



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE
Laureate International Universities®

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería
Industrial

Tesis

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE
CONTROL DE TAMAÑO DE PARTICULAS PARA
AUMENTAR LOS NIVELES DE RECUPERACIÓN DE
ORO DE LA PULPA CIANURADA DE LA PLANTA GOLD
MILL DE MINERA YANACOCCHA S.R.L**

Autor

Yllanes Meza Percy

Asesor

Ing. Enrique Avendaño Delgado

Cajamarca - 2009

DEDICATORIA

A mi Familia y compañeros de trabajo por su apoyo diario e importante colaboración en la realización práctica del proyecto.

AGRADECIMIENTO

A mis Profesores por su colaboración y asesoría durante los años de estudios en la Universidad.

PRESENTACIÓN

Señores Profesores Miembros del Jurado Dictaminador:

En cumplimiento de las disposiciones establecidas en el Reglamento para la Obtención de Grados y Títulos de la Universidad Privada del Norte, es que presento a vuestra consideración y elevado criterio mi trabajo titulado: **“Implementación de un sistema automático de control de tamaño de partículas para aumentar los niveles de recuperación de Oro de la pulpa cianurada de la Planta Gold Mill de Minera Yanacocha S.R.L”**, realizado con la finalidad de obtener el título de Ingeniero Industrial.

Dejo constancia que este proyecto es fruto de mis ideales y de los conocimientos adquiridos durante los años de estudio y formación en mi Escuela Académico Profesional, los que se ven reflejados en el presente trabajo.

Mi trabajo es susceptible de mejoras, pues tengo conocimiento que sólo la experiencia práctica trae consigo la complementación necesaria para una buena profesionalización. Es así que les pido disculpas por los errores cometidos debido a las limitaciones y la falta de experiencia profesional propia de un graduado.

Por lo expuesto, dejo en ustedes señores miembros del Jurado, la calificación y evaluación de esta obra, esperando el dictamen correspondiente.

Cajamarca, Octubre del 2009

Bach. Percy Yllanes Meza

LISTA DE TERMINOS

- **Arenas de Molienda:** Una vez que los minerales valiosos se han liberado de la mayor parte de la ganga y recolectado como concentrado, la ganga se descarga del concentrador como arenas de molienda (relaves). Los relaves consisten en un material finamente molido que contiene poco o ningún valor económico. Los relaves generalmente se descargan como una [pulpa](#) dentro de una gran piscina llamada [piscina de relaves](#).
- **AVR:** Siglas en Ingles referidos a la Acidificación, Volatilización y Recirculación. En el proceso de recuperación de Cianuro de Sodio a partir de soluciones cianuradas con alta concentración de ácido cianhídrico.
- **Chancado:** Proceso por el cual el mineral es triturado entre ½” a 1/6” de su tamaño original, en preparación a la siguiente etapa de reducción (segunda o tercera etapa de chancado o circuito de molienda).
- **Cianuración:** Método para extraer oro y plata contenidos en minerales o concentrados, disolviéndolos en una solución de cianuro de sodio o potasio.
- **Cianicidas:** Especies mineralógicas que tiene ciertas propiedades, las cuales incrementan exageradamente el consumo de cianuro; entre ellos se puede nombrar a la pirrotita (FeS) y otros minerales similares (presencia de sulfuros), los cuales reaccionan con el oxígeno de la solución consumiendo el oxígeno necesario para la disolución del oro; además, los productos ácidos que se forman contribuyen a un mayor consumo de cianuro.
- **Concentradora:** Planta industrial en donde se lleva a cabo la concentración de minerales.
- **Colas:** Llamado así a la pulpa que contiene muy poco contenido valioso del mineral que se esta tratando en el circuito de flotación, generalmente antes de ser descargado fuera de planta esta pulpa empobrecida es procesada en otros circuitos de flotación hasta la extracción máxima para su posterior descarga hacia la cancha de relaves.
- **Densidad de Pulpa:** Es el peso en kilos de un litro de pulpa. Mientras mayor es la densidad de la pulpa, más sólidos habrá en cada litro de pulpa.
- **Dore:** Mezcla impura y sin refinar de oro metálico y plata. Se produce mediante la fundición de concentrados de oro y plata, arenas o precipitados. Las impurezas típicas incluyen metales no nobles. El

doré se refina hasta obtener oro casi puro en una fundición o refinería.

- **Espesador:** Consiste en un estanque circular con un fondo en forma de cono de inclinación gradual con una descarga en el centro. Un mecanismo rastrillador de movimiento lento fuerza los sólidos en sedimentación hacia la descarga central. El objetivo de un [espesador](#) es separar pulpas de baja densidad en un líquido relativamente claro y una pulpa de alta densidad, o lodo. Todos los espesadores dependen de la gravedad para permitir la sedimentación de sólidos finos.
- **EWTP:** Son las siglas en inglés para “Excess Water Treatment Plant” que en español significa “Planta de tratamiento de agua de exceso”. Son aquellas plantas en donde se trata el exceso de agua existente en el proceso de lixiviación, con la finalidad de ponerla a disposición para su vertimiento hacia el medio ambiente.
- **Flotación:** La flotación de espuma es la manera mediante la cual los minerales liberados en la sección de molienda se separan en fracciones valiosas y no valiosas. En el proceso de flotación, se hacen ascender burbujas de aire a través de la pulpa y formar una espuma sobre la superficie de la celda de flotación.
- **Ganga:** Es aquel material rocoso estéril o parte despreciable del proceso.
- **Ley:** Cantidad de metal valioso en cada tonelada de mineral. Se expresa en onzas troy por tonelada para los metales preciosos y como porcentaje para otros metales o no metales. En algunas ocasiones, cuando las cantidades son muy pequeñas, la ley se expresa en partes por millón (ppm) o partes por billón (ppb).
- **Lifters:** Llamadas barras levantadoras se disponen longitudinalmente a lo largo de los revestimientos del molino. Ayudan a levantar la carga del molino a medida que éste gira. Las barras levantadoras normalmente están construidas de la misma aleación de acero cromomolibdeno de los revestimientos.
- **Limos:** Es un material suelto con una [granulometría](#) comprendida entre la [arena](#) fina y la [arcilla](#), este [sedimento](#) es transportado en suspensión por los ríos y por el viento, se deposita en el lecho de los cursos de agua o sobre los terrenos que han sido inundados. Para que se clasifique como tal, el diámetro de las partículas de limo varía de 0,002 mm a 0,06 mm.
- **Liners:** Es el revestimiento al interior del molino SAG, AG o de Bolas, protege el casco contra la acción abrasiva y rompiente de la carga del molino cayendo en cascada y catarata, suelen estar

fabricados de aleaciones Acero, Cromo, Manganeso, Molibdeno o Caucho.

- **Lixiviación:** Proceso metalúrgico que emplea soluciones acuosas (Cianuro de sodio, ácido sulfúrico, etc.), para la extracción de metales valiosos (Oro, Cobre, etc.) en minerales.
- **Mena:** Son minerales valiosos que se encuentran naturalmente en depósitos en el suelo en varios lugares alrededor del mundo. Cada vez que una cantidad de mineral valioso puede extraerse económicamente para usarse, el depósito conteniendo el mineral se conoce como mineral principal. La mayoría de los minerales principales son mezclas de mineral.
- **MERRIL CROWE:** Es un proceso donde se adiciona zinc a soluciones ricas procedentes de la cianuración, la de-aeración y la precipitación contenidas en ellas.
- **Mica:** Las micas son [minerales](#) pertenecientes a un grupo numeroso de [silicatos](#) de [alúmina](#), [hierro](#), [calcio](#), [magnesio](#) y minerales [alcalinos](#). Las micas figuran entre los minerales más abundantes de la naturaleza. encontrándose, fundamentalmente en rocas intrusivas ácidas y esquistos micáceos cristalinos. Se encuentra en la naturaleza junto con otros minerales ([cuarzo](#), [feldespato](#)) formando vetas dentro de [rocas](#), generalmente, duras
- **Molienda:** Referido a la pulverización y a la dispersión del material sólido.
- **Molino AG:** El término molino AG (autógena o autogenerado), significa que toda la reducción de tamaño del mineral tiene lugar como resultado del mineral cayendo sobre sí mismo. La reducción de tamaño se obtiene mediante la acción del mineral rompiendo y moliendo otras partículas minerales. En los molinos totalmente autógenos, no hay bolas de molienda de acero.
- **Molino SAG:** El término molino SAG significa molino de molienda semiautógena, en los molinos semiautógenos una porción de la molienda es autógena y una porción es realizada por las bolas de molienda, de allí el término semiautógeno.
- **Molino de Bolas:** Consiste en un cilindro de acero giratorio. Sin embargo, los molinos de bolas tienen una geometría diferente a aquella de los molinos SAG: la longitud de un molino de bolas excede su diámetro, mientras que el diámetro de un molino SAG excede su longitud. Las bolas de molienda de acero llenan el molino de bolas hasta en un 25 a 35 por ciento de su volumen total, lo cual es considerablemente más de que el 10 a 12 por ciento del molino SAG, de allí el término molino de bolas.

- **Pebbles:** Llamado así al material grueso retenido en el trómel de descarga del molino es recirculado al molino mediante una serie de Fajas transportadores.
- **Peso Específico:** El peso específico es simplemente la densidad expresada como el peso en gramos en cada centímetro cúbico de pulpa. Es lo mismo que el peso en kilos en cada litro de pulpa. El peso específico también es la densidad según se compara con el agua, la cual tiene un peso específico de uno. Por ejemplo, el peso específico de una pulpa es de 1,2, es decir, es 1,2 veces la densidad del agua.
- **pH:** Es una medida de la concentración del Ion hidrogeno en el agua. Se usa para medir si un químico en particular es ácido, básico (alcalino) o neutro. También determina cuán fuertemente un químico es ácido o básico en una escala de 0 a 14. El agua destilada pura tiene un valor de pH de 7 y se la considera neutra (ni ácida ni básica). Los valores de pH que disminuyen desde 7 a 0 indican una acidez creciente, y los valores de pH que aumentan desde 7 a 14 indican una alcalinidad creciente.
- **Pulpa:** Una pulpa es una mezcla de partículas sólidas y un líquido, el líquido usado por lo general es agua. En una pulpa, las partículas sólidas no se disuelven en el agua. Las partículas están suspendidas en el agua como partículas individuales. Cada partícula individual retiene su carácter propio si se la remueve del agua.
- **Recuperación:** Es un término que indica cuánto de los metales valiosos son realmente recuperados en el concentrado o solución rica en comparación con cuánto había originalmente en la alimentación que recibe la planta.
- **SART:** Siglas en Ingles referidos a la Sulfurización, Acidificación, Recirculación y espesamiento. En el proceso de recuperación de Sulfuros de cobre en soluciones acidas.
- **Sistema Gearless:** Sistema de accionamiento sin engranajes, consiste en un motor circunferencial sincrónico envuelto alrededor del casco del molino SAG, una fuente de poder para el motor, un sistema de refrigeración y un sistema de control complejo. El motor circunferencial está construido en segmentos; los segmentos del rotor están empernados a la brida del molino y el estator es independiente.
- **Solución Barren:** Agua con contenido de Cianuro, Oro, Cobre, Mercurio y con un ph que varía de 8 -9, es el residuo con mayor volumen obtenido en este proceso.
- **Solución Pregnant:** Solución rica en contenido de oro y plata.

