El agitador arranca cuando el nivel en el tanque es ALTO y para cuando es bajo (LCHL-8131 A). Luces de advertencia: cuando el agitador está operativo las luces de advertencia verdes (YL-8131 A y B) ubicadas en los accesos al edificio se activan.
Bomba de transferencia de solución. PPC-057 o PPC-058	La bomba no arranca si el nivel del tanque de mezcla (TKS-057) es bajo (LSL-8131B). La bomba no arranca si el nivel en el tanque de almacenamiento (TKS-059) es alto (LSH-8132).
Bomba sumidero (PPR-018).	La bomba arranca automáticamente cuando el nivel del tanque sumidero es alto y se detiene cuando es bajo (LCHL-8136).

En las fotografías 2,9 (a), (b) y (c); se muestran las alarmas más importantes del edificio de preparación de soluciones de cianuro. Son las que controlan y alertan si se sobrepasa el límite máximo permisible de cianuro de hidrógeno en el aire. Para mayor explicación sobre el sistema de control del proceso se adjunta el diagrama de tuberías e instrumentación (P&ID) en el Anexo 2.

Figura 2,9(a): Fotografías del sensor y del transmisor para detección de ácido cianhídrico.



Figura 2,9(b): Fotografías de las alarmas sonora y visual de alto nivel de ácido cianhídrico.



Figura 2,9(c): fotografía de las alarmas en la zona externa del edificio.



### **3. DESARROLLO DEL ANALISIS DE RIESGOS**

#### **3.1. Identificación de peligros**

##### *Definición de “Peligro”*

Se define al peligro como: “algo que tiene el potencial de causar daño a personas, equipos, el medio ambiente y otros blancos u objetivos”, generalmente viene asociado a una fuente de energía que se sale de control y sobrepasa los límites de resistencia del blanco u objetivo.

Las fuentes de energía pueden venir del proceso o material en sí, de las herramientas y equipos utilizados y de las condiciones ambientales presentes.

Los peligros se encuentran presentes en todas partes, algunas veces las estrategias de seguridad incluyen la eliminación de los peligros, pero la mayoría de veces esto no es posible, pues están asociados a las fuerzas motrices del proceso o los mismos materiales involucrados. Por ejemplo, la energía eléctrica es un peligro puro pues tiene el potencial de causar daños, sin embargo, no es posible eliminarla del entorno industrial.

Debido a esto, los peligros se identifican dentro de un sistema como elementos con los que debemos convivir.

Los peligros provienen de diferentes fuentes: personas, proceso, materiales y medio ambiente. En nuestro caso estas fuentes se combinan en dos:

- Peligros en las actividades humanas.
- Peligros en las instalaciones y procesos.

##### *Identificación de peligros de las actividades*

Los pasos a seguir para la identificación de los peligros de las actividades son:

- Listar las tareas y/o actividades que se realizan en el área tanto de forma normal como excepcionalmente.
- Identificar las energías presentes en el área asociadas a cada tarea.
- Identifique los equipos o herramientas asociado a cada tarea

- Identificar las posibles consecuencias derivadas de una eventual pérdida de control de las energías involucradas en tarea, en conjunto con una falla de equipos y herramientas.
- Listar las causas por las cuales se pueden producir las situaciones planteadas, estas están ligadas a los actos y condiciones que se producen en la tarea que pueden ser origen de los accidentes.
- Luego se identifican las medidas de control que existen actualmente frente a estos riesgos, a fin de evaluar luego si son suficientes.

En la tabla 3,1 se presenta una guía para registrar los datos en este proceso. En dicha tabla se basa el formato utilizado para el trabajo de campo que se muestra en el Anexo I.

#### ***Identificación de los peligros del proceso***

Se realiza de manera similar al punto 3.1.2 y en muchos casos se repiten, sin embargo en esta sección partimos del análisis de las consecuencias de variaciones de los parámetros de la operación.

Los pasos a seguir son:

- En un diagrama de líneas e instrumentación (P&I D) se determinan volúmenes de control siguiendo el flujo de proceso, de forma que en cada uno de ellos pueda determinar los flujos de entrada / salida y los parámetros de control aplicables.
- Cada volumen de control debe tener una intención de diseño que es la declaración de la función principal del proceso que se desarrolla dentro del volumen de control.
- Los parámetros críticos se determinarán como aquellos que, de alterarse, impedirían el cumplimiento de la intención de diseño, deteniéndola momentánea o totalmente, ya sea de manera directa o indirecta.
- Las desviaciones críticas son justamente estas alteraciones significativas de los parámetros.

- También se determinarán en este paso, las causas por las que se producirían las desviaciones críticas.
- Luego se analizará lo que ocurría en cada volumen de control si se produce cada una de las desviaciones críticas. Estas son las exposiciones a pérdida.
- Luego se identifican las medidas de control que existen actualmente frente a estos riesgos, a fin de evaluar luego si son suficientes.

En la tabla 3,2 se presenta una guía para registrar los datos en este proceso. Es esta tabla se basa el formato utilizado para el trabajo de campo que se muestra en el Anexo 2.

Tabla 3,1: Guía identificación de peligros en las actividades

HOJA DE IDENTIFICACION DE PELIGROS DE LAS ACTIVIDADES					
AREA DE TRABAJO:					
TAREAS O ACTIVIDADES DEL AREA	ENERGÍA	HERRAMIENTAS O EQUIPOS ASOCIADOS	CONDICIONES AMBIENTALES	EXPOSICIONES A PERDIDAS	MEDIDAS DE CONTROL PRESENTES
Izaje Acarreo Manipuleo Escalar Caminar Limpieza Reparaciones Esmerilar Voladura Operación	Ruido Polvo Térmica Cinética Eléctrica Radiación Tóxica Corrosiva Altura Inflamables Explosivo Agua Combustión Masa Soldadura Presión Manipuleo Vibración	Eléctrica Neumática Hidráulica Corte Móviles Manuales	Mojado Seco Inclinación Oscuridad Confinado Restringido Agua Desigual Inclinado Trabajo Encima Trabajo Debajo Reflejo Andamiaje Subterráneo	Cuáles serían las consecuencias negativas si se realiza la tarea de forma incorrecta.	Controles de Ingeniería Controles Administrativos Equipos de Protección Personal.

Tabla 3,2: Guía de identificación de peligros en el proceso

Volumen de Control N °

Intención de diseño:

Descripción	Parámetros Críticos	Desviaciones Críticas	Causas	Exposiciones a Pérdidas	Controles Existentes
Descripción de líneas y equipos.	Presión pH Temperatura Concentración Flujo	Aumenta Disminuye Se mantiene Se hace nulo	Por qué se produciría la desviación.	Cuáles serían las consecuencias negativas si se produce la desviación crítica.	Ingeniería Alarmas Monitoreo Controles Administrativos EPP

### 3.2. Evaluación de Riesgos

#### *Definición de “Riesgo”*

Es la combinación entre el estimado de la severidad de las consecuencias que puede causar un peligro y la probabilidad que efectivamente esta energía o material se salga de control en un evento accidental.

El concepto de Riesgo es: “La probabilidad que efectivamente un peligro cause daño a un sistema y cuanto sería el daño posible”. Esta es la definición de RIESGO: SEVERIDAD x PROBABILIDAD.

Como en todo sistema existe una **Minoría Crítica de Riesgos** que puede causar la mayoría de consecuencias graves. Se podrían gastar grandes cantidades de dinero en controlar todos los riesgos de un sistema, sin embargo esto no es posible en un entorno industrial por lo que se deben evaluar cuales son los Riesgos Críticos y priorizar su control, haciendo el negocio económicamente viable con un nivel adecuado de inversión en el control de los riesgos que amenazan a las personas, la propiedad, la producción y el medio ambiente.

Para efectos del presente informe de ingeniería, de los peligros que se han identificado en las actividades y procesos se consolidan los escenarios de riesgo unificando las posibles consecuencias que pudieran producirse si las energías o parámetros salen fuera de control. Cada consecuencia puede tener causas diversas y se listan manteniendo la columna sobre medidas de control existentes.

Para cada exposición a pérdida deben determinarse dos parámetros:

#### *Severidad de las Consecuencias:*

Entendido como la consecuencia más seria que pudiera derivarse del evento identificado como escenario de riesgo.

Para esto se utilizará la tabla 3.3 en la cual se muestra la descripción correspondiente a cada nivel de severidad desde un nivel 1 (bajo) al nivel 5 (crítico).

Para la aplicación práctica se codificó cada nivel desde C1 hasta C5.

Esta descripción abarca cada aspecto en que es posible considerar una pérdida en la organización.

Por tratarse de una actividad interna, se evaluará lo correspondiente a:

- Lesiones o enfermedades
- Impacto ambiental
- Impacto Operativo
- Costo Total

### ***Probabilidad***

Dependiendo de si se tiene o no historia de eventos similares ocurridos en la industria se elegirá un nivel de frecuencia o probabilidad de ocurrencia utilizando como guía la tabla 3,4.

Este parámetro se refiere a la probabilidad de ocurrencia del evento descrito en la exposición a pérdida, varía desde un evento Raro a un evento Casi Cierto.

Para la aplicación práctica los niveles de probabilidad se codificaron desde P1 a P4.

Las consideraciones de probabilidad cuando no se cuenta con historia de accidentes pasados se basaron en los siguientes criterios:

- Entorno operacional: un evento se considera Raro si normalmente el entorno operacional no presenta las condiciones para que suceda. Es decir el evento se produciría “bajo circunstancias excepcionales”. En caso contrario la probabilidad sería “improbable” siempre y cuando se tengan controlados los demás parámetros. Un evento “posible” se definiría como aquel donde existen la condiciones para la ocurrencia del evento y existe la posibilidad que ocurra en algún momento a pesar de los controles. En el caso de eventos “probables” y “casi ciertos” tenemos las condiciones para que ocurra y no hay control alguno, por que se puede tener la certeza que ocurrirá en cualquier momento.