- **Sustancias Higroscópicas:** Sustancias con la capacidad de absorber o ceder humedad al medioambiente, algunos de los compuestos higroscópicos reaccionan químicamente con el [agua](#) como los [hidruros](#) o los [metales alcalinos](#).
- **Sustancias Electroestáticas:** Son sustancias (especialmente los metales), que se caracterizan porque, al recibir o entregar electrones, éstos se distribuyen en toda su extensión: podemos cargarlos eléctricamente por cualquier punto de su superficie, y recoger las cargas por cualquier otro punto. La manipulación de estos materiales en el tamaño fino (polvo), de líquidos o de gases inflamables es susceptible de generar cargas electrostáticas. Éstas pueden originar incendios o explosiones.
- **Sustancias Eutécticas:** Es una [mezcla](#) de dos componentes con [punto de fusión \(solidificación\)](#) o [punto de vaporización](#) (licuefacción) mínimo. Esta [mezcla](#) de sólidos íntimamente conectados, posee un [punto de fusión](#) más bajo que el que poseen los compuestos individualmente.
- **Tamizado:** Proceso mecánico en el cual las partículas son separadas según el tamaño. El material a ser separado se alimenta sobre la superficie de un tamiz. El tamiz mismo, comúnmente llamado tela de tamizado, tiene aberturas dimensionadas para efectuar la separación de tamaño deseada.
- **Tenores:** Llamados así a la cantidad de mineral valioso en una determinada cantidad de lote, se expresa generalmente en gramos o onzas de la especie valiosa por tonelada de mineral, en algunos países de Latinoamérica se le conoce como Ley de mineral.
- **Trómel:** El trómel o tamiz trómel es cilíndrico y gira con el molino. El tamiz consiste en un bastidor abierto con paneles perforados fijados sobre su superficie interior. Toda la pulpa pasa a través de este tamiz. Ocasionalmente bolas de molienda desgastadas salen del molino con la pulpa y descargan con cualquier otro material de sobretamaño por el extremo del trómel.
- **Vetas:** Estructura tabular mineralizada, de bordes claramente definidos que lo separan de la roca estéril llamada roca de caja.

ÍNDICE GENERAL

PRESENTACIÓN

LISTA DE TERMINOS

INDICE GENERAL

INDICE DE TABLAS

INDICE DE FIGURAS

RESUMEN

ABSTRACT

PARTE PRIMERA: INTRODUCCION

CAPITULO I: PLAN DE INVESTIGACION

18

1.1. El Problema

18

1.1.1 Realidad Problemática

18

1.1.2 Antecedentes

29

1.1.3 Formulación del Problema

45

1.1.4 Justificación del Problema

45

Justificación practica económica

45

Justificación practica seguridad

45

1.2.	Hipótesis	47
1.3.	Objetivos	47
1.3.1	Objetivo General	47
1.3.2	Objetivos Específicos	47

PARTE SEGUNDA: MATERIALES Y METODOS

CAPÍTULO II – MARCO TEORICO

		48
2.1	Marco Teórico	48
2.1.1	Molienda	48
2.1.2	Lixiviación de Oro y Plata	48
2.1.3	Estudios efectuados en relación con el tamaño de partícula	53
		55
2.2	Marco Conceptual	62
2.2.1	Tamaño de Partícula	62
2.2.2	Distribución de Tamaños	63
2.2.3	Conminución	64
2.2.4	Mecanismos de Conminución	65
2.2.5	Movimiento de la Carga en un Molino	66

2.2.6	Tamaño de Alimentación	68
2.2.7	Dureza de Mineral	70
2.2.8	Mecanismos de Descarga	70
2.2.9	Elevadores y Revestimientos	72

CAPÍTULO III – METODOLOGIA

		76
3.1	Materiales	76
3.2	Métodos	76
3.3	Procedimientos	76

PARTE TERCERA: RESULTADOS

CAPÍTULO IV – EVALUACION ECONOMICA

		79
4.1	Paso 1 – Determinación de Beneficios y Costos del Proyecto	79
4.2	Paso 2 – Recopilación de Información, Datos de Empresa	80
4.3	Paso 3 – Recopilación de Información, Ahorros Obtenidos	81
4.4	Paso 4 – Recopilación de Información, Costos del PSI 200	82
4.5	Paso 5 – Flujo de Caja	84

CAPÍTULO V – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones	86
5.2	Recomendaciones	87

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

88

ANEXOS

89

Anexo 01 Lista de Analizadores de Partículas PSI en Perú

100

Anexo 02	Performance del Equipo PSI-200	91
Anexo 03	Hoja de Materiales Cianuro de Sodio	109
Anexo 04	Cotización de PSI 200	118
Anexo 05	Cotización de Cambio Estructural	120

ÍNDICE DE TABLAS

1	Tabla 01 Toneladas Promedio Mensuales	23
2	Tabla 02 Análisis de Malla en Laboratorio	24
3	Tabla 03 Recuperación de Oro	25
4	Tabla 04 Análisis de Malla en Campo	26
5	Tabla 05 Oro alimentado vs. concentración de cianuro de sodio	27

6	Tabla 06 Análisis de Malla en Laboratorio vs. Análisis de malla campo	
7	28	
8	Tabla 07 Recuperación de Oro vs. Tamaño de malla laboratorio	
	29	
9	Tabla 08 de Escala Granulométrica	
	33	
10	Tabla 09 de Modelo de Tamices	
	36	
11	Tabla 10 de Modelo de Analizadores	
	39	
12	Tabla 11 Mecanismos de Lixiviación de Oro	
	60	
13	Tabla 12 Mecanismo de Reacción del Cianuro con el Acido	
	61	
14	Tabla 13 Resultados de Ensayos al fuego	66
15	Tabla 14 Recuperación de Oro y Plata de soluciones y colas	
	66	
16	Tabla 15 Recuperación y disolución de Oro en prueba botella 4	68
17	Tabla 16 Recuperación y disolución de Oro en prueba tanque lixiviación	69
18	Tabla 17 Perfil Granulométrico de un Mineral	
	71	
19	Tabla 18 Mecanismos de Conminución	
	73	
20	Tabla 19 Efecto de la velocidad de Rotación en el movimiento de la carga	
21	Tabla 20: Procedimientos	
	87	
22	Tabla 21 Consumo cisternas de NaCN	
	91	
23	Tabla 22 Costo Semestral de Reactivo NaCN	
	91	
24	Tabla 23 Otros Insumos Utilizados	
	92	
25	Tabla 24 Total Ahorros Obtenidos	
	92	

26	Tabla 25 Consumo de Energía	93
27	Tabla 26 Costos de Mantenimiento	93
28	Tabla 27 Capacitación	93
29	Tabla 28 Total Costos Obtenidos	94
30	Tabla 29 Flujo de Caja	95
31	Tabla 30 Resultados de la Evaluación Económica	95

ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Figura 01 Toneladas Promedio Mensuales	23
2.	Figura 02 Análisis de Malla de Laboratorio promedio por mes	24
3.	Figura 03 Recuperación de Oro Mensual	25
4.	Figura 04 Análisis de Malla Manual promedio	26
5.	Figura 05 Concentración de Cianuro Promedio Mensual	27
6.	Figura 06 Análisis de Malla Manual vs. Análisis Laboratorio	28
7.	Figura 07 Recuperación de Oro vs. Análisis de Malla Laboratorio	29
8.	Figura 08 Circuito de una sola etapa de Molienda	45

9. Figura 09 Trabajo de calibrador automático	48
10. Figura 10 Mecanismos del proceso del Molino AG/SAG	56
11. Figura 11 Movimiento de la carga y asociación con mecanismos de ruptura	58
12. Figura 12 Curva Granulométrica de Muestra	65
13. Figura 13 A Consumo de NaCN durante las pruebas	67
14. Figura 13 B Consumo de CAL durante las pruebas	67
15. Figura 14 Mecanismos de Conminución	74
16. Figura 15 Zonas de Movimiento al interior del Molino	76
17. Figura 16 Parrilla de descarga con elevador tipo cuchara	80
18. Figura 17 Vista esquemática de los perfiles de revestimientos	82
19. Figura 18 Revestimientos al interior del Molino SAG	83
20. Figura 19 Situación Actual	85
21. Figura 20 Situación propuesta	85

RESUMEN

El presente trabajo de aplicación pretende enfatizar en la importancia que se tiene al optar tecnologías de control moderno que permitan operar en forma óptima la planta de molienda Gold Mill de la compañía Minera Yanacocha S.R.L. Para la correcta recuperación del mineral valioso (Oro en solución). Esta Planta surge como necesidad de la compañía de tratar minerales con características particulares (Minerales con presencia de cobre sulfurado), muy distintas a las ya conocidas por Minera Yanacocha en sus otras plantas de recuperación de Oro.

La operación continua de la planta de molienda nos ha permitido determinar que independientemente de esta mineralogía específica, inclusive para un mismo tipo de mineral, la respuesta en la operación de la Molienda SAG tiene un grado moderado de complejidad. Ante esta realidad es imprescindible adoptar estrategias de control para maximizar el tonelaje procesado manteniendo un producto acorde a los requerimientos, para los procesos posteriores de recuperación de Oro.

El principal problema que se tiene actualmente en la operación de esta planta es la variabilidad de la recuperación del mineral valioso y el incremento en el consumo del reactivo lixivante (independientemente de la cantidad de cobre que se alimenta a planta), producto de tener un mineral molido con una granulometría gruesa.

El análisis de la granulometría es realizada por los operadores cada 02 horas y es importante mencionar el riesgo a los cuales están expuestos (ver anexo 03). Por consiguiente es de esperarse que la intervención del hombre sea casi nula en los análisis futuros de granulometría realizados en planta, gracias a la introducción de la nueva tecnología propuesta.

Uno de los objetivos adicionales a este trabajo de aplicación es proporcionar a los Ingenieros de Procesos la información para entender los beneficios de la optimización, por medio de un sólido enfoque en la comprensión y análisis de su circuito de molienda.

ABSTRACT

The present work of application tries to emphasize the importance that is had on having chosen technologies of modern control that allow to produce in ideal form the milling plant Gold Mill of the Mining company Yanacocha S.R.L. For the correct recovery of the valuable mineral (Gold in solution). This Plant arises as need of the company to treat minerals with particular characteristics (Minerals with presence of sulfurated copper), very different from the already known ones for Miner Yanacocha in his other plants of golden recovery.

The constant operation of the milling plant has allowed us to determine that independently of this mineralogy it specifies, inclusive for the same type of mineral, the response in the operation of the Grinding SAG has a moderate degree of complexity. Before this reality it is indispensable to adopt strategies of control to maximize the tried tonnage supporting an identical product to the requirements, for the later processes of golden recovery.

The principal problem that is had nowadays in the operation of this plant is the variability of the recovery of the valuable mineral and the increase in the consumption of the reagent lixivante (independently of the quantity of copper that feeds to plant), product of having a mineral ground with a bulky grain

The analysis of the grain is realized by the operators every 02 hours and it is important to mention the risk which are exposed (annexe saw 03). Consequently it is of be hoping that the intervention of the man is almost void in the future analyses of grain realized in plant, thanks to the introduction of the new proposed technology.