Tabla 3.3: Rangos de Gravedad de CONSECUENCIA

Bajo	Menor	Moderado	Mayor	Crítico
C 1	C 2	C 3	C 4	C 5
<b>Lesiones y enfermedad (incluye a los trabajadores y la comunidad)</b>				
Inconveniencias o síntomas de bajo nivel, corto plazo, subjetivos. No hay efectos físicos posibles de medir. No hay tratamiento médico	Incapacidades/Impedimentos objetivos pero reversibles y/o tratamiento médico de lesiones que requieren hospitalización	Incapacidad o impedimento moderadamente irreversible (< 30%) a una ó más personas.	Una sola fatalidad y/o incapacidades o impedimentos irreversibles (> 30%) a una ó más personas	Efectos en la salud a corto o largo plazo, que lleven a múltiples fatalidades, o a efectos significativos irreversibles para la salud humana de > 50 personas.
<b>Efectos Ambientales</b>				
No hay efectos duraderos. Impactos de bajo nivel en el ambiente biológico o físico. Daños limitados a un área mínima de poca importancia.	Efectos menores en el ambiente biológico o físico. Daños menores a corto o mediano plazo, a un área pequeña o de importancia limitada.	Efectos moderados en el ambiente biológico o físico, pero que no afecta la función del ecosistema. Impacto extendido moderado a corto o mediano plazo (por ejemplo: derrame de aceite, que causa impactos en la costa).	Graves efectos ambientales con algunos impedimentos para las funciones del ecosistema (por ejemplo: desplazamiento de una especie). Impactos a mediano o largo plazo, relativamente extendidos.	Efectos ambientales muy graves, con impedimentos en las funciones del ecosistema. Efectos a largo plazo y extendidos en un ambiente significativo (Por ejemplo, hábitat único, parque nacional).
<b>Impacto Operativo (Incidentes relacionados con seguridad, salud y/o medio ambiente)</b>				
Fácil de atender o rectificar, mediante acciones correctivas inmediatas. No hay pérdida de producción. No hay daño a los equipos.	Daños menores o superficiales a equipos y/o servicios. No hay pérdida de producción.	Daños moderados a los equipos y/o servicios. Pérdida de producción < una semana.	Daños mayores a los servicios, que requieren de acciones correctivas o preventivas importantes. Pérdida de producción < seis meses.	Las futuras operaciones en el lugar están seriamente afectadas. Las acciones correctivas o de subsanación son urgentes. Pérdida de producción > seis meses
<b>Costo Total Estimado (Incluyendo todos los costos relacionados con seguridad, salud y medio ambiente.</b>				
< US \$ 10,000	US \$ 10,000 a \$ 100,000	US \$ 100,000 A \$ 1 M.	US \$ 1M A \$ 10 M	> US \$ 10M

Tabla 3,4: Probabilidad de ocurrencia

PROBABILIDAD		DESCRIPCIÓN DE LA FRECUENCIA	DESCRIPCIÓN
Casi P5	Cierto	Alta frecuencia de ocurrencia.	Se espera que el evento ocurra en la mayor parte de las circunstancias.
Probable P4		El evento ocurre, tiene una historia, ocurre una vez cada 1-5 años.	El evento probablemente ocurrirá en la mayor parte de las circunstancias.
Posible P3		Ocurre una vez cada 5-10 años.	El evento debe ocurrir en algún momento.
Improbable P2		Ocurre una vez cada 10-30 años.	El evento podría ocurrir en algún momento.
Raro P1		Ocurre una vez cada 30 o más años.	El evento puede ocurrir, pero solo bajo circunstancias excepcionales

Tabla 3,5: Matriz de evaluación de riesgos.						
Pérdidas en dólares por accidente.		10,000	100,000	1,000,000	10,000,000	11,000,000
Accidentes probables / Por año		C1	C2	C3	C4	C5
2.00	P5	20,000	200,000	2,000,000	20,000,000	22,000,000
		7	10	14	16	17
1.00	P4	10,000	100,000	1,000,000	10,000,000	11,000,000
		6	9	13	15	15
0.20	P3	2,000	20,000	200,000	2,000,000	2,200,000
		4	7	10	14	14
0.10	P2	1,000	10,000	100,000	1,000,000	1,100,000
		2	5	9	13	13
0.03	P1	333	3,333	33,333	333,333	366,667
		1	3	8	11	12
RIESGO	NIVEL	GESTION				
BAJO	R1: 1-5	TOLERABLE: Monitoreo y Gestión del Riesgo.				
MODERADO	R2: 6-9	EVALUACION: DETERMINAR SI SE REQUIERE CONTROLES ADICIONALES.				
ALTO	R3: 10-13	ALARP: TOMAR ACCIONES PARA REDUCIR EL RIESGO TANTO COMO SEA POSIBLE.				
EXTREMO	R4: 14-18	INTOLERABLE: TOMAR ACCIONES INMEDIATAS PARA CONTROLAR Y REDUCIR EL RIESGO.				

- exposición del personal: se definió a no más de 3 personas por día realizando una tarea como exposición normal. De 3 a 10 personas exposición moderada y más de 10 exposición alta. La elevación de este parámetro aumenta el nivel de probabilidad desde P2 a P4.
- Medidas de control existentes, según la capacidad de mitigar la exposición a pérdidas, la existencia de medidas de control disminuye el nivel de probabilidad de ocurrencia. La ausencia de medidas de control aumenta en dos niveles la probabilidad.

### ***Evaluación del nivel de riesgo***

Tanto la estimación de severidad de la consecuencia como probabilidad de ocurrencia son estimados con cierto grado de subjetividad, por esto es necesario la participación de un equipo multidisciplinario y entendido en el proceso a fin de disminuir la posibilidad de errores por esta causa.

Luego de haber determinado los parámetros de severidad y probabilidad podremos utilizar la Matriz de Evaluación de Riesgo mostrada en la tabla 3,5 para determinar el nivel de riesgo asociado con el escenario analizado.

Se presentan dos formas de expresar el nivel de riesgo, cualitativamente se fijan 4 niveles:

- Extremo: color rojo, que significa que se deben tomar medidas inmediatas y que causen gran impacto de reducción del riesgo.
- Alto: color azul, implica tomar acciones destinadas a disminuir el nivel de riesgo al más bajo, que sea razonablemente posible.
- Moderado: color verde, el nivel de riesgo permite realizar la tarea siempre que se sigan las medidas de control consideradas.
- Bajo: color amarillo, tareas que pueden ser realizadas con instrucciones de trabajo sencillas.

La otra forma es presentar un nivel cuantitativo del riesgo, basado específicamente en la probabilidad de pérdidas económicas que pueden ocurrir,

esto es producto del factor de severidad entendido nivel de dinero perdido y de la frecuencia en años que podría tener el evento correspondiente, dando lugar a un nivel de riesgo expresado en dólares perdidos por año.

La primera forma será utilizada para determinar los escenarios de riesgo críticos, mientras que la segunda servirá para comparar con el costo de los controles y así determinar el beneficio en protección de la propiedad y continuidad del proceso.

### **3.3. Desarrollo de Controles**

Para cada escenario que se pueda identificar en las actividades o en el proceso, se deberá hacer una evaluación de riesgo. Los que resulten en categorías Moderado y Extremo, son los llamados escenarios críticos y se deben proponer controles.

La jerarquía de los controles de seguridad industrial es como sigue:

#### ***Controles de ingeniería***

Son soluciones definitivas al problema, tienden a actuar sobre el peligro mismo, aislando o eliminando las energías peligrosas. Por ejemplo, las guardas de seguridad, un enclavamiento, etc.

#### ***Controles administrativos***

Son aquellos que tratan de administrar los riesgos a través de procedimientos, programas, permisos de trabajo, entrenamiento, etc. Sin embargo se denominan "barreras blandas" pues dejan la posibilidad de error humano y no eliminan el peligro o energía en sí sino reducen la probabilidad que salga de control.

#### ***Equipo de Protección Personal***

Son la última barrera ante un peligro y se escoge para los riesgos en los cuales no hay otra manera de controlarlos.

#### ***Plan de emergencias***

Se utiliza para minimizar las consecuencias y evitar pérdidas a la compañía.

Para cada escenario crítico se plantean los controles que se requieran y luego se repite una segunda evaluación de riesgos para verificar si ha bajado. Esta diferencia es lo que ha podido incrementar la protección y debería ser bastante mayor de lo que se invierte en implementarlos.

## **4. RESULTADOS EL ANALISIS DE RIESGO**

### **4.1. Identificación de peligros de las actividades**

Se dividió el trabajo general de preparación de solución de cianuro de sodio en siete tareas específicas a fin de analizar los peligros generados en cada uno.

Entre las tareas consideradas se ha incluido los trabajos de mantenimiento que están relacionados a equipos que manejan la solución cianurada.

Se aplicó la metodología presentada en el punto 3.1.2, los resultados se presentan en la tabla ubicada en el Anexo 1.

### **4.2. Identificación de peligros del proceso**

Con los datos disponibles del proceso, equipos e instalaciones se definieron cinco volúmenes de control cuyos límites se delinean en el Diagrama de Tubería e Instrumentación del Proceso. Para cada volumen de control se identificaron los peligros provenientes de las variables del proceso mismos, obteniéndose los resultados mostrados en el Anexo 2.

### **4.3. Configuración y evaluación de los escenarios de riesgos**

Con la información proveniente del proceso y de las actividades se configuraron escenarios de riesgo que son los que podremos evaluar.

Cada escenario de riesgo fue formulado revisando cada uno de los peligros identificados y agrupándolos de acuerdo a consecuencias comunes de un evento accidental.

Esto permite formular un nombre para el escenario, que sería la descripción específica del evento que podría ocurrir si se pierde el control, seguido de una descripción de las causas que podrían originarlo en determinada etapa del proceso.

La utilidad de formular escenarios de riesgo es que se pueden precisar las variables, consecuencias, causas y circunstancias que luego cuantificaremos para la evaluación del riesgo.

El resultado se presenta en el Anexo 3, habiéndose identificado y evaluado 21 escenarios con una distribución de riesgo como la que sigue:

PERFIL INICIAL - 21 ESCENARIOS DE RIESGO IDENTIFICADOS	
Niveles de Riesgo	Numero
Extremo	1
Alto	5
Moderado	3
Menor	12

#### **4.4. Escenarios de Riesgo Críticos**

De acuerdo a la Matriz de evaluación de riesgo, debemos desarrollar controles para los escenarios cuyo nivel de riesgo se encuentre sobre Alto y Moderado.

Estos se denominan escenarios de riesgo críticos y se desarrollan a continuación.

#### **4.5. Desarrollo de Medidas de Control**

En las tablas 4,1 (a) a la (f), se presentan los resultados del análisis de cada escenario de riesgo crítico a fin de determinar las medidas de control necesarias.