One of the additional aims to this work of application is to provide the information to the Process engineers to understand the benefits of the optimization, by means of a solid approach in the comprehension and analysis of his circuit of grinding

PARTE PRIMERA: INTRODUCCION

CAPITULO I: PLAN DE INVESTIGACION

1.1 EL PROBLEMA

1.1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA

La palabra conminution (trituración) se deriva de la palabra latina *comminuere*, que significa 'hacer pequeño'. (Pablo Soto, 2008).

Se entiende por molienda de minerales, a una operación unitaria de procesos metalúrgicos, cuyo objetivo es recibir una carga determinada de mineral (en seco, en cuyo caso se llamaría "autógena", o como pulpa) ya sea proveniente directamente de la etapa de voladura en Mina o bien de una previa de chancado (Primario, Secundario, Terciario o Ultra fino), y reducir lo mas fino posible el tamaño de las partículas de esta carga (Ya sea con medios molidores de acero, cerámica o con el propio mineral) para llevarlas a un proceso posterior. (Alfonso Castro, 2005).

Para fragmentar una partícula entran en juego muchos ítems que la mayor parte del tiempo no estimamos en su real dimensión: Energía eléctrica, mano de obra, agua, medios de molienda, gastos de mantenimiento, gastos administrativos, gastos financieros, imprevistos, etc. Cada uno de estos representa un costo de producción operativa el cual se deduce posteriormente de las ganancias obtenidas por las ventas de los metales valiosos; solo como un ejemplo el gasto energético en Molienda puede ser tan significativo que llega a representar del 30 al 50 % inclusive, de los gastos totales de una concentradora. (Alfonso Castro, 2005).

Un informe de 1981 de un Comité Nacional de Asesoría en materiales de los EEUU, sobre enfoques para mejoras en el consumo de energía en los procesos de trituración estimaba que el 1.5 % de toda la energía generada en los EEUU se consumía en dichos procesos (incluyendo la energía requerida

para producir los medios de acero utilizados en la trituración). (Pablo Soto, 2008).

El informe estimaba que mejoras realistas en la eficiencia energética de la trituración, incluyendo aspectos de clasificación y control de procesos podrían resultar en ahorros anuales de energía en los EEUU superiores a 20 mil millones de Kwh. o aproximadamente un 15% del consumo total de energía en Australia (en 1993/1994).(Pablo Soto, 2008).

En la actualidad, el número de plantas con etapas de molienda de grandes dimensiones y con un mayor nivel de complejidad mecánica y operacional a nivel mundial que han tenido que implementar y realizar cambios significativos en sus circuitos respecto a su situación original, se ha incrementado notoriamente. (Domingo Baeza, 2005).

La principal causal es que los materiales alimentados a esta etapa, presentan cada vez una mayor refractariedad a la fenomenológica de la molienda, fundamentalmente por una menor presencia de finos naturales proveniente de la mina y un fuerte incremento de rocas de mayor tamaño, lo que en definitiva cambia sustancialmente el perfil granulométrico de alimentación fresca al proceso, parámetro que ha demostrado ser el de mayor relevancia en la tasa de procesamiento de un molino. Este método de reducción de tamaño de las rocas para liberar y exponer el metal valioso para su posterior recuperación es común para empresas de obtención de cobre, zinc, oro, plomo, etc. (Domingo Baeza, 2005).

Ante este escenario, operaciones unitarias que en la génesis conceptual de la molienda eran realizadas en forma eficiente en el interior del molino (chancado secundario y terciario) hoy ya no lo son, de tal manera que en muchas operaciones industriales, esta ineficiencia operacional ha tenido que ser reemplazada por una serie de instalaciones anexas y cambios para lograr mantener la eficiencia de la molienda, etapas de reducción previa del mineral (pre-chancado), fuerte incremento en el nivel de elementos de molienda (bolas

de acero), automatización de etapas de control de la operación, etc.(Domingo Baeza, 2005).

Si el mineral molido producto de la molienda es muy grueso la recuperación de oro será menor y si es demasiada fina ocasionará un incremento de consumo de reactivos en las etapas posteriores de tratamiento de este mineral. (Levi Guzmán, 2007).

Entre algunas de las variables que afectan la eficiencia del molino SAG se pueden mencionar las siguientes: (Domingo Baeza, 2005).

- Diseño.
- Granulometría de alimentación.
- Tamaño de medios de molienda (bolas).
- Grado de llenado de bolas.
- Inventario total del molino.
- Consumo específico de Energía.
- Configuración de los circuitos y de equipos que trabajan con el molino.
- Estabilidad operacional.
- Velocidad de rotación del molino.
- Cantidad de agua adicionada al molino.
- Configuración y diseño de lifters.

Por lo señalado anteriormente la tendencia actual es adoptar tecnologías de control adecuadas para mantener la eficiencia operacional y obtener un mejor producto ante escenarios cambiantes de alimentación a planta.

El control de la densidad de pulpa de los diversos flujos en una concentradora es una actividad cotidiana. El conocimiento de este parámetro es esencial en la operación de las diversas etapas del procesamiento de un mineral: Molienda, clasificación, flotación, separación sólido – líquido y transporte de concentrados y relaves. (Levi Guzmán, 2007).

La compañía Minera Yanacocha actualmente es el más grande productor de oro en Sudamérica, ubicada en los Andes Peruanos a 48 Km. de la ciudad de Cajamarca y a 603 Km. de la ciudad de Lima.

Conformada por la transnacional americana Newmont, la cual mantiene un 51,35% de acciones mientras la compañía minera peruana Buenaventura es dueña de un 43.65% de las acciones. La corporación de finanzas internacional (IFC), mantiene el 5%. Newmont comenzó la exploración en el año 1982 y encontró el primero de muchos depósitos de oro en 1986. La producción de Yanacocha comenzó luego en 1993.

Las operaciones actualmente se desarrollan en 3 áreas: La Quinoa, Pampa Larga y Yanacocha Norte, el proceso productivo en estas grandes áreas involucra la explotación de minas de tajo abierto, extracción de oro a través del proceso de lixiviación en pads, Molienda, Lixiviación en tanques, recuperación de oro a través de los procesos de Merrill Crowe y Columnas de Carbón, para finalmente obtener DORE (oro y plata) a través de los procesos de extracción de mercurio (retortas) y fundición, adicionalmente tiene plantas de tratamiento de agua las cuales funcionan en temporadas de lluvias.

La planta de Gold Mill la Quinoa inició operaciones el 23 de Marzo del 2008, la cuál esta constituida por una planta de Molienda con una capacidad de diseño de 650 T/h, la cual consta de 01 Molino SAG de 32' por 32' con accionamiento tipo Gearless, 01 faja transportadora que alimenta mineral al molino, 03 alimentadores de placas de velocidad variable, 03 fajas de recolección de mineral grueso desechado por el molino (pebbles), Una bomba de envío de pulpa de 3171 m³/h, 10 ciclones (clasificadores), 02 zarandas de limpieza lineal para recolección de desechos, 02 bombas de sumidero para coleccionar cualquier derrame generado en el área, 02 enfriadores para refrigerar el motor del molino, 01 sistema de lubricación para el molino y un puente grúa de 20 Toneladas. Además la planta tiene un circuito de Pre-lixiviación (01 espesador), circuito de Lixiviación (06 tanques con agitadores), lavado en contracorriente (05 espesadores de alta capacidad), 01 tanque de disposición de arenas con

08 bombas, 01 planta de precipitación de cobre (SART) y 01 planta de recuperación de cianuro (AVR).

Durante el primer año de funcionamiento la capacidad de tratamiento se ha incrementado mes a mes hasta llegar a tener picos altos de producción con tonelajes horarios superiores a los 735 t/h (Tabla 01). El tamaño del producto ha estado dentro de los valores solicitados por la jefatura (Tabla 02). A Comienzos del ultimo trimestre del año 2008 a la fecha la recuperación de Oro a empezado ha disminuir (Tabla 03). El Tamaño de Partícula producto de la Molienda a sufrido una variación (Tabla 02 Y Tabla 04) y la concentración de cianuro se ha incrementado (Tabla 05).

Los procedimientos de muestreo de pulpa se realizan de manera diaria a través de un muestreo manual cada 2 horas y reportadas por el operador a sala de control, otra muestra es analizada en el laboratorio químico, que es el ente regulador del tamaño de partícula producto de la molienda, los resultados de los análisis se reporta en forma diaria. (Después de 01 guardia o 12 horas).

Los indicadores de una buena molienda en el proceso están reflejados por el tamaño de malla al final de los clasificadores (ciclones) y este a su vez refleja el grado de liberación del oro en el mineral, los cuales han sufrido un cambio el último trimestre (Tabla 06 y Tabla 07).

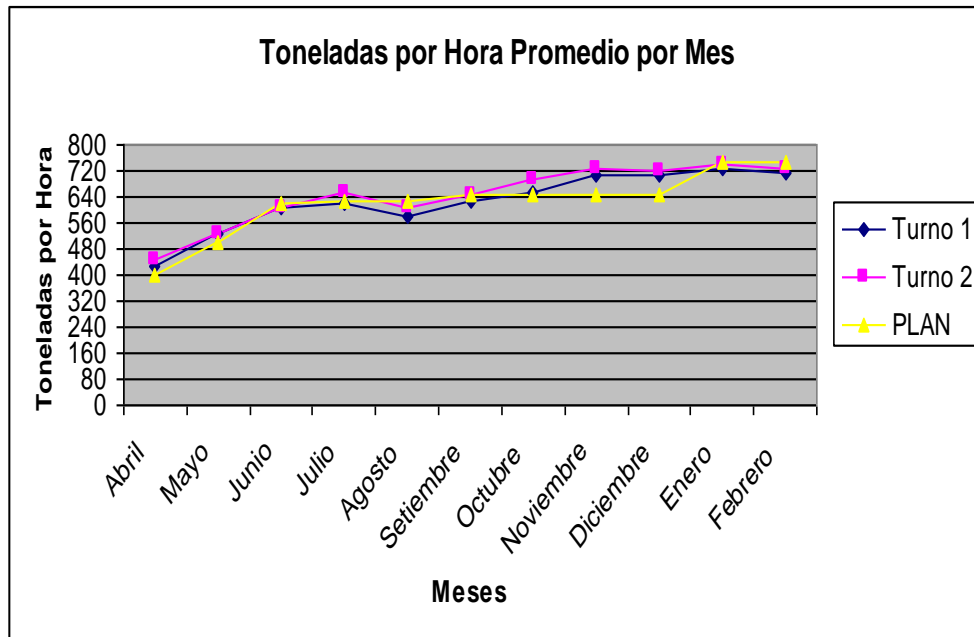
Tabla 01: Toneladas promedio mensuales.

TONELADAS PROMEDIO POR HORA MENSUAL			
Tabla 01			
MESES	Turno 1 T/h	Turno 2 T/h	Plan T/h
Abril	425	445	400
Mayo	525	530	500
Junio	610	605	620
Julio	621	655	625
Agosto	580	608	625
Setiembre	625	645	650
Octubre	655	691	650
Noviembre	710	724	650

Diciembre	705	718	650
Enero	726	738	750
Febrero	715	725	750

Fuente: Propia.

Figura 01: Toneladas promedio por hora procesadas por mes



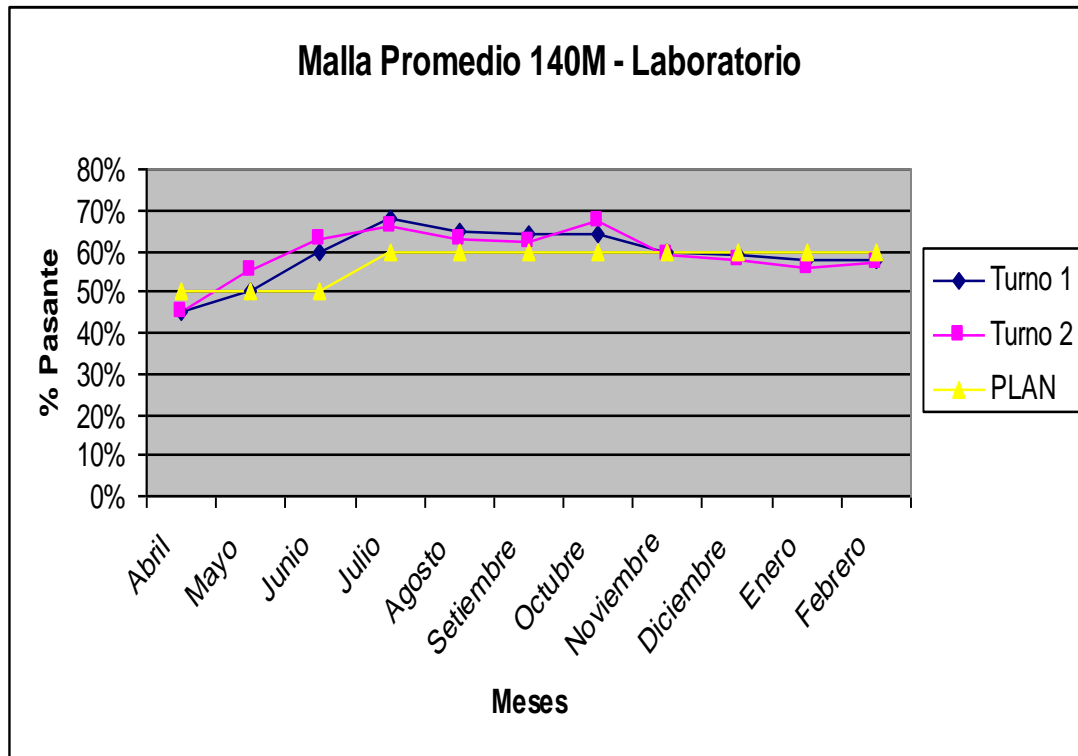
Fuente: Propia

Tabla 02: Análisis de Malla en Laboratorio.

ANALISIS DE MALLA EN LABORATORIO			
Tabla 02			
MESES	Turno 1	Turno 2	PLAN
Abril	45%	45%	50%
Mayo	50%	55%	50%
Junio	60%	63%	50%
Julio	68%	66%	60%
Agosto	65%	63%	60%
Setiembre	64%	62%	60%
Octubre	64%	67%	60%
Noviembre	60%	59%	60%
Diciembre	59%	58%	60%
Enero	58%	56%	60%
Febrero	58%	57%	60%

Fuente: Propia.

Figura 02 Análisis de malla de laboratorio promedio por mes.



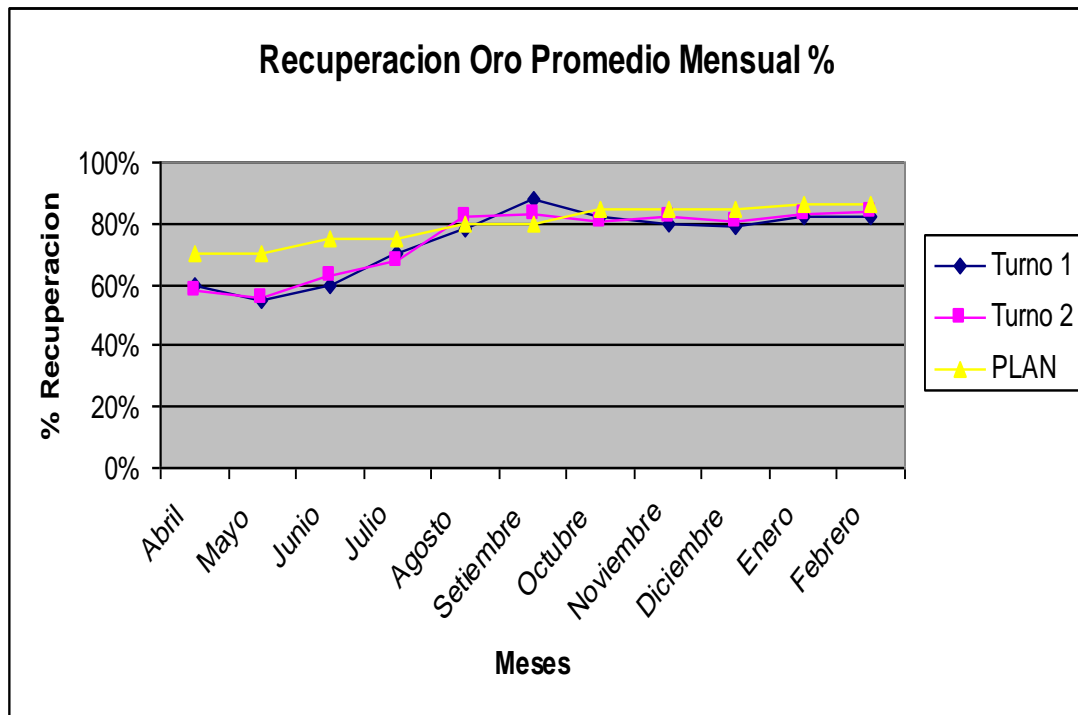
Fuente: Propia

Tabla 03: Recuperación de Oro.

RECUPERACION DE ORO PROMEDIO					
Tabla 03					
MESES	Turno 1	Turno 2	PLAN	Feed Au (g/T)	NaCN (ppm)
Abril	60%	58%	70%	1.23	200
Mayo	55%	56%	70%	2.05	250
Junio	60%	63%	75%	2.18	250
Julio	70%	68%	75%	1.98	300
Agosto	78%	82%	80%	3.11	300
Setiembre	88%	83%	80%	2.92	420
Octubre	82%	81%	85%	3.16	350
Noviembre	80%	82%	85%	3.28	350
Diciembre	79%	81%	85%	2.12	350
Enero	82%	83%	86%	3.24	380
Febrero	82%	84%	86%	4.18	380

Nota: En los meses de Enero y Febrero se incremento la adición de Cianuro para mejorar la recuperación de Oro.

Figura 03: Recuperación de oro mensual



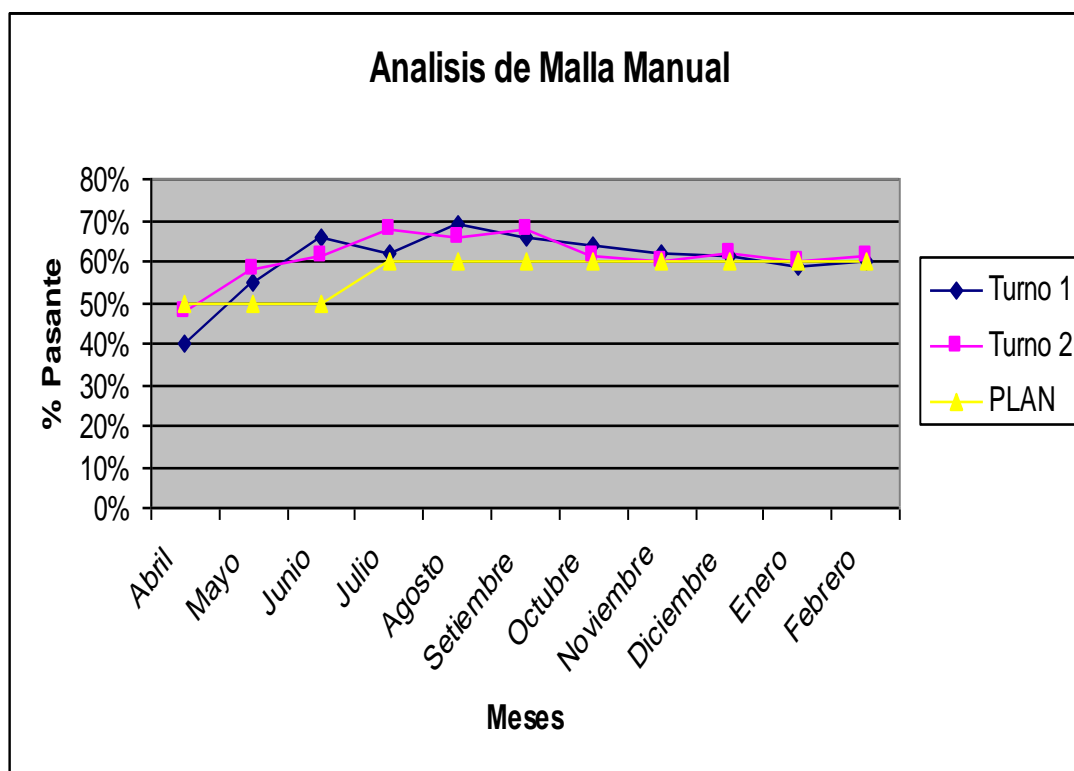
Fuente: Propia

Tabla 04: Análisis de Malla en Campo.

ANALISIS DE MALLA EN CAMPO			
Tabla 04			
MESES	Turno 1	Turno 2	PLAN
Abril	40%	48%	50%
Mayo	55%	58%	50%
Junio	66%	61%	50%
Julio	62%	68%	60%
Agosto	69%	66%	60%
Setiembre	66%	68%	60%
Octubre	64%	61%	60%
Noviembre	62%	60%	60%
Diciembre	61%	62%	60%
Enero	59%	60%	60%
Febrero	60%	61%	60%

Fuente: Propia.

Figura 04: Análisis de Malla manual promedio realizada en campo por mes.