**TABLA 4,1 (a): ESCENARIO DE LIBERACION MASIVA DE ACIDO CIANHIDRICO DESDE EL TANQUE DE MEZCLA**

Descripción:

- 1.- Si hay un error en el ajuste de pH o se presenta una falla en el sistema de venteo del tanque, la emisión de HCN puede llegar a ser masiva y alcanzar concentraciones peligrosas para la vida.
- 2.- La única barrera es la atención del operador al añadir soda cáustica antes de añadir cianuro.
- 3.- Existen dos sensores de pH con pantalla digital. La verificación del pH es visual.
- 4.- El medio más inmediato de alarma del operador son los sensores de HCN, los cuales actuarán cuando se haya producido el gas.



CONSECUENCIAS	CAUSAS	MEDIDAS DE CONTROL VIGENTES
Liberación de Cianuro de Sodio desde el tanque de mezcla.	1.- pH bajo 11.5 en el agua destinada a la mezcla por falla del operador durante la regulación. 2.- Falla del ingreso de aire por el sistema de venteo.	1.1.-Añadir soda cáustica. 1.2.-Verificación del pH por el operador. 2.- Práctica de trabajo.

**PROPUESTA DE MEDIDAS DE CONTROL ADICIONALES**

TIPO	DESCRIPCIÓN
Eliminar/Sustituir	No es posible.
Ingeniería	1.- Enlazar los sensores de pH del tanque de preparación para emitir la alarma visual y sonora al detectarse pH por debajo de 11.5 en el tanque y notificación sala de control.
Administración	1.- Procedimiento: introducir al procedimiento de operación las variaciones derivadas de las alarmas. 2.- Entrenamiento: entrenar en el procedimiento y cambios al personal de reactivos (8 personas).
EPP	Normal.
Contingencias	1.- Desarrollo de un Plan General Emergencias del Área considerando intoxicación en este escenario.

**EVALUACIÓN COSTO BENEFICIO**

Riesgo antes de Controles	Consecuencia: Critico	Probabilidad: Poco Probable	Riesgo: Extremo / Nivel 14
Riesgo después del Controles	Consecuencia: Moderado	Probabilidad: Poco Probable	Riesgo: Moderado / Nivel 9

REDUCCIÓN DE PÉRDIDA POTENCIAL: 1.0 MUS \$/ año

**TABLA 4,1 (b): ESCENARIO DE DERRAME DE SOLUCIONES DE CIANURO SOBRE EL PISO DEL SUMIDERO**

Descripción:

- 1.- La solución de cianuro es altamente corrosiva, cualquier pieza de material diferente al acero inoxidable fallará rápidamente.
2. Los sistemas de control de nivel de los tanques son monitoreados continuamente en la estación del operador y en la sala de control. Tienen alarmas de modo de falla que alertarían en caso queden inoperativos. Unido al hecho que el sistema de trabajo es por lotes y que el nivel de los tanques es fácilmente visible por el operador la posibilidad de rebose de un tanque es baja y si sucede sería limitada.
3. En el piso de bombas existe gran cantidad de válvulas de operación manual que están expuestas a ser abiertas o cerradas de manera errónea por falla humana, la consecuencia sería un chorro de solución que puede caer sobre el operador o producir gas cianhídrico en contacto con el piso causando la intoxicación de la persona.



**CONSECUENCIAS**

**CAUSAS**

**MEDIDAS DE CONTROL VIGENTES**

Derrame de solución sobre el piso inferior y sumidero. Posible producción de ácido cianhídrico.

- 1.- Fuga de solución de cianuro por falla en componentes de bombas y tuberías por corrosión.
- 2.- Rebose de los tanques de mezcla o almacenamiento por fallas del control de nivel alto o falla de control de cierre de válvula de ingreso de agua.
- 3.- Rebose del sumidero por falla del control de nivel.
- 4.- Válvulas de 4" de desagüe del tanque de mezcla y almacenamiento quedan abiertas de manera inadvertida.
- 5.- Válvulas de 1.5" de purga de las bombas de transferencia y de distribución quedan abiertas de manera inadvertida.
- 6.-Válvula manual de desagüe del tanque de almacenamiento abierta de forma no intencional.
- 7.- Válvulas manuales de purga de las bombas de distribución abiertas.
- 8.- Válvulas manuales de la línea de distribución cerradas involuntariamente y posible falla de bombas y empaques.

- 1.- Estándar de adquisiciones de accesorios de bombas y líneas.
- 2.1.- Sistema de alarmas en el control de nivel de los tanques.
- 2.2.-Canalización de rebose al sumidero.
- 2.3.-Enclavamientos del sensor de nivel con válvula de ingreso de agua.
- 3 a 8.- Advertencia del operador.

**TABLA 4,1 (b): CONTINUACION**

**PROPUESTA DE MEDIDAS DE CONTROL ADICIONALES**

TIPO	DESCRIPCIÓN
Eliminar/Sustituir	No es posible.
Ingeniería	No adecuado.
Administración	<p>1. Elaboración de un procedimiento que establezca:                      Señalización de las válvulas de acuerdo a su modo de operaciones.                      Sellado de las válvulas que no deben ser abiertas o cerradas de manera regular. Por ejemplo las válvulas de desfogue de los tanques                      Instrucción de este procedimiento al operador.</p> <p>2. Establecer un sistema de inspección de partes nuevas para verificar el material de todas sus piezas.</p> <p>3. Establecer un procedimiento de mantenimiento de pH alto en la zona del piso de bombas y en el líquido remanente en el sumidero, mediante la aplicación de soda cáustica luego de cada limpieza de la zona con mangueras de agua.</p> <p>4. inspección de cumplimiento de estas disposiciones por parte de la supervisión.</p>
EPP	1. Uso de ropa resistente a las salpicaduras de soluciones toxicas.
Contingencias	1.- Desarrollo de un Plan General del Área considerando intoxicación en este escenario.

**EVALUACIÓN COSTO BENEFICIO**

Riesgo antes de Controles	Consecuencia: Moderado	Probabilidad: Probable	Riesgo: Alto / Nivel 13
Riesgo después del Controles	Consecuencia: Moderado	Probabilidad: Poco Probable	Riesgo: Moderado / Nivel 9

REDUCCIÓN DE PÉRDIDA POTENCIAL: 0.9 MUS\$/año

**TABLA 4.1 (c): ESCENARIO DE INTOXICACION POR CONTACTO CON CIANURO DURANTE EL MANTENIMIENTO**

Descripción:

1. El lavado de los equipos con agua no cuenta con una forma de asegurar la limpieza total de los residuos de cianuro.
2. El ingreso a los espacios confinados de equipos que han contenido solución de cianuro de sodio se realiza solo con medio de gases no hay equipos de ventilación forzada.  
Para el ingreso se utiliza EPP de protección de la piel.



CONSECUENCIAS	CAUSAS	MEDIDAS DE CONTROL VIGENTES
Contacto con solución de cianuro de sodio Contacto con restos sólidos de cianuro. Inhalación de ácido cianhídrico. Producción de ácido cianhídrico por calor de soldadura durante trabajos de mantenimiento de línea y bombas.	1.-Limpieza deficiente de los equipos y componentes destinados al mantenimiento.	1.1.- Procedimiento para ingreso a espacios confinados. 1.2.- Lavado de equipos con agua.

**PROPUESTA DE MEDIDAS DE CONTROL ADICIONALES**

TIPO	DESCRIPCIÓN
Eliminar/Sustituir	No adecuado.
Ingeniería	Implementar un equipo de aire forzado.
Administración	Desarrollar un sistema de lavado con solución de peroxido de hidrogeno para se utilizada al preparar equipo para la soldadura o calentamiento a fin de asegurar la destrucción de los residuos de cianuro presenten. Los equipos complejos no deberán ser lavados solo con chorros de agua corriente sino sumergidos en esta solución.
EPP	Protección de nivel B.
Contingencias	Plan general de contingencias.

**EVALUACIÓN COSTO BENEFICIO**

Riesgo antes de Controles	Consecuencia: Mayor	Probabilidad: Poco Probable	Riesgo: Alto / Nivel 13
Riesgo después del Controles	Consecuencia: Moderado	Probabilidad: Poco Probable	Riesgo: Moderado / Nivel 9

REDUCCIÓN DE PÉRDIDA POTENCIAL: 0.9 MUS\$/año

**TABLA 4.1 (d): ESCENARIO DE EMISION DE ACIDO CIANHIDRICO POR INGRESO DE AGUA AL TANQUE DE RETENCION.**

**Descripción:**

1. Los enclavamientos del sensor de nivel y la válvula de ingreso de agua detienen las bombas de transferencia cuando el nivel del tanque de almacenamiento alcanza un nivel alto o cuando la válvula de agua fresca esta abierta.
2. Estas medidas impiden el ingreso de agua o rebalse del tanque.
3. Sin embargo, no existe forma de impedir que el operador active las bombas de transferencia manualmente durante el periodo que el tanque de mezcla esta lleno y su pH no ha sido regulado.
4. Existe la posibilidad de causar una emisión masiva de ácido cianhidrico si esto sucede, la única prevención es la atención que pone el operador a la secuencia de sus acciones.



CONSECUENCIAS	CAUSAS	MEDIDAS DE CONTROL VIGENTES
Paso de agua fresca hacia el tanque de almacenamiento. Posible producción de ácido cianhidrico.	1.-La válvula de ingreso de agua no cierra al pasar liquido entre los tanques de mezcla y almacenamiento. 2.- Operación a destiempo de las bombas de transferencia.	1.- Enclavamientos de sensor de nivel y válvula de ingreso de agua con bombas de transferencia. 2.- Advertencia del operador.

**PROPUESTA DE MEDIDAS DE CONTROL ADICIONALES**

TIPO	DESCRIPCIÓN
Eliminar/Sustituir	No adecuado.
Ingeniería	Implementar un sistema de enclavamiento entre los sensores de pH del tanque de mezcla y la activación de las bombas de transferencia. Asegurando que no se pueda transferir liquido a un pH menor que 11.5.
Administración	
EPP	
Contingencias	Plan general de contingencias.

**EVALUACIÓN COSTO BENEFICIO**

Riesgo antes de Controles	Consecuencia: Mayor	Probabilidad: Poco Probable	Riesgo: Alto / Nivel 13
Riesgo después del Controles	Consecuencia: Bajo	Probabilidad: Raro	Riesgo: Menor / Nivel 1

REDUCCION DE PERDIDA POTENCIAL: 1 MUSS/año

**TABLA 4,1 (e): ESCENARIO DE LESIONES Y DERRAMES POR CAIDA DE UN CONTENEDOR DE CIANURO DURANTE SU DESCARGA.**

Descripción:

- 1 Durante el izaje y colocación de los contenedores de cianuro pueden ocurrir eventos no deseados como la volcadura de la grúa rotura de accesorios de izaje y golpes por balanceo.
- 2 En general, los riesgos son similares a los de cualquier operación similar, lo que aumenta el nivel es la naturaleza de la carga.
- 3 Existen controles aislados, pero dada la seriedad de los danos probables se deben juntar todos en un solo procedimiento específico para esta tarea, indicando la responsabilidad de los involucrados e indicando claramente lo que se requiere hacer.



CONSECUENCIAS	CAUSAS	MEDIDAS DE CONTROL VIGENTES
1. Impacto y/o caída del contenedor 20 t que cause: 2. - Atrapamiento de persona. 3. - Rotura de contenedor. 4. - Derrame de cianuro.	1.- Balanceo no controlado del contenedor durante el izaje. 2.- Rotura de los accesorios de izaje.	1.-Uso de vientos para el control de la carga. 2.- Inspección de elementos de izaje.

**PROPUESTA DE MEDIDAS DE CONTROL ADICIONALES**

TIPO	DESCRIPCIÓN
Eliminar/Sustituir	No adecuado.
Ingeniería	
Administración	Elaboración e implementación de un procedimiento específico para la descarga de contenedores con grúas.
EPP	
Contingencias	

**EVALUACIÓN COSTO BENEFICIO**

Riesgo antes de Controles	Consecuencia: Mayor	Probabilidad: Raro	Riesgo antes de Controles: Alto / Nivel 11
Riesgo después del Controles	Consecuencia: Mayor	Probabilidad: Raro	Riesgo después del Controles: Alto / 11

**REDUCCIÓN DE PÉRDIDA POTENCIAL:** no aplicable.

**TABLA 4,1 (H): ESCENARIO DE ATROPELLO DE PERSONAS Y CAIDA DEL CAJAS CON EL MONTACARGAS.**

**Descripción:**

- 1.- Existen controles aislados, se deben juntar en el procedimiento, indicando la responsabilidad de los involucrados e indicando claramente lo que se requiere hacer.
- 2.- Sin llegar a ser una barrera dura, se deben implementar controles adecuados para incrementar la posibilidad que el operador se de cuenta que existe una persona en el área, así como medios de alerta al peatón.



CONSECUENCIAS	CAUSAS	MEDIDAS DE CONTROL VIGENTES
Atropello de persona con el montacargas.	1.- Falta de atención del operador.	1.-Entrenamiento del operador de montacargas.

**PROPUESTA DE MEDIDAS DE CONTROL ADICIONALES**

TIPO	DESCRIPCIÓN
Eliminar/Sustituir	No adecuado.
Ingeniería	Implementar alarma de retroceso en el montacargas. Implementar espejos convexos para aumentar la visibilidad del operador en toda el área de operación del montacargas.
Administración	Incluir la operación del montacargas en el procedimiento de operación. Establecer un programa de certificación periódica de la capacidad del operador de montacargas.
EPP	
Contingencias	

**EVALUACIÓN COSTO BENEFICIO**

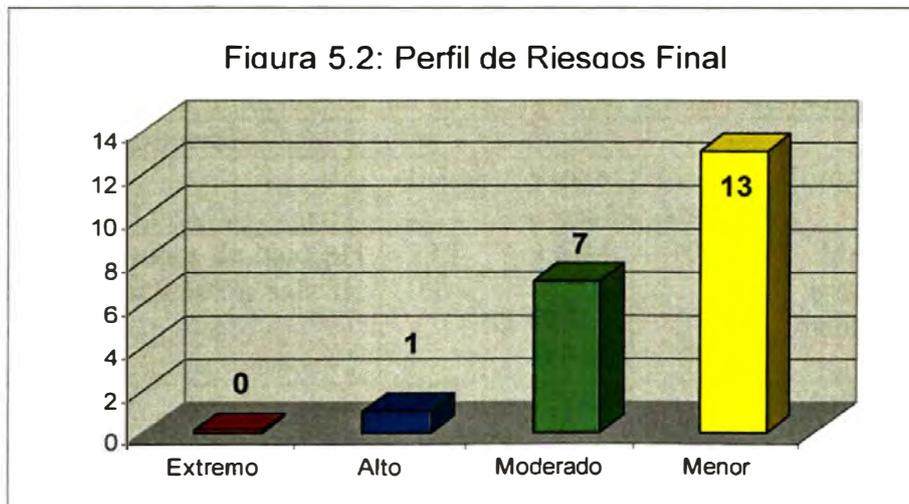
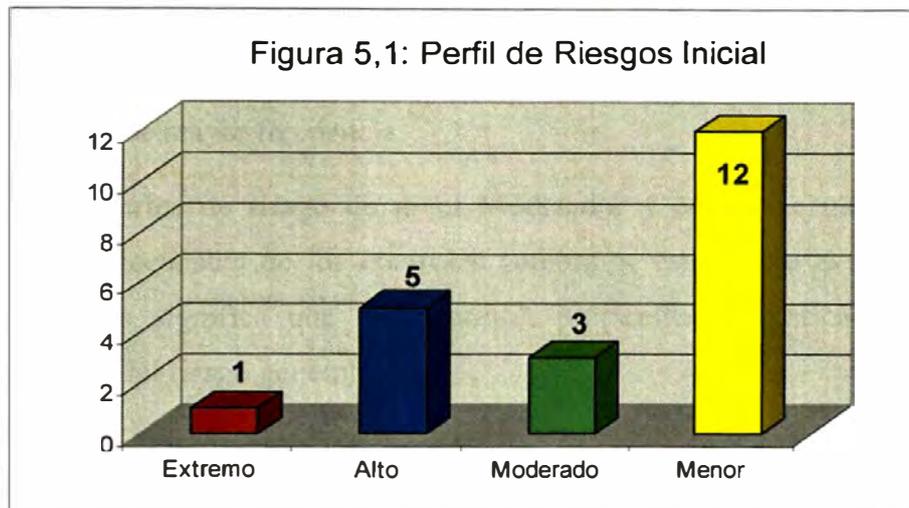
Riesgo antes de Controles	Consecuencia: Mayor	Probabilidad: Raro	Riesgo: Alto / Nivel 11
Riesgo después del Controles	Consecuencia: Moderado	Probabilidad: Raro	Riesgo: Moderado / Nivel 8

**REDUCCIÓN DE PÉRDIDA POTENCIAL: 300,000 US\$/año**

## 5. Conclusiones y Recomendaciones

### 5.1. Modificación del Perfil de Riesgos

La implementación de los controles propuestos lleva a la modificación del perfil de riesgos mostrada a continuación:



La transformación del perfil es consistente con la filosofía del control de los riesgos:

- El riesgo de nivel extremo ha sido controlado, requiriendo acciones de control inmediatas.
- En los riesgo de nivel alto se logra minimizar en 80% de acuerdo con la clasificación ALARP, que indica controlarlos todo lo que sea posible. Sobre el escenario que queda con nivel alto se implementarían las acciones de control de mayor frecuencia.
- Los escenarios de riesgo de nivel Moderador y Menor se incrementan como consecuencia de los controles anteriores, este efecto es lo que se desea pues significa que los controles propuestos son eficaces en la reducción del riesgo general.

## 5.2. Programa de Implementación

En la tabla 5,1 se muestra el programa de implementación de controles de acuerdo al análisis realizado.

Tabla 5,1: Programa de Implementación de Medidas de Control Adicionales				
(a) Controles de Ingeniería				
Medida de Control	Plazo	Costo Inicial	Costo Anual	Componentes del Costo
Alarma visual y sonora de bajo pH en el tanque y notificación sala de control.	15 días	1 500	100	Materiales, instalación y mantenimiento anual.
Implementar un sistema de enclavamiento entre los sensores de pH del tanque de mezcla y la activación de las bombas de transferencia, asegurando que no se pueda transferir líquido a un pH menor que 11.5.	15 días	50		Modificación y prueba de programa de control.
Implementar alarma de retroceso en el montacargas.	15 días	100		Compra e instalación.
Implementar espejos convexos para aumentar la visibilidad del operador en toda el área de operación del montacargas.	30 días	200		Compra e instalación.

Tabla 5,1 (b): Medidas de control administrativas

Medida de Control	Plazo	Costo Inicial	Costo Anual	Componentes del Costo
<p>Modificar el procedimiento de operación para incluir:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Las variaciones derivadas de las alarmas.</li> <li>Incluir la operación del montacargas en el procedimiento de operación.</li> <li>El mantenimiento de pH alto en la zona del piso de bombas y en el líquido remanente en el sumidero, mediante la aplicación de soda cáustica luego de cada limpieza de la zona con mangueras de agua.</li> </ul>	30 días	300	300	Tiempo de supervisor en elaboración y revisión del procedimiento. Consumo de soda cáustica.
<p>Elaboración de un procedimiento que establezca:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Señalización de las válvulas de acuerdo a su modo de operaciones.</li> <li>Sellado de las válvulas que no deben ser abiertas o cerradas de manera regular. Por ejemplo las válvulas de desfogue de los tanques.</li> </ul>	30 días	150	40	Tiempo de supervisor en elaboración y revisión del procedimiento. Revisión y mantenimiento de etiquetas.
<p>Desarrollar un sistema de lavado con solución de peróxido de hidrogeno para se utilizada al preparar equipo para la soldadura o calentamiento a fin de asegurar la destrucción de los residuos de cianuro presenten. Los equipos complejos no deberán ser lavados solo con chorros de agua corriente sino sumergidos en esta solución.</p>	60 días	100	200	Tina de lavado y pruebas.  Consumo de peróxido de hidrógeno.
<p>Elaboración e implementación de un procedimiento específico para la descarga de contenedores.</p>	30 días	100	40	Tiempo de supervisor en elaboración y revisión del procedimiento.

Tabla 5.1 (b): Medidas de control administrativas (Continuación)

Medida de Control	Plazo	Costo Inicial	Costo Anual	Componentes del Costo
Entrenamiento: entrenar en los cambios y nuevos procedimientos al personal de reactivos (8 personas).	60 días		40	Tiempo de entrenamiento (8 horas anuales).
Establecer un sistema de observación planeadas de tareas e inspecciones planeadas para verificar la efectividad de estas medidas.	60 días		960	(2 horas de supervisión semanales)
Establecer un sistema de inspección de partes nuevas para verificar el material de todas sus piezas.	60 días		50	5 horas de supervisión al año.
Establecer un programa de certificación periódica de la capacidad del operador de montacargas.	60 días		240	12 horas de entrenamiento de 4 operadores al año.