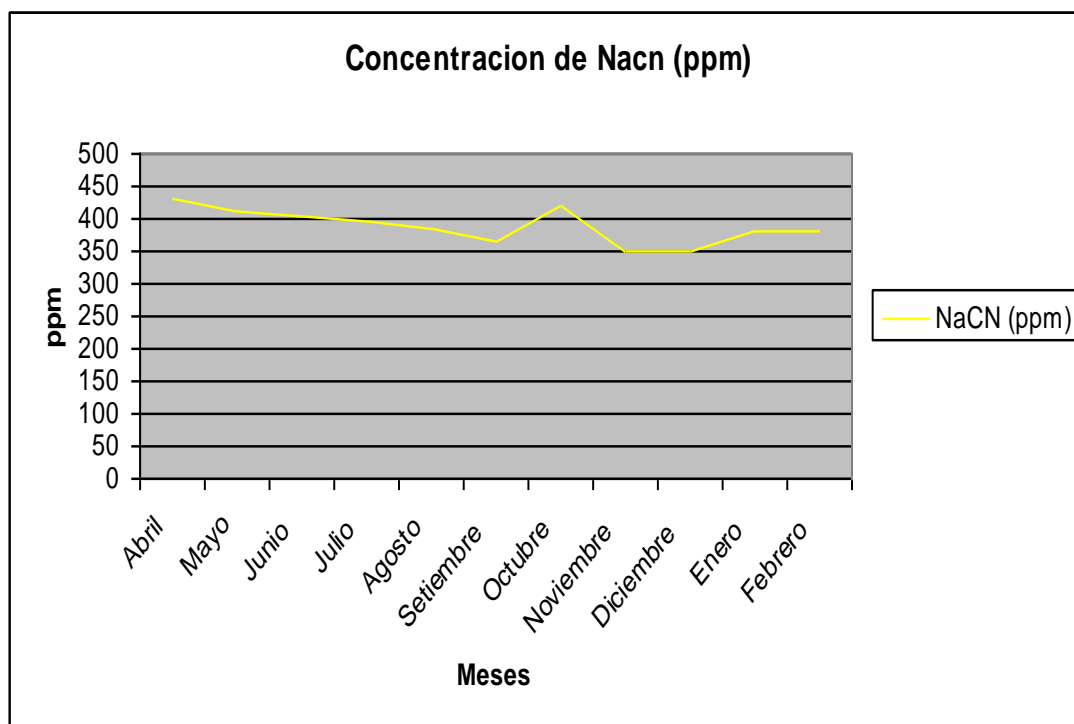
Fuente: Propia

Tabla 05: Oro alimentado vs. Concentración de Cianuro.

ORO ALIMENTADO vs. CONCENTRACION DE CIANURO		
Tabla 05		
MESES	Feed Au (g/T)	NaCN (ppm)
Abril	1.23	430
Mayo	2.05	410
Junio	2.18	405
Julio	1.98	398
Agosto	3.11	385
Setiembre	2.92	365
Octubre	3.16	420
Noviembre	3.28	350
Diciembre	2.12	350
Enero	3.24	380
Febrero	4.18	380

Fuente: Propia.

Figura 05: Concentración de cianuro promedio mensual.



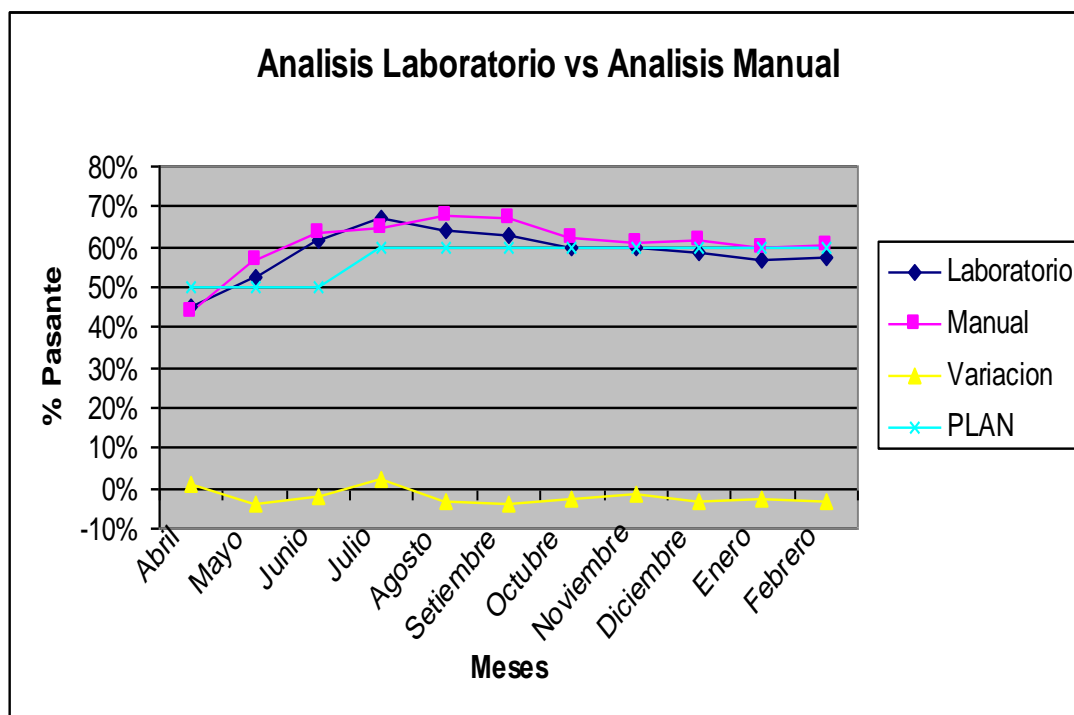
Fuente: Propia

Tabla 06: Análisis de Malla en Laboratorio vs. Análisis de Malla en Campo.

ANALISIS DE MALLA EN LABORATORIO vs. ANALISIS DE MALLA EN CAMPO				
Tabla 06				
MESES	Laboratori o	Manual	Variación	PLAN
Abril	45%	44%	1%	50%
Mayo	53%	57%	-4%	50%
Junio	62%	64%	-2%	50%
Julio	67%	65%	2%	60%
Agosto	64%	68%	-4%	60%
Setiembre	63%	67%	-4%	60%
Octubre	60%	63%	-3%	60%
Noviembre	60%	61%	-2%	60%
Diciembre	59%	62%	-3%	60%
Enero	57%	60%	-2%	60%
Febrero	58%	61%	-3%	60%

Fuente: Propia.

Figura 06: Análisis de malla realizados en forma manual y en laboratorio.



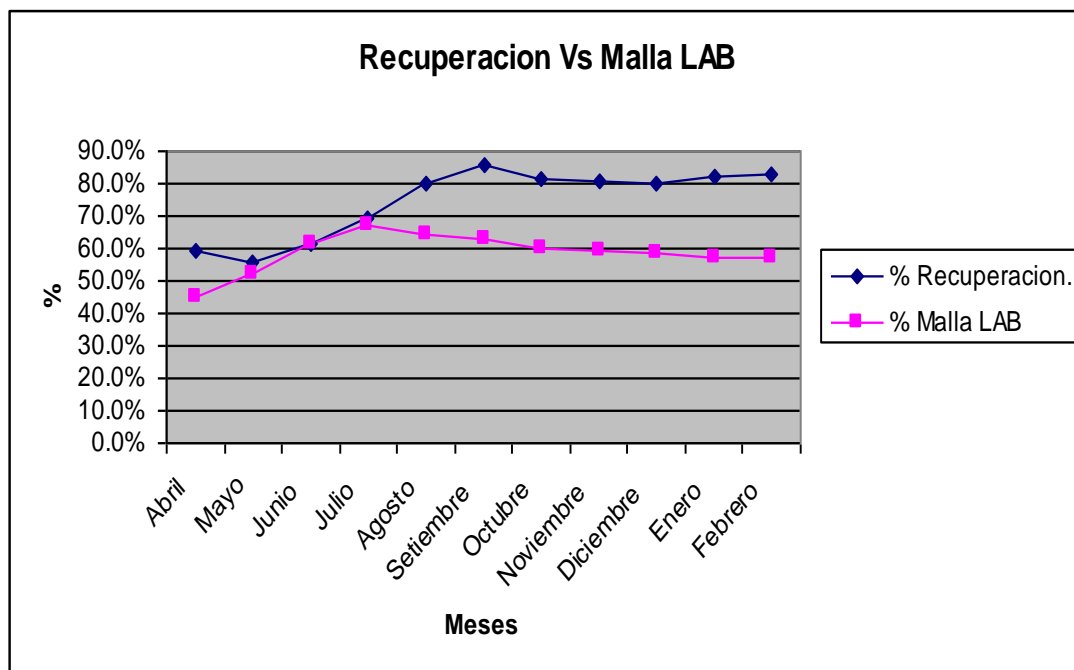
Fuente: Propia

Tabla 07: Recuperación de Oro vs. Tamaño de malla Laboratorio.

RECUPERACION DE ORO vs. TAMAÑO DE MALLA		
Tabla 07		
MESES	% Recuperación.	% Malla 140 Laboratorio
Abril	59.0%	45.0%
Mayo	55.5%	52.5%
Junio	61.5%	61.5%
Julio	69.0%	67.0%
Agosto	80.0%	64.0%
Setiembre	85.5%	63.0%
Octubre	81.5%	60.0%
Noviembre	81.0%	59.5%
Diciembre	80.0%	58.5%
Enero	82.5%	57.0%
Febrero	83.0%	57.5%

Fuente: Propia.

Figura 07: Recuperación de oro y el % pasante de la malla 140 analizado en laboratorio



Fuente: Propia

El presente proyecto se relaciona con uno de los factores, que afecta la eficiencia de recuperación del Oro, el cual involucra al tamaño de partícula de la pulpa producto del Molino SAG (mineral molido con agua). Tener un tamaño de partícula adecuado es importante porque va determinar el grado de liberación de nuestro metal valioso a recuperar (oro) y separarla de otros metales que acompañan al oro en el mineral alimentado a planta (cobre, hierro, zinc, etc.).

1.1.2 ANTECEDENTES.

Las técnicas utilizadas para medir el tamaño de las partículas en las pulpas deben cumplir ciertas condiciones: ser rápidas, no ser complejas en su accionar y ser lo mas exactas posibles en sus resultados. Para poder decidir cual es la mejor técnica, es necesario conocer en primer lugar, el intervalo de medición requerido (tamaño de partícula mínimo y máximo), la precisión requerida (determina el método de análisis), la cantidad de la muestra a ser analizada, el tiempo de análisis (la cantidad de muestras a ser analizadas cada

día), el medio en el cual se puede analizar la muestra (seco o líquido) y el peso específico de los sólidos que conforman la pulpa (características del mineral).

La Técnica de Tamizado es por lo general el primer sistema que se utiliza y es el más económico, consiste en el empleo de tamices (cedazos) de alambre tejido. Se ha desarrollado un conjunto de tamices de tamaño estándar para evitar la confusión respecto del tamaño de partícula. Los tamices de alambre tejido tienen aberturas cuadradas. Por ejemplo, un tamiz de malla 200 tiene 200 alambres por pulgada lineal y, de manera similar, 200 aberturas por pulgada. Las aberturas del tamiz son cuadradas y tienen un borde de 74 micrones o 0,074 mm. Al describir tamices, es habitual referirse a la abertura en pulgadas o milímetros o la cantidad de aberturas por pulgada lineal o por centímetro cuadrado. (Angela Stinger, 2007).

Al describir el tamaño de las partículas en una pulpa, se determina la distribución por tamaños de partículas y los datos se presentan como porcentajes. Por ejemplo, 80 por ciento de las partículas son más pequeñas que (pasan por) un tamiz de 74 micrones. De manera alternativa, puede decirse que el 20 por ciento de las partículas en la pulpa son retenidas en un tamiz de 74 micrones. (Angela Stinger, 2007).

Al realizar un análisis de tamices, se usan tamices de tamaño estándar. Estos tamices están contruidos para apilarse unos encima de otros. Están posicionados en orden, aquel con las aberturas más grandes en la parte superior. Un peso conocido de material se coloca en el tamiz superior. La pila de tamices luego se hace vibrar en una máquina clasificadora. Después de un tiempo establecido, el contenido retenido en cada tamiz se pesa y se calculan los tamaños distribuidos.

Al determinar la distribución por tamaños en los márgenes más finos, es común lavar los sólidos a través de los tamices con agua. El material retenido en el tamiz se seca y pesa para calcular la distribución por tamaños.