Tabla 5.1 (c): Equipo de Protección Personal

Medida de Control	Plazo	Costo Inicial	Costo Anual	Componentes del Costo
Implementar un equipo de aire forzado para trabajos de mantenimiento en el interior de un tanque.	30 días	5 000	100	Compra y mantenimiento anual.
El resto de equipo de protección requerido es actualmente parte de los costos generales de la concentradora.				

Tabla 5.1 (d): Plan de Contingencias

Medida de Control	Plazo	Costo Inicial	Costo Anual	Componentes del Costo
Desarrollar un plan de contingencias específico del área que considere: Posibilidad de intoxicación por cianuro líquido o ácido cianhídrico. Atención de víctimas de lesiones. Derrame de solución.	60 días	400	40	1 semana para elaboración del plan. Un día de revisión anual.
Entrenamiento a brigadas y simulacros anuales.			960	12 horas a 16 brigadistas y 12 horas para 3 simulacros.

El hecho de afirmar que se ha modificado el perfil de riesgos de esta operación y se ha hecho aceptable, no quiere decir que ahí finaliza el trabajo. La implementación, mantenimiento y mejora de este plan de control de riesgos a lo largo del tiempo de vida de la operación es lo único que garantiza que no se perderá el control de los riesgos involucrados.

### 5.3. Evaluación Costo/Beneficio

El costo general de la implementación de las medidas de control propuestas se resume en la siguiente tabla:

	Costo Inicial (US\$)	Costo Anual (US\$)	Costo Total en base a 30 años de operación (US\$)
Implementación de Medidas de Control.	7 900	3 070	100 000

El beneficio obtenido se puede expresar en la reducción de las pérdidas posibles en caso de producirse los accidentes esperados. La expresión positiva de esta cantidad se puede llamar incremento de la protección.

	Reducción de la Probabilidad de Pérdida económica	Protección en base a 30 años de operación (US\$)
Incremento de Protección por reducción del riesgo.	5'000,000 US\$/año	US\$ 150 000 000

#### 5.4. Conclusiones Generales

- El proceso clave del análisis de riesgo es el desarrollo y mejora de las medidas de control, esto permite la modificación de un perfil de riesgos a una condición aceptable y mantenerlo así.
- Cada organización debe establecer los niveles con los que va a cuantificar los parámetros de consecuencia y probabilidad. Asimismo, el proceso de cuantificarlos se realiza en base a la experiencia y conocimiento de los integrantes de la organización. Por lo tanto, cada análisis de riesgos es diferente a cualquier otro, aún tratándose de procesos e instalaciones similares, y esto es porque cada organización define sus niveles de tolerancia frente al riesgo.
- Los controles de ingeniería son modificaciones de diseño y control del proceso. El mejor momento para realizar un análisis de riesgo es durante el diseño, pues en esta fase de un proyecto es posible establecer los controles de ingeniería que se requieran e incluirlos dentro de la factibilidad del mismo, teniendo la posibilidad de tener una planta “intrínsecamente segura”.
- Los controles administrativos son los que se aplican con mayor frecuencia, en el análisis presentado se aplicaron 8 medidas administrativas frente a 4 de ingeniería. El mejor momento para desarrollarlos es antes del arranque por las personas que van a operar la planta como medio de aprendizaje del proceso y sensibilización hacia la seguridad.
- En el ejercicio profesional con ingeniero de seguridad, la labor más difícil es convencer a las personas que se necesitan estas medidas de control. Normalmente existe la sensación de no estar en riesgo, por ello es importante las habilidades del profesional de seguridad para sensibilizar a las personas en la necesidad de prevenir accidentes.
- Todo el trabajo de prevención no será tomado en cuenta por la organización sino existe una política de protección de las personas, la propiedad y el medio ambiente: liderado por la gerencia o las personas de

más alta jerarquía que inspiren a sus trabajadores para alcanzar altos resultados en la gestión de riesgos.

- Sin embargo, debe haber un equilibrio entre la inversión en medidas de prevención y los beneficios que puede reportar. En estos casos es necesario estimar en base al riesgo evaluado la posibilidad de pérdidas que en el caso materia del informe ascienden a 150 millones de dólares que frente a los 100 000 dólares del costo de implementación y mantenimiento de las medidas de control se justifican económicamente.
- Estos estimados se refieren sólo al costo directo de las posibles pérdidas, no reflejan otros conceptos tan importantes como:
  - Costo emocional y moral del personal de producirse pérdida de vidas humanas.
  - Costo de multas del gobierno en caso de accidente de importancia.
  - Elevación de primas de seguro.
  - Pérdida de imagen interna y externa de la compañía.
  - Interrupción de las operaciones para investigación del accidente.
  - El costo de la implementación de las medidas de control aquí propuestas y tal vez otras más caras, pues un accidente eleva tremendamente la percepción del riesgo.

### **5.5. Recomendaciones**

- Es necesario introducir los conceptos de gestión de riesgos en la formación de los ingenieros químicos y profesionales de ingeniería en general, a fin que los apliquen desde la fase del diseño y durante su actividad profesional.
- Es recomendable incrementar el conocimiento formal de los principios de seguridad en los procesos químicos, campo en cual el profesional de ingeniería química tiene posibilidades de desarrollo en nuestro país.
- Existen varios sistemas comerciales de gestión de riesgos, que se implantan en muchas partes del mundo y gozan de gran popularidad. Sin embargo, la primera fase para la creación o adopción de un sistema de este

tipo pasa por conocer la realidad de la propia organización, y para esto se aplica la herramienta del análisis de riesgos con la cual, como se puede apreciar en el presente trabajo, se determinan los riesgos propios y los controles posibles y adecuados para cada caso. Es recomendable evitar la simple importación de modelos externos sin validar su aplicabilidad mediante un análisis de riesgos propio.

- El objetivo de una organización debe ser el armonizar todos los factores que conforman un sistema de gestión de riesgos, tales como las políticas, estándares, estrategias, instalaciones, el entorno y sobre todo, las personas que conforman esta organización, a fin de lograr una organización eficiente, productiva, segura, respetuosa del medio ambiente y de su comunidad interna y externa.

## **6. BIBLIOGRAFÍA**

- a) Crowl, D. / Louvar, J. Chemical Process Safety: Fundamental with Applications. Primera edición. Editorial Prentice Hall. 1990.
- b) Reason, James. Managing the Risks of Organizational Accidents. Primera edición. Editorial Ashgate. 1997.
- c) Hyatt, Nigel. Guidelines for Process Hazard Analysis, Hazard Identification and Risk Analysis. Primera edición. Editorial Dyadem Press. 2003.
- d) Logsdon, M./Hagelstein, K./Mudder, T. El Manejo del Cianuro en la Extracción de Oro. Editado por The International Council on Metals and the Environment. 2001.
- e) Ministerio de Energía y Minas del Perú. Guía Ambiental para el Manejo del Cianuro. 1995.

# **INFORME DE INGENIERIA**

**“ANALISIS DE RIESGOS EN LA PREPARACION DE SOLUCIONES DE  
CIANURO DE SODIO EN LA COMPAÑÍA MINERA ANTAMINA”**

## **ANEXO 1**

**IDENTIFICACION DE PELIGROS EN LAS ACTIVIDADES**

# **INFORME DE INGENIERIA**

**“ANALISIS DE RIESGOS EN LA PREPARACION DE SOLUCIONES DE  
CIANURO DE SODIO EN LA COMPAÑÍA MINERA ANTAMINA”**

## **ANEXO 2**

**IDENTIFICACION DE PELIGROS EN EL PROCESO**

# **INFORME DE INGENIERIA**

**“ANALISIS DE RIESGOS EN LA PREPARACION DE SOLUCIONES DE  
CIANURO DE SODIO EN LA COMPAÑÍA MINERA ANTAMINA”**

## **ANEXO 3**

**TABLAS DE EVALUACION DE RIESGOS**

**ANEXO 1 : IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS EN ACTIVIDADES**

N°	Tarea	Energía	Herramientas o Equipos	Consecuencias	Causas	Medidas de control Presentes
1	Descarga de los contenedores desde los camiones de transporte	Mecánica Química Gravedad	Camiones Grúa Accesorios de izaje (Eslingas, estrobos, grilletes).	Golpe del contenedor, con caída de cajas y derrame de cianuro.	Balanceo no controlado del contenedor durante el izaje.	Uso de vientos para el control de la carga.
				Atrapamiento / golpe a personas.	Balanceo no controlado del contenedor durante el izaje. Falla de los elementos de izaje.	Uso de vientos Inspección de elementos de izaje
				Caída del contenedor con rotura del mismo y derrame de cianuro.	Falla de los elementos de izaje.	Inspección de elementos de izaje
2	Descarga de las cajas y traslado hacia el edificio de preparación	Mecánica Química Gravedad	Montacargas	Perforación del envase de cianuro al momento de cargar. Derrame de material	Falta de atención del operador.	Entrenamiento del operador de equipo
				Caída de caja de cianuro. Rotura y derrame.	Deficiente maniobra.	
				Atropello de persona	Falta de atención del operador.	
3	Preparación de la solución	Química Gravedad Mecánica	Tolva y tanque de preparación	Contacto con cianuro de sodio sólido.	Deficiente práctica de manipulación.	Equipo de Protección Personal
				Inhalación de polvo de cianuro de sodio.	No uso de respirador.	
				Contacto con la solución de cianuro de sodio.	No uso de protección facial o corporal.	
				Liberación de ácido cianhídrico desde el tanque de mezcla.	pH bajo 11.5 en el agua destinada a la mezcla.	
		Grúa puente	Golpe de la caja contra objeto fijo. Rotura y derrame del material.	Deficiente operación de la grúa.	Entrenamiento del operador de grúa.	
			Caída de la bolsa. Rotura y derrame del material.	Deficiente operación de la grúa.		
Caída de la bolsa. Atrapamiento de persona	Deficiente operación de la grúa.					
4	Transferencia de solución mediante bombas centrífugas.	Eléctrica	Controles manuales. Botoneras, conexiones.	Corto circuito, contacto con energía eléctrica.	Equipos dañados o defectuosos.	Mantenimiento preventivo
		Hidráulica	Bombas centrífugas	Derrame de solución sobre el piso inferior y sumidero con presencia de agua a pH neutro. Producción de ácido cianhídrico.	Falla en componentes de bombas y tuberías por corrosión.	Estándar de adquisiciones.
		Química	Solución de cianuro de sodio			Monitoreo de gas / evacuación
5	Limpieza del área de bombas	Química	Solución de cianuro de sodio	Producción de ácido cianhídrico al aplicar agua al piso de bombas.	pH del sumidero baja al aplicar agua de limpieza.	Monitoreo de gas / evacuación
6	Mantenimiento de líneas y bombas	Química	Solución de cianuro de sodio	Contacto con solución de cianuro de sodio / producción de ácido cianhídrico.	Presencia significativa de restos de compuestos de cianuro.	Monitoreo de gas
7	Limpieza y mantenimiento interno de tanques de mezcla y retención	Química	Espacio Confinado	Contacto con solución de cianuro de sodio. Contacto con restos sólidos de cianuro. Inhalación de ácido cianhídrico.	Presencia significativa de restos de compuestos de cianuro.	Lavado con agua. Monitoreo de gas.