La **Tabla 08** ilustra una porción de una **Escala granulométrica** usada al tamizar. Deben usarse métodos diferentes para tamaños de partículas más pequeños.

Tabla 08: Escala Granulométrica.

TAMAÑO		Malla	Ejemplo
Milímetros	Micrones		
5,66		3,5	Gravilla
4,76		4	
4,00		5	
3,36		6	
2,38		8	
2,00		10	
1,68		12	
0,841	841	20	
0,707	707	25	
0,500	500	35	
0,297	297	50	Arena de playa
0,210	210	70	
0,149	149	100	
0,105	105	140	
0,074	74	200	
0,053	53	270	
0,044	44	325	
0,037	37	400	Polvo de talco

Fuente: Ángela Stinger, 2007 - Performance Associates.

Es común la practica en algunas empresas determinar el tamaño de partículas de la pulpa en forma manual, para el control operacional, mediante el muestreo del producto molido del molino (tubería matriz). Esta porción del flujo total es

llevado a una balanza de densidad (Marcy) y un balde para medir la densidad y el porcentaje de sólidos (Análisis 1). (Angela Stinger, 2007).

El proceso consiste en trasvasar el contenido del balde de la balanza de densidad (1 lt. de capacidad), en una malla determinada, se lava todo el contenido del balde y deposita en la malla, después de tener todo el contenido del balde en la malla proceder a lavar ligeramente con un pequeño flujo de agua, se puede apreciar que al momento de lavar los sólidos en la malla, una porción de estos sólidos (menores a la abertura de la malla) son arrastrados por la corriente de agua; después de verificar la ausencia de mineral arrastrado por el agua (el agua que atraviesa la malla se torna mas clara), trasvasar cuidadosamente todo el contenido de la malla nuevamente al balde y enrasar a un litro (capacidad del balde), y llevar todo este contenido a la balanza Marcy para su lectura correspondiente (Análisis 2). (Levi Guzmán, 2007).

Con los resultados obtenidos en el análisis 01 y en el análisis 02 (peso de sólidos en gramos), se realiza un cociente de estos resultados y se obtiene una porción (porcentaje) de sólidos los cuales fueron retenidos por la malla, pero el análisis va mas allá ya que por una simple diferencia de este resultado obtenido con el cien por ciento se obtiene el porcentaje de sólidos pasante, la cual fue mas pequeña de la abertura de la malla a la cual fue sometida. A este resultado final obtenido se le denomina tamaño de partícula en la pulpa (milímetros o micrones). (Levi Guzmán, 2007).

Si bien el análisis de malla es, por lo general la primera opción como técnica de análisis del tamaño de partícula en operaciones de molienda, estas se realizan por lo general en laboratorios y con un tratamiento previo de la muestra (secado), se usa una balanza de densidad y un balde para medir la densidad y el porcentaje de sólidos de pulpas en cualquier proceso húmedo; esta balanza Marcy tiene limitaciones, como por ejemplo su precisión y lectura dificultosa.

Además del cuidado que debe tener el operador desde que toma la muestra, la lleva al balde, registra los datos de la balanza, realiza el trasvase a la malla con

la posibilidad de algún derrame fuera de la malla, el posterior lavado hasta tener una solución clara y trasvasar nuevamente la muestra para su lectura final. Se debe considerar la vibración y ruido del área de trabajo a la cual esta sometido este análisis. Este método requiere un tiempo de análisis relativamente largo (de 15 a 20 min.). Otra limitación en el análisis de tamices en seco, serían las características propias del polvo: no pueden usarse sustancias higroscópicas, electroestáticas o eutécticas.

La ventaja de esta técnica es que no exige muchas preparaciones en la persona que lo hace, y los equipos que se utilizan son de operaciones sencillas y no muy costosas.

Actualmente en el mercado existen una variedad de equipos (Tamices vibratorios), la Tabla 09 ilustra algunos **Modelos de Tamices**.

Tabla 09: Modelos de Tamices.

Intervalo de medición		Método	Instrumento de laboratorio	Cantidad de muestras	Tiempo de análisis	Medio
Mínimo	Máximo					
3,0 µm	5,6 mm	Tamizado	<u>L3P</u> Separadora tamizadora sónica	10 gr	De 1 a 5 min.	Micro seco
5,0 µm	100 µm (malla 140)	Tamizado	<u>Analysette 3 MICRO</u> <u>Opción de micro-tamizado A-3 Pro</u>	200 mg	De 30 a 60 min.	Líquido
5,0 µm	5,60 mm (3-½")	Tamizado	<u>Tamiz vibratorio sónico</u>	Hasta 50 gr	5 min.	Seco
20 µm (635 mesh)	25 mm (1")	Tamizado	<u>Analysette 3 PRO</u> Tamiz vibratorio con microprocesador	De 10 gr a 5 kg	De 10 a 30 min.	Seco / Líquido
20 µm (malla 635)	25 mm (1")	Tamizado	<u>Analysette 3 SPARTAN</u> <u>Tamiz vibratorio digital</u>	De 10 gr a 5 kg	De 10 a 30 min.	Seco / Líquido
45 µm	25 mm	Tamizado	<u>Tyler Ro-Tap</u>	De 10 gr	De 10 a 30	Seco

(malla 325)	(1")		<u>Tamiz vibratorio ASTM</u>	a 5 kg	min.	
63 µm (malla 230)	125 mm (4")	Tamizado	<u>Analysette 18 Tamiz vibratorio</u>	De 6 kg a 17 kg	De 5 a 30 min.	Seco
75 µm (malla 200)	50 mm (2")	Tamizado	<u>Porta-criba</u>	30 kg	De 10 a 30 min.	Seco
75 µm (malla 200)	125 mm (5")	Tamizado	<u>Criba de prueba y Test-Master</u>	50 kg	De 10 a 30 min.	Seco
20 µm (malla 635)	100 mm (4")	Tamizado	<u>Tamices de prueba analíticos Tamiz de prueba ASTM e ISO</u>	Los tamices Tyler están disponibles en diámetros de 3", 8", 200 mm, y 12", así como en tamaños especiales.		

Fuente: Lavallab Inc.

El análisis del tamaño de partícula por difracción láser, es muy utilizada en equipos de control a nivel laboratorio, la técnica de Difracción láser opera bajo la predicción del comportamiento de las partículas sobre la dispersión de luz. Las partículas dispersan luz en todas las direcciones con un patrón de intensidad que es dependiente de su tamaño. La luz dispersada tendrá diferentes intensidades según el ángulo de observación. De una forma simple, se puede decir, que las partículas pequeñas dispersan luz a grandes ángulos, mientras que las partículas grandes dispersan luz a pequeños ángulos. Si un conjunto o grupo de partículas suspendidas en aire o en cualquier otro medio transparente, como el agua o un solvente, es atravesado por un haz de láser, cada partícula dispersará luz frontalmente a un ángulo inversamente proporcional a su tamaño. (Gustav Mie, 1908).

El principio básico considerado en los analizadores de tamaño de partículas por difracción láser es que, con ciertos límites, el patrón de dispersión creado por ese conjunto de partículas es idéntico a la suma de los patrones de dispersión individuales de todas las partículas presentes. Así, con el conocimiento de la disposición geométrica de los detectores de un instrumento y de la fuente de luz, junto con los datos que representan las intensidades relativas de la luz dispersada recibida sobre cada elemento detector del conjunto de todos los detectores, es posible calcular la distribución de tamaño de partículas. (Gustav Mie, 1908)

Estos analizadores son utilizados en diversas áreas como metalurgia, minería, construcciones, industria farmacéutica, química ambiental, agricultura y otras que requieren medición de partículas desiguales y de alta densidad. Empresas como **Honeywell, Lavallab, Thermo y Shimadzu**; están a la vanguardia en este tipo de tecnología.

Este método de análisis del tamaño de partícula por difracción láser es rápido (aprox. 10 seg.) y preciso. Este método se utiliza en aquellos casos en que los tamaños de partículas van desde finas a muy finas, en los cuales se necesita una gran cantidad de análisis, además pueden hacerse determinaciones de una pequeña cantidad de muestra, normalmente se recuentan de 500 a 1000 partículas. (Honeywell ,2009).

Una de las mayores limitaciones para el uso, es la necesidad de conocer la técnica (personal con una capacitación previa y con conocimientos básicos en química, física y electrónica). Y también debemos considerar el tamaño representativo del lote.

Actualmente en el mercado existen una variedad de equipos (Analizadores de Tamaño de partículas por difracción láser), la Tabla 10 ilustra algunos modelos.

Tabla 10: Modelos de Analizadores.

Intervalo de medición		Método	Instrumento de laboratorio	Cantidad de muestras	Tiempo de análisis	Medio
Mínimo	Máximo					
0,01 μm	2000 μm	Difracción láser	<u>Analysette 22</u> <u>NANO TEC</u> <u>Analizador de tamaño de partículas</u>	De 0,1 a 50 cm^3	10 seg.	Líquido / Seco
0,1 μm	2000 μm	Difracción láser	<u>Analysette 22</u> <u>MICRO TEC</u> <u>/ MicroTec XT</u>	De 0,1 a 50 cm^3	10 seg.	Líquido /

			<u>Analizador de tamaño de partículas</u>			Seco
0,3 µm	300 µm	Difracción láser	<u>Analysette 22 COMPACT</u> <u>Analizador de tamaño de partículas</u>	De 0,1 a 50 cm ³	10 seg.	Líquido / Seco

Fuente: Honeywell Inc.

El análisis basado en la absorción de ultrasonido. El método del ultrasonido en la ingeniería es utilizado para el ensayo de los materiales, es una técnica de ensayo no destructivo y tiene diversas aplicaciones, en especial para conocer el interior de un material o sus componentes según la trayectoria de la propagación de las ondas sonoras, al procesar las señales de las ondas sonoras se conoce el comportamiento de las mismas durante su propagación en el interior de la pieza y que dependen de las discontinuidades del material examinado, lo que permite evaluar aquella discontinuidad acerca de su forma, tamaño, orientación, debido que la discontinuidad opone resistencia (conocida como impedancia acústica) al paso de una onda. (Eulogio de la Cruz, 2005; Néstor Cancino, 2005; Julio Yenque, 2005).

El ultrasonido es una vibración mecánica con un rango mayor al audible por el oído humano, que se transmite a través de un medio físico y es orientado, registrado y medido en Hertz, con ayuda de un aparato creado para ese fin.

Rangos de sonido:

Infrasónica	Sónica o audible	Ultrasónica
1 – 16 Hz	16 - 20 KHz	20 KHz a más

El análisis de los materiales mediante ultrasonido se basa en el principio físico: El movimiento de una onda acústica, sabido es que la onda acústica es afectada por el medio a través del cual viaja y se distinguen los siguientes tipos: onda longitudinal, transversal y superficial, debido a ello ocurren los

cambios asociados con el paso de una onda sonora de alta frecuencia a través de un material en uno o más de los cuatro parámetros siguientes: tiempo de tránsito, atenuación, reflexión y frecuencia. Estos parámetros a menudo pueden estar correlacionados con los cambios de las propiedades físicas, dureza, módulo de elasticidad, densidad, homogeneidad, estructura y grano del material. (Eulogio de la Cruz, 2005; Néstor Cancino, 2005; Julio Yenque, 2005).