**ANEXO 3: EVALUACION DE RIESGOS**

N°	Etapa del Proceso	Consecuencia	Causas	Medidas de Control Existentes	Nivel de Probabilidad	Nivel de Consecuencia	Nivel de Riesgo	Exposición a Pérdidas Monetaria (US\$/año)	Control Adicional
1	Preparación de la solución.	Derroche de NaOH por falla en exceso del operador.	1.- Exceso de NaOH sólido a ser disuelto.	Procedimiento de operación.	P1	C1	1	333	No
2	Descarga de las cajas y traslado hacia el edificio de preparación	Perforación o caída de la caja de cianuro: - Derrame de cianuro limitado.	1.- Deficiente maniobra del operador del montacargas.	1.-Entrenamiento del operador de montacargas.	P2	C1	2	1,000	No
3	Transferencia de solución mediante bombas centrífugas.	Corto circuito, contacto con energía eléctrica.	1.- Equipos dañados o defectuosos.	1.- Mantenimiento preventivo	P1	C2	3	3,333	No
4	Preparación de la solución.	Baja eficiencia de disolución de cianuro por falta de agitación.	1.- Falla en el motor del agitador o deterioro físico del mismo.	1.1.-Sistema de control. 1.2.-Advertencia visual.	P1	C2	3	3,333	No
5	Preparación de la solución.	Derroche de reactivo o baja recuperación por falla del operador en adición de NaCN.	1.- Exceso o defecto de NaCN sólido a ser disuelto.	Procedimiento de operación.	P1	C2	3	3,333	No
6	Transferencia de solución mediante bombas centrífugas.	Daño a la bomba de transferencia por bajo nivel del tanque de mezcla.	1.- Falla del sistema de control de la bomba y nivel del tanque.	Alarma en la bomba por recalentamiento. Procedimiento de operación.	P1	C2	3	3,333	No
7	Preparación de la solución.	Falla en el suministro de solución a la operación por falla en la programación de preparación o transferencia.	1.- Preparación a destiempo de la solución de cianuro.	Alarma de bajo nivel en el tanque.Advertencia del operador.	P1	C2	3	3,333	No
8	Distribución de solución cianurada desde el tanque de almacén al circuito cerrado de distribución.	Baja eficiencia en el proceso por defecto de solución de cianuro debido a falla de potencia en las bombas de distribución.	1.- Falla en el control de la bombas y lazo de distribución.	Sistema de control de presión.	P1	C2	3	3,333	No
9	Preparación de la solución	Contacto de la persona con cianuro sólido o en solución durante la preparación normal.	1.- No uso de Equipo de Protección Personal requerido.	1.- Control de uso de EPP.	P2	C2	5	10,000	No
10	Tanque sumidero.	Pérdida de reactivos al enviar la solución a la presa de relaves por error en manipulación de válvulas manuales.	1.- Válvulas manuales abiertas de manera no intencional.	Advertencia del operador.	P2	C2	5	10,000	No
11	Distribución de solución cianurada desde el tanque de almacén al circuito cerrado de distribución.	Daño a las bombas o línea de distribución por válvulas manuales de sistema de control cerradas.	1.- Válvulas manuales de la línea de distribución cerradas de manera no intencional.	Control de presión de la línea de retorno.	P2	C2	5	10,000	No
12	Distribución de solución cianurada desde el tanque de almacén al circuito cerrado de distribución.	Derrame de solución tóxica en zonas no preparadas de la planta por falla en la tubería en algún punto del circuito.	1.- Falla de empaques de bridas en alguna parte del circuito.	Sistema de control de presión.	P2	C2	5	10,000	No
13	Almacenamiento de solución cianurada para distribución.	Daño estructural al tanque por succión o presión acumulada debido a línea de venteo obstruida.	1.- Obstrucción no advertida en el venteo del tanque de almacenamiento.	Inspección y mantenimiento.	P1	C3	8	33,333	No
14	Preparación de la solución	Impacto y/o caída de la bolsa 1 ton que cause: - Atrapamiento de persona. - Rotura de contenedor. - Derrame de cianuro.	1.- Deficiente operación de la grúa puente.	1.- Entrenamiento del operador de grúa puente.	P2	C3	9	100,000	No

**ANEXO 3: EVALUACION DE RIESGOS**

15	Almacenamiento de solución cianurada para distribución.	Derrame de solución rebose o derrame de solución desde el tanque de almacenamiento.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.- Falla en sistema de control de nivel alto.</li> <li>2.-Válvula manual de desague del tanque de almacenamiento abierta de forma no intencional.</li> <li>3.- Válvulas manuales de purga de las bombas abiertas.</li> <li>4.- Válvulas manuales de la línea de distribución cerradas involuntariamente y posible falla de bombas y empaques.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.-Alarmas del sistema de control.</li> <li>2.- Advertencia del operador.</li> <li>3.- Advertencia del operador.</li> <li>4.- Advertencia del operador.</li> </ol>	P4	C3	9	100,000	Procedimiento
16	Descarga del contenedor con grúa.	Impacto y/o caída del contenedor 20 ton que cause: - Atrapamiento de persona. - Rotura de contenedor. - Derrame de cianuro.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.- Balanceo no controlado del contenedor durante el izaje.</li> <li>2.- Rotura de los accesorios de izaje.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.-Uso de vientos para el control de la carga.</li> <li>2.- Inspección de elementos de izaje.</li> </ol>	P1	C4	11	333,333	Procedimiento
17	Descarga de las cajas y traslado hacia el edificio de preparación	Atropello de persona con el montacargas.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.- Falta de atención del operador.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.-Entrenamiento del operador de montacargas.</li> </ol>	P1	C4	11	333,333	Procedimiento
18	Preparación de la solución Transferencia de solución mediante bombas centrífugas. Distribución de solución cianurada desde el tanque de almacén al circuito cerrado de distribución. Limpieza del tanque.	Derrame de solución sobre el piso inferior y sumidero. Posible producción de ácido cianhídrico.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.- Fuga de solución de cianuro por falla en componentes de bombas y tuberías por corrosión.</li> <li>2.- Rebose de los tanques de mezcla o almacenamiento por fallas del control de nivel alto o falla de control de cierre de válvula de ingreso de agua.</li> <li>3.- Rebose del sumidero por falla del control de nivel.</li> <li>4.- Válvulas de 4" de desague del tanque de mezcla y almacenamiento quedan abiertas de manera inadvertida.</li> <li>5.- Válvulas de 1.5" de purga de las bombas de transferencia y de distribución quedan abiertas de manera inadvertida.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.- Estándar de adquisiciones de accesorios de bombas y líneas.</li> <li>2.1.- Sistema de alarmas en el control de nivel de los tanques.</li> <li>2.2.-Canalización de rebose al sumidero.</li> <li>2.3.-Enclavamientos del sensor de nivel con válvula de ingreso de agua.</li> <li>3.- Advertencia del operador.</li> <li>4.- Advertencia del operador.</li> <li>5.- Advertencia del operador.</li> </ol>	P4	C3	13	1,000,000	Procedimiento
19	Mantenimiento de líneas y bombas. Limpieza y mantenimiento interno de tanques de mezcla y retención.	Contacto con solución de cianuro de sodio Contacto con restos sólidos de cianuro. Inhalación de ácido cianhídrico. Producción de ácido cianhídrico por calor de soldadura durante trabajos de mantenimiento de línea y bombas.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.-Limpieza deficiente de los equipos y componentes destinados al mantenimiento.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.1.- Procedimiento para ingreso a espacios confinados.</li> <li>1.2.- Lavado de equipos con agua.</li> </ol>	P2	C4	13	1,000,000	Procedimiento
20	Transferencia de solución mediante bombas centrífugas.	Paso de agua fresca hacia el tanque de almacenamiento. Posible producción de ácido cianhídrico.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.-La válvula de ingreso de agua no cierra al pasar líquido entre los tanques de mezcla y almacenamiento.</li> <li>2.- Operación a destiempo de las bombas de transferencia.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.- Enclavamientos de sensor de nivel y válvula de ingreso de agua con bombas de transferencia.</li> <li>2.- Advertencia del operador.</li> </ol>	P2	C4	13	1,000,000	Ingeniería
21	Preparación de la solución	Liberación de Cianuro de Sodio desde el tanque de mezcla.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.- pH bajo 11.5 en el agua destinada a la mezcla por falla del operador durante la regulación.</li> <li>2.- Falla del ingreso de aire por el sistema de venteo.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.1.-Añadir soda cáustica.</li> <li>1.2.-Verificación del pH por el operador.</li> <li>2.- Práctica de trabajo.</li> </ol>	P2	C5	14	2,000,000	Ingeniería Procedimiento