Las ventajas de su aplicación en materiales derivan de las características que a continuación se citan:

- Se propagan en todos los medios elásticos donde exista fracciones de materia (átomos o moléculas capaces de vibrar).
- La intensidad de vibración depende de la separación interpartículas. Detección y caracterización de discontinuidades por su alta capacidad de penetración.
- Alta velocidad de transmisión de energía sonora a través del medio acuoso y mínima dispersión y absorción de energía de la onda ultrasónica.

Las aplicaciones son muy amplias y abarcan la industria metalúrgica, médica, construcciones navales, aeronáuticas, y otras industrias en general; algunos ejemplos de aplicación son:

El módulo de elasticidad (Young), módulo de cizallamiento, son calculados en función de la longitud y la velocidad de onda. Con el uso de técnicas especiales del método de ultrasonido las propiedades referidas de los materiales se pueden medir también a altas temperaturas.

Nodularidad de la fundición, Se cuantifica la concentración de grafito en hierro colado y su forma mediante la medición de la velocidad de la onda acústica.

Tasa de curado epoxi-concreto armado, La razón de curado con epóxico y el hormigón se determina por cambio de velocidad de sonido cuando estos materiales se endurecen.

Concentración de líquidos, La proporción de una mezcla de dos líquidos a una temperatura dada puede estar correlacionada con la velocidad del sonido por ser disímiles según solución.

Proporción de mezclas, La proporción y la densidad de una mezcla líquido-sólido a una determinada temperatura se pueden correlacionar con la velocidad del sonido y/o atenuación.

Densidad de cerámicos, La densidad de la cerámica puede ser verificada midiendo la velocidad del sonido.

Productos alimenticios, La aplicación del ultrasonido por su condición de ser poco contaminante, se utiliza por ejemplo en la determinación de las edades de huevos y papas, madurez de frutas, contenido de grasa en carne roja, porcentaje de sólidos en la leche entre otros.

Polimerización en plásticos, En plásticos y otros polímeros, las variaciones en la estructura molecular como la longitud o la orientación de cadenas del polímero, a menudo están acompañadas de los cambios en la velocidad del sonido y/o atenuación.

Dimensión y distribución de las partículas y porosidades, Los cambios en el tamaño o la distribución de partículas o la porosidad en un medio sólido o líquido influyen en la amplitud y la frecuencia de ultrasonido.

Profundidad de cementación en acero, Las técnicas del ultrasonido especialmente de onda transversal y de alta frecuencia pueden usarse para medir la profundidad de cementación.

Medida de temperatura, La termometría ultrasónica se usa para medir temperaturas muy altas (por ejemplo a 3000 grados Celsius) monitoreando cambios en la velocidad del sonido.

Ginecoobstetricia y la Reproducción Humana, debido a su bajo costo con respecto a otros métodos diagnósticos, su inocuidad para con la paciente y el feto, y por la amplia difusión de su técnica e interpretación.

La absorción Es uno de los principales mecanismos que producen la atenuación de la onda sónica en un medio. Ello es debido que en el proceso de absorción una parte de la energía es retenida y convertido en calor, producto del rozamiento asociado a las vibraciones a que están sometidas las partículas o moléculas que la conforman. A medida que la onda continua avanzando en el medio llegara un tiempo en el cual la energía cinética de los átomos será regresada al medio, pero esto sucede de forma demorada, entonces se produce un desfase con la onda original produciendo una interacción destructiva, la cual es mayor a mayor frecuencia de onda. La cantidad de energía absorbida durante la propagación de la onda depende de los siguientes factores: Distancia recorrida, Viscosidad del medio y el cuadrado de la frecuencia de Onda.

Empresas como **Thermo Fisher Scientific**, ha desarrollado esta tecnología para la aplicación de su Monitor de Tamaño de Partícula Científico PSM-400MPX, este equipo proporciona el análisis de distribución de tamaño de partícula exacto, en corriente de mezclas. El PSM proporcionará análisis en tiempo real sobre hasta 3 corrientes con 5 fracciones de tamaño de partícula moderadas simultáneamente. Las corrientes con distribuciones que varían entre p80's de 290 y 25 micras pueden ser acomodadas. Con la información del PSM, los operadores de planta pueden optimizar el funcionamiento de circuito de molienda. (Thermo, 2009).

El Monitor de Tamaño de Partícula Científico PSM-400MPX proporciona distribuciones de tamaño de partícula en línea y alimentos sólidos de %. La técnica de análisis está basada en la absorción de ultrasonido. Esto ha sido usado por empresas Thermo durante más de 20 años y bien es probado con la exactitud superior (el 0.75 % en un sigma). El diseño es robusto para la operación continua en ambientes ásperos. El analizador no requiere ninguna dilución (hasta alimentos sólidos del 60 %) y un flujo grande, representativo pasa los transductores.

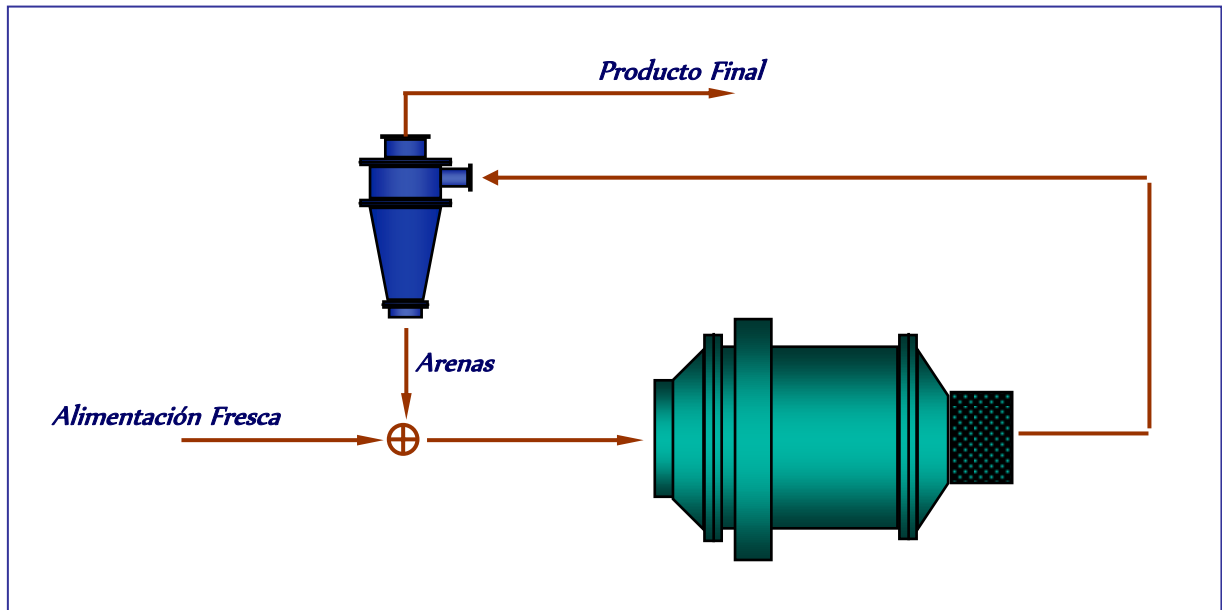
El PSM 400 puede ser usado en la molienda y en los modos siguientes:

- Para descubrir perturbaciones de ciclón como obstrucción y sobrecargas (efecto sogá) en corriente subterránea profunda de ciclón. Maximizar el rendimiento del molino manteniendo el tamaño de producto molido. Evitar para sobremoler y la producción de lodos (debido a, por ejemplo, se cambia el tipo de mineral).
- Otra ventaja del sistema PSM es acerca de la calibración fácil del equipo. Esto tiene un interfaz de usuario moderno y eslabones de comunicación totalmente compatibles con la información de planta y sistemas de control.

Como algunas desventajas de esta tecnología se pueden mencionar las siguientes:

- Hay perturbaciones en la lectura del equipo al tener una pulpa con altas proporciones de sólidos (mayor a 65%), esto suele suceder en productos salientes de Molinos primarios (Molienda de etapa única, ver figura 08).
- Presencia de burbujas (producido por turbulencias de bombeo y temperatura) pueden producir perturbaciones en las mediciones del equipo (Este método es indirecto y requiere un sistema de eliminación de aire en la muestra).

Figura 08: Circuito de una sola etapa de Molienda:



Fuente: Levi Guzmán, 2007 - Molycop

El análisis basado en la medición con calibradores. Son Instrumentos empleados para medir el diámetro o grosor de un elemento delgado, los calibradores o calibradores de procesos sirven básicamente en la técnica de medición, control y regulación. Los calibradores tienen diferentes magnitudes que deben ser atribuidas a señales de medida normalizadas.

Al hablar de calibradores se debe mencionar al calibrador Vernier que es uno de los instrumentos mecánicos para la medición lineal de exteriores, medición de interiores y de profundidades más ampliamente utilizados. Se cree que la escala vernier fue inventado por un portugués llamado Petrus Nonius en 1514. El calibrador vernier actual fue desarrollado muchos años después. (Pierre Vernier, 1631).

El vernier o nonio que poseen los calibradores actuales permiten realizar fáciles lecturas hasta 0.05 o 0.02 mm y de 0.001" o 1/128" dependiendo del sistema de graduación a utilizar (métrico o inglés).

Al comienzo de su aparición los calibradores eran netamente manuales, muy sensibles a la hora de la lectura por parte de los usuarios especialmente

cuando se manejaban tolerancias muy pequeñas. Fue entonces que esta tecnología evoluciono y se convirtió en calibradores electrodigitales, los cuales utilizan un sistema de defección de desplazamiento de tipo capacitancia, tienen el mismo tamaño, peso y rango de medición que los vernier estándar, son de fácil lectura y operación, los valores son leídos en una pantalla de cristal líquido (LCD), con cinco dígitos y cuentan con una resolución de hasta 0.01 mm, que es fácil de leer y libre de errores de lectura.

Cuentan con una gran variedad de unidades de transmisión de datos que envían las mediciones a una computadora central para la administración y almacenamiento de centralizado de datos, su software disponible realiza cálculos estadísticos para la elaboración de diagramas y cartas de control X-R para control estadístico de proceso.

Empresas como **Outotec** de Finlandia han desarrollado una variedad de equipos en base a esta tecnología. El Instrumento de Tamaño de Partícula PSI 200 es un analizador de tamaño de partícula de corrientes de pulpas (mineral con agua) que procesa plantas de molienda. Su principio de medida está basado en una medida directa de tamaño de partícula, usa para esto el calibrador automático de alta precisión. El instrumento requiere una muestra representativa de 70-170 litros/minutos de la corriente de proceso. (Outotec, 2009).

El PSI 200 puede medir hasta tres flujos de muestra con líneas opcionales. El analizador se debe ubicar cerca de los puntos de muestra para que la distancia de transporte de la muestra sea corta y se pueda transportar el flujo por gravedad. Las consideraciones de lavado a presión y limpieza automática del muestreador y de la línea de muestras garantizan alta disponibilidad del sistema.

El rango de tamaño medido es de 20 a 600 micrones. Las lecturas precisas del tamaño de partículas que pasan y se retienen, se calculan dos veces por segundo basado en 60 segundos de datos de medición. El resultado se muestra localmente en una pantalla grande y se envía como una señal de instrumento de 4–20 mA o como datos seriales al sistema DCS de la planta.