**ANEXO 2: IDENTIFICACION DE PELIGROS DEL PROCESO**

**Volumen de Control N° 1**

**Intención de diseño: Mezclado de Solución de Cianuro de Sodio**

DESCRIPCION	PARAMETROS	DESVIACIONES	CONSECUENCIAS	CAUSAS	CONTROLES EXISTENTES
<b>EQUIPOS</b>  Tanque 50 m3 capacidad neta de almacenamiento. Dimensiones: 3.9 m diámetro por 4.9 m altura.  Agitador 3.7 KW  Venteo 500 m3/h	Nivel del Tanque.  (Alto / Bajo)	Alto nivel de solución.	Derrame de solución sobre el piso inferior y sumidero con presencia de agua a pH neutro. Producción de ácido cianhídrico.	Ingreso excesivo de agua.	Canalización del derrame por línea de rebalse.
	Agitación  (On/Off)	Agitador apagado.	Baja eficiencia de disolución de cianuro.	Falla del motor del agitador. Deterioro del agitador.	Sistema de control.  Advertencia visual.
	pH	Menor a 11.5	Liberación de ácido cianhidrico desde el tanque de mezcla.	Falla del operador al regular pH del agua.	Monitor de pH.  Advertencia del sistema de control.
	Operación del venteo.  (On / Off)	Venteo apagado.	Liberación de ácido cianhidrico desde el tanque de mezcla.	Falla de ingreso de aire.	Procedimiento de operación.
<b>INGRESO / SALIDA</b>  Línea 4" de ingreso de agua de proceso.  Línea 6" de salida de rebalses. Línea 4" de desagüe. Tolva de ingreso de sólidos (NaCN / NaOH). Línea 1" de ingreso de aire de planta al venteo  Línea 1" de salida de aire contaminado. Línea 6" de transferencia de solución.	Flujo de ingreso de agua.  (Abierto / cerrado)	Ingreso no deseado de agua al tanque.	Derrame de solución sobre el piso inferior y sumidero con presencia de agua a Ph neutro. Producción de ácido cianhídrico.  Paso de líquido de pH bajo, al tanque de almacenamiento.	Falla de control de cierre de válvula de ingreso de agua.	Enclavamientos con sensor de nivel con válvula de ingreso de agua.
	Flujo de transferencia de solución.  (Abierto / cerrado)	Salida no deseado del líquido del tanque almacenamiento.	Paso de líquido a pH bajo al tanque de almacenamiento.	Falla del operador: operación a destiempo de bomba de transferencia.	Advertencia del operador.
	Flujos de rebalse.  (Abierto / cerrado)	Salida no deseado.  Válvula Cerrada	Derrame de solución sobre el piso inferior y sumidero con presencia de agua a pH neutro. Producción de ácido cianhídrico.  Derrame de solución sobre el piso inferior y sumidero con presencia de agua a pH neutro. Producción de ácido cianhídrico.	Falla del control de alto nivel del tanque.	Canalización al sumidero.  Advertencia del operador.
	Flujo de desagüe.  (Abierto / cerrado)	Salida no deseado.	Derrame de solución sobre el piso inferior y sumidero con presencia de agua a pH neutro. Producción de ácido cianhídrico.	Válvula abierta.	Canalización al sumidero.  Advertencia del operador.
<b>INSTRUMENTACION</b>  Sensor de pH. Sensor de nivel. Control del motor del agitador. Alarma. Válvula de control de ingreso de agua.	Ingreso de NaCN sólido en tolva.  <b>Por lotes</b>	Exceso  Defecto	Derroche de reactivo.  Baja recuperación.	Falla de operador en el procedimiento de trabajo.	Advertencia del operador.
	Ingreso de NaOH sólido en tolva.  POR LOTES	Exceso  Defecto	Derroche de reactivo.  Liberación de ácido cianhidrico desde el tanque de mezcla.	Falla del operador al regular Ph del agua.	Advertencia del operador.

**ANEXO 2: IDENTIFICACION DE PELIGROS DEL PROCESO**

**Volumen de Control N° 2**

**Intención de diseño: Transferencia de solución cianurada desde el tanque de mezcla al tanque de almacén.**

DESCRIPCION	PARAMETROS	DESVIACIONES	CONSECUENCIAS	CAUSAS	CONTROLES EXISTENTES
EQUIPOS  Motor 3.7 KW  Venteo 500 m3/h a 9.5 m de cabeza dinámica.	Flujo solución.	Flujo bajo	Daño a la bomba.	Falla del sistema de control de bajo nivel del tanque de mezcla.  Falla de advertencia del operador: Deficiente operación de las válvulas manuales.	Alarma en la bomba por recalentamiento.  Procedimiento de operación.
		Fuga de solución	Derrame de solución sobre el piso inferior y sumidero con presencia de agua a Ph neutro. Producción de ácido cianhídrico.	Falla de advertencia del operador: deficiente control de presiones. Válvulas manuales de purga abiertas.	Advertencia del operador.
INGRESO / SALIDA Línea 6" de ingreso de solución cianurada. Línea 4" salida de solución. Válvulas de purga de 1.5" en la succión y descarga de la bomba.	Presión de descarga.	Presión excesiva.	Daño a empaque de bridas y fuga de solución sobre el piso del sumidero.	Falta de advertencia del operador: deficiente control de las presiones.	Advertencia de operador.
INSTRUMENTACION  Sensor de Presión a la descarga. Control del motor de la bomba.	pH de la solución.	Menor a 11.5.	Disminución del pH del contenido del tanque de almacenamiento con la liberación de HCN.	Falla del operador: operación a destiempo de bomba de transferencia.	Interlock para evitar el funcionamiento de la bomba mientras ingrese agua al tanque.

**Volumen de Control N° 3**

**Intención de diseño: Sumidero, recuperación o evacuación de posibles derrames.**

DESCRIPCION	PARAMETROS CRITICOS	DESVIACIONES CRITICAS	CONSECUENCIAS	CAUSAS	CONTROLES EXISTENTES
EQUIPOS  Motor 3.7 KW Venteo 23 m3/h a 5 m de cabeza dinámica.	Ph del líquido.	Ph menor de 11.5	Emisión de HCN.	Agua de mangueras o rebalse de solución a bajo pH.	No hay.
INGRESO / SALIDA  Línea 2" salida de solución.	Flujo de líquido.	Manipulación incorrecta de las válvulas de derivación de la descarga de bomba sumidero.	Pérdida de reactivos al enviar la solución a la presa de relaves.	Falla de advertencia del operador: Válvulas manuales abiertas.	Advertencia del operador.
INSTRUMENTACION  Sensor de Nivel.	Nivel del tanque sumidero.	Nivel alto.	Derrame de solución sobre el piso inferior y sumidero con presencia de agua a Ph neutro. Producción de ácido cianhídrico.	Falla en sistema de control de nivel.	Sistema de control. Alarmas a sala de control. Advertencia del operador.

0390-DCB-057  
VENTEO DEL TANQUE DE MEZCLA  
tipo bolsa con agitador de bolsa  
2.2 kW

0390-TKS-057  
TANQUE DE MEZCLA  
3.9 m dia x 4.9 m alto. 50 m<sup>3</sup> cap.  
techo cerrado y fondo plano

0390-AGA-057  
AGITADOR DE L TANQUE DE MEZCLA  
1.27 m. diametro doble helice  
15 kW

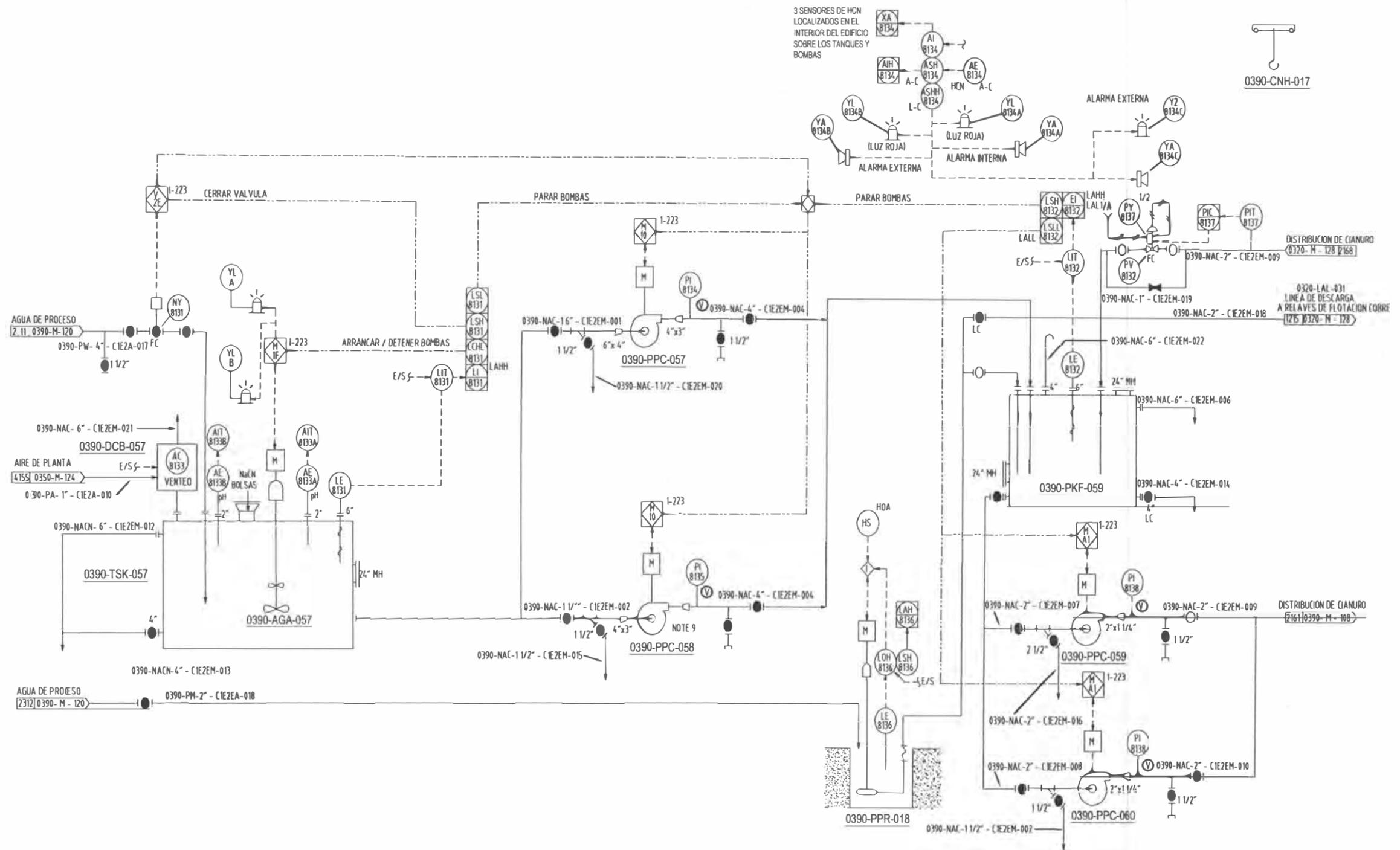
0390-PPC-057 y 058  
BOMBAS DE TRANSFERENCIA  
50 m<sup>3</sup>/h a 9.5 m TH  
1 OPERATIVA - 1 EN STAND BY  
3.7 kW

0390-PPR-018  
BOMBA SUMADERO  
23 m<sup>3</sup>/h a 5m TH  
3.7 kW

0390-TKF-059  
TANQUE DE ALMACENAMIENTO  
4.7m dia x 4.9 m high 73 m<sup>3</sup> cap.  
techo cerrado y fondo plano

0390-PPC-059 AND 060  
BOMBAS DE DISTRIBUCION  
6.5 m<sup>3</sup>/h a 4.0 m TH  
1 OPERATIVA - 1 EN STAND BY  
3.7 kW

0390-CNH-017  
GRUA DE SERVICIO  
2 ton - monorail x 6.5 m recorrido  
tipo eléctrico



ANTAMINA  
MEZCLA, TRANSFERENCIA Y DISTRIBUCION DE CIANURO DE SODIO EN SOLUCION  
DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION (P&ID)  
DIAGRAMA 0390-M-107

0390-DCB-057  
VENTEO DEL TANQUE DE MEZCLA  
tipo bolsa con agitador de bolsa  
2.2 kW

0390-TKS-057  
TANQUE DE MEZCLA  
3.9 m dia x 4.9 m alto. 50 m3 cap.  
techo cerrado y fondo plano

0390-AGA-057  
AGITADOR DEL TANQUE DE MEZCLA  
1.27 m. diametro doble helice  
15 kW

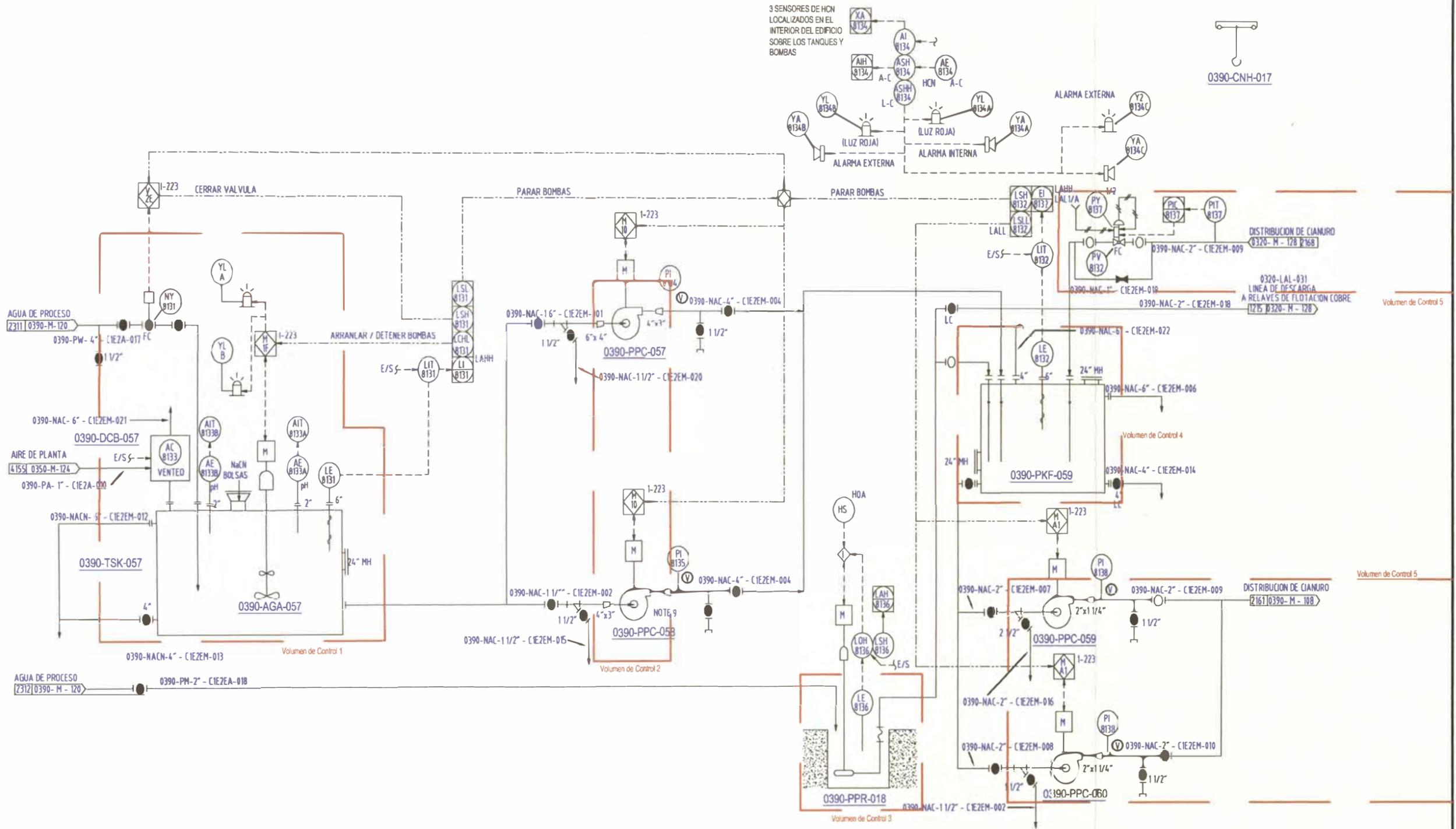
0390-PPC-057 y 058  
BOMBAS DE TRANSFERENCIA  
50 m3/h a 9.5 m TH  
1 OPERATIVA - 1 EN STAND BY  
3.7 kW

0390-PPR-018  
BOMBA SUMIDERO  
23 m3/h a 5m TH  
3.7 kW

0390-TKF-059  
TANQUE DE ALMACENAMIENTO  
4.7m dia x 4.9 m high. 73 m3 cap.  
techo cerrado y fondo plano

0390-PPC-059 AND 060  
BOMBAS DE DISTRIBUCION  
6.5 m3/h a 40 m TH  
1 OPERATIVA - 1 EN STAND BY  
3.7 kW

0390-CNH-017  
GRUA DE SERVICIO  
2 ton - monorail x 6.5 m recorrido  
tipo eléctrico



ANTAMINA  
MEZCLA, TRANSFERENCIA Y DISTRIBUCION DE CIANURO DE SODIO EN SOLUCION  
DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION (P&ID)  
DIAGRAMA 0390-M-107

**ANEXO 2: IDENTIFICACION DE PELIGROS DEL PROCESO**

**Volumen de Control N° 4**

DESCRIPCION	PARAMETROS CRITICOS	DESVIACIONES CRITICAS	CONSECUENCIAS	CAUSAS	CONTROLES EXISTENTES
<b>EQUIPOS</b> Tanque 73 m3 capacidad neta de almacenamiento. Cilindrico, cerrado con venteo libre de 4". Dimensiones: 4.7 m diámetro por 4.9 m altura.	Nivel del tanque.	Nivel Bajo	Falta distribución al circuito de la operación.	Falta de solución por falla en la programación de preparación o transferencia.	Alarma de bajo nivel en el tanque. Advertencia del operador.
		Nivel Alto	Derrame de solución en el piso de bombas hacia el sumidero. Posible emanación de HCN.	Válvula manual de desagüe abierta de forma no intencional.	Advertencia del operador respecto al estado de la válvula.
		Nivel Alto	Derrame de solución sobre el piso inferior y sumidero con presencia de agua a Ph neutro. Producción de ácido cianhídrico.	Falla en sistema de control.	Alarma de alto nivel.
		No flujo de descarga hacia las bombas de distribución.	Daño a la bomba.	Falla de advertencia del operador: Deficiente operación de las válvulas manuales.	
<b>INGRESO / SALIDA</b> Línea 2" de ingreso de líquido desde el sumidero. Línea 4" de ingreso de solución desde las bombas de transferencias. Línea 2" de retorno de solución desde el circuito cerrado para distribución en la planta con válvula de control seccionada por dos válvula manuales y by-pass de 1" con válvula manual normalmente cerrada. Línea 4" de desagüe con válvula manual normalmente cerrada. Línea 6" de rebalse.	Flujo	No flujo de descarga hacia las bombas de distribución.	Daño a las bombas de distribución.	Válvula de línea de descarga cerrada no intencionalmente.	Advertencia del operador.
		No flujo de ingreso desde la línea de retorno.	Daño a las bombas o línea de distribución.	Válvulas manuales de sistema de control cerradas.	Advertencia de operador. Control de presión de la línea de retorno.
		No flujo de entrada y salida de aire desde el venteo del tanque.	Daño estructural al tanque por succión o presión acumulada.	Venteo obstruido.	Advertencia del operador.
		Baja presión en línea de retorno.	Baja eficiencia en el proceso. Derrame de solución tóxica en zonas no preparadas de la planta.	Falla de potencia en las bombas de distribución. Fuga de solución en algún punto del circuito.	Sistema de control de presión. Sistema de control de presión. Advertencia del operador.
<b>INSTRUMENTACION</b> Sensor y controlador de nivel del tanque. Válvula de control de flujo en la línea del circuito de distribución. Sensor y controlador de presión de la línea de retorno.		Alta presión en línea de retorno.	Daño a las bombas o línea de distribución.	Válvulas manuales de sistema de control cerradas.	Advertencia de operador. Control de presión de la línea de retorno.

**ANEXO 2: IDENTIFICACION DE PELIGROS DEL PROCESO**

**Volumen de Control N° 5**

**Intención de diseño: Distribución de solución cianurada desde el tanque de almacén al circuito cerrado de distribución.**

DESCRIPCION	PARAMETROS CRITICOS	DESVIACIONES CRITICAS	CONSECUENCIAS	CAUSAS	CONTROLES EXISTENTES
<b>EQUIPOS</b> Bomba de distribución, centrífuga, horizontal, acero al carbono. Motor 1.2 KW Capacidad 6.5 m3/h a 32 m de cabeza dinámica.	Flujo solución.	Flujo bajo	Daño a la bomba.	Bajo nivel del tanque de mezcla o válvula de descarga cerrada. Deficiente operación de las válvula manual a la descarga de la bomba.	Alarma en la bomba por recalentamiento. Procedimiento de operación.
		Fuga de solución	Derrame de solución sobre el piso inferior y sumidero con presencia de agua a pH neutro. Producción de ácido cianhídrico.	Válvulas manuales de purga abiertas.	Advertencia del operador.
<b>INGRESO / SALIDA</b> Línea 2" de ingreso de solución cianurada con válvula manual abierta durante operación. Línea 2" salida de solución con válvula manual abierta durante operación. .Válvulas de purga de 1.5" en la succión y descarga de la bomba.	Presión de descarga.	Presión excesiva.	Derrame de solución sobre el piso inferior y sumidero con presencia de agua a pH neutro. Producción de ácido cianhídrico.	Válvulas manuales cerradas de forma no intencional.	Procedimiento de operación. Advertencia del operador respecto al estatus de las válvulas manuales.
				Falla del sistema de control de presión del circuito de distribución.	Sistema de control de presión.
<b>INSTRUMENTACION</b> Sensor de presión a la descarga. Control del motor de la bomba.					