Una variable crítica para el control de circuito de molienda es el tamaño de partícula de producto. La medida de tamaño de partícula del ciclón u otro desbordamiento de clasificador es de práctica común en la de industria hoy en día.

El PSI 200 Instrumento de Tamaño de Partícula proporciona el tamaño de partícula en tiempo real y exacto y medidas de densidad de mezcla.

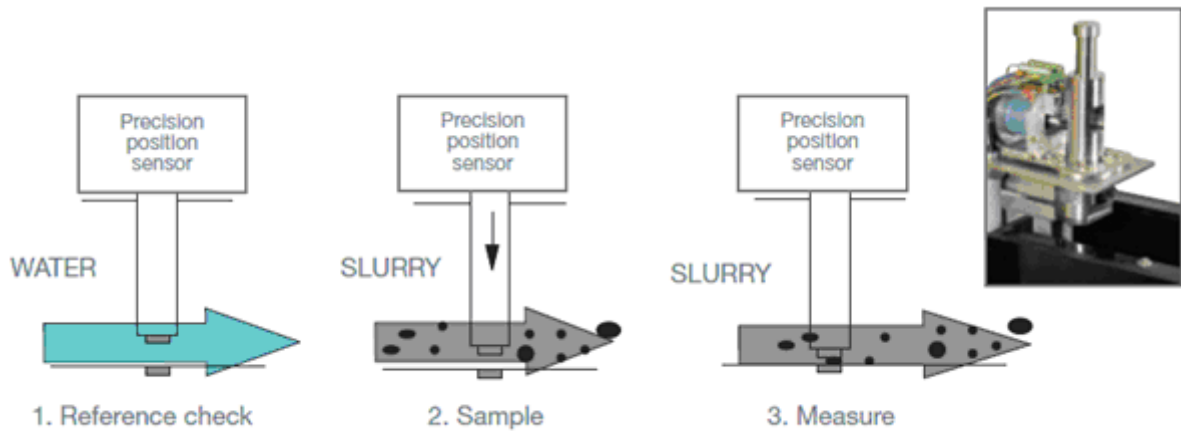
El PSI 200 no es sensible al aire arrastrado (embarcado) en la muestra. La Información del tamaño de partícula y otros instrumentos en línea es usada para el lazo cerrado y el control de sistema experto, que pueda tener la empresa o simplemente esta señal es llevada a un CPU, el cual es visto desde la sala de control y el operador toma las acciones correctivas según sea el caso.

La medida de tamaño de partícula directa tiene las ventajas siguientes:

- La medida de Referencia elimina reflujos automáticamente (lavado de línea).
- No es sensible a viscosidad de mezcla, temperatura o variaciones de densidad. La calibración es válida durante los períodos largos de tiempo.
- Burbujas de aire y minerales escamosos (la mica por ejemplo) no confunden el instrumento. La espuma en remoliendas no es un problema.
- Para el cuidado y mantenimiento no requieren de una preparación intensiva.

La Calibración del PSI 200 es realizada por medición de una serie de muestras y correlacionando las lecturas de señal del sensor con análisis de pantalla respectivos de laboratorio. Cuando el procedimiento de calibración automático es iniciado, las lecturas de sensor son salvadas (guardadas) y la muestra moderada por el sensor es desviada por el desecho de calibración en un cubo de la muestra. (Ver pasos de análisis en Figura 09).

La Figura 09: Muestra el trabajo del calibrador automático.



Fuente: Outotec.

La utilización de este tipo de tecnología en las grandes mineras del Norte de Chile (Codelco, la escondida), es frecuente va desde 02 a 04 equipos por planta dependiendo de la etapa del proceso donde se necesita el monitoreo del tamaño de sólidos (plantas de procesamiento de cobre y molibdeno).

En el Perú, la compañía minera Antamina utiliza este tipo de tecnología para el control de sus operaciones. Antamina produce diferentes concentrados de mineral, fundamentalmente cobre y zinc, además de molibdeno, plata y plomo que son obtenidos de manera secundaria en el proceso de producción. Estos concentrados son polvos finos de mineral reducidos a micrones, con una alta ley de contenido metálico.

La compañía se encuentra ubicada en la quebrada del mismo nombre, en el distrito de San Marcos, provincia de Huari, en la región Ancash, entre los 4,200 y 4,700 metros sobre el nivel del mar. Cuenta con un gigantesco molino SAG (Semi-autógeno) marca FFE Minerals con un Gearless Mill Drive, de 38 pies de diámetro y con 27,000 caballos de fuerza.

De igual manera otras compañías mineras del Perú, han incluido en sus procesos el analizador en línea como parte de su control operativo. (Ver anexo 01).

1.1.3 FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Cómo aumentar los niveles de recuperación de Oro de la pulpa cianurada de la planta Gold Mill de la compañía minera aurífera Yanacocha S.R.L?

1.1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.

Con los resultados actuales de recuperación se estima que la cantidad de cianuro utilizado para recuperar el oro del mineral alimentado a planta sufra un incremento mes a mes debido a los resultados anteriormente mencionados, la cantidad de cianuro en exceso (no planificado) se estima en 7227 \$/mes, estas cifras dependen directamente de la ley de cabeza (cantidad de oro en el mineral, a mas ley mas cianuro). Es por esto que se tiene que buscar alternativas para minimizar la cantidad de Oro perdido en el mineral molido producto de tener una malla inferior a la deseada (partículas muy grandes), y así evitar un alto consumo del reactivo lixivante (cianuro de sodio).

La dosificación de cianuro en los dos puntos de la planta esta sujeta a la cantidad de Oro en el Mineral de ingreso, pero con un tope máximo de 550 ppm ya que el exceso de este reactivo ocasiona problemas en las planta Ewtp. El sistema automático de análisis de malla proporciona datos de la calidad de la molienda, si es muy gruesa se utilizara mas cianuro para la lixiviación y si esta de acuerdo a los requerimientos se optimizara el consumo del reactivo.

La manipulación de la pulpa para el análisis manual de malla (tamaño de partícula) es medianamente confiable por sus variaciones desde la toma de muestra, proceso de lavado y lectura del resultado, el empleo de un sistema automático de control minimiza estos errores. Dicha tecnología es actualmente

utilizada, por plantas de procesamiento de cobre, plomo y zinc en Perú, Chile, etc.

Sin el sistema automático de análisis de malla, se requeriría que la manipulación y la frecuencia de análisis manual de malla se realicen de manera más seguida, con el consecuente aumento del tiempo de exposición del personal a la pulpa (contiene reactivos químicos como el cianuro de sodio y hidróxido de calcio).

El sistema automático de análisis de malla requiere de cuidados simples para su manipulación y toma de muestras en el proceso de molienda. Se reduciría el tiempo de análisis, esto ayudaría a tener información mas rápida y en línea para la toma de decisiones por parte de los operadores.

Por tanto, se espera que el sistema automático de análisis de malla, se implemente a la salida del molino para tener un dato real y rápido del tamaño del producto, es de esperarse, por consiguiente, que las pérdidas de oro y el consumo de reactivo disminuyan también en la pulpa saliente (arenas de molienda), aun cuando la cantidad de oro y cobre en la alimentación de ingreso a planta se incrementen.

La justificación del problema es del tipo práctica, donde se resaltan:

Parte Económica: Ya que aplicando la nueva tecnología se reducirían la cantidades de cianuro utilizado en el semestre aproximadamente de **22.7 T.** y se incrementaría la recuperación de Oro en un **1.0 %**. (Ver Evaluación económica y anexos 02 de performance del equipo PSI-200).

Parte Seguridad: Al cambiar el tipo de análisis, el riesgo por manipulación y operación disminuye. (Ver anexos-03).

1.2 HIPÓTESIS

Implementando un sistema automático de control de tamaño de partículas con la tecnología del equipo PSI 200, permitirá aumentar los niveles de recuperación de Oro de la pulpa cianurada de la planta Gold Mill, de la compañía minera aurífera Yanacocha S.R.L.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Aumentar los niveles de recuperación de oro de la pulpa cianurada, de la planta Gold Mill de la compañía minera aurífera Yanacocha S.R.L, implementando un sistema automático de control de tamaño de partículas con la Tecnología del PSI200.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- a. Reducir el consumo del reactivo lixiviante.
- b. Reducir el tiempo de análisis de malla en el proceso de molienda.
- c. Mejorar la calidad del producto obtenido en el proceso de molienda.
- d. Reducir el tiempo de exposición de los trabajadores en el muestreo de pulpa.
- e. Minimizar la cantidad de oro no recuperado en el proceso de lixiviación.
- f. Evaluar los resultados ofrecidos por el PSI 200 en el proceso de molienda.

PARTE SEGUNDA: MATERIALES Y METODOS

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1 MARCO TEORICO

2.1.1 Molienda

La etapa de reducción de tamaño que permite obtener la liberación de partículas útiles de la mena necesaria para la posterior concentración del mineral por flotación o lixiviación, es la correspondiente a la molienda. En esta etapa se reduce el tamaño de las partículas por una combinación de mecanismos de impacto y abrasión. (Levi Guzmán, 2007).

La molienda se realiza en un molino rotatorio de carga, el que consiste en: un recipiente cilíndrico de acero, provisto con revestimientos renovables contra el desgaste, entre los cuales se ubican dispositivos denominados liners, que permiten aumentar el levante de la carga. Un molino rotatorio de carga contiene además, una carga suelta de cuerpos de trituración, denominados medio de molienda. Al girar el molino provoca que los elementos contenidos en su interior se muevan en conjunto y generen la reducción de tamaño. El medio de molienda puede ser: bolas o barras de acero, guijarros y en algunos casos, la misma mena (molienda autógena).

(Levi Guzmán, 2007).

La característica distintiva de un molino rotatorio de carga es el uso de cuerpos de trituración sueltos, que son grandes, duros y pesados en relación a las partículas de mena, pero pequeños en relación al volumen del molino y que ocupan ligeramente menos de la mitad del volumen del molino. (Levi Guzmán, 2007).

En el procesamiento de minerales la molienda es un proceso continuo, donde el material se alimenta a una velocidad controlada desde las tolvas de almacenamiento hacia un extremo del molino y se descarga por el otro, después de un tiempo de residencia o permanencia apropiada. El control del

tamaño del producto se realiza por el tipo de medio de molienda que se usa, velocidad de rotación del molino, naturaleza de la alimentación de la mena y tipo de circuito que se utiliza. (Levi Guzmán, 2007).

Las operaciones de molienda son caras, por el alto consumo de energía, alto costo de los medios de molienda y desgaste de los equipos. Por esta razón, el material se debe moler hasta satisfacer los requerimientos metalúrgicos: de liberación de tamaño y minimización de la generación de lamas finas. (Levi Guzmán, 2007).

La molienda se realiza generalmente, en dos etapas: la primera desde el tamaño de descarga de la planta de chancado hasta un producto de aproximadamente 10 mallas y la segunda desde 10 mallas hasta obtener un producto liberado de 35 a 200 mallas o algunas veces más finos. Una vez que las partículas de minerales han adquirido el tamaño adecuado, son retiradas del circuito a través de operaciones de clasificación. (Levi Guzmán, 2007).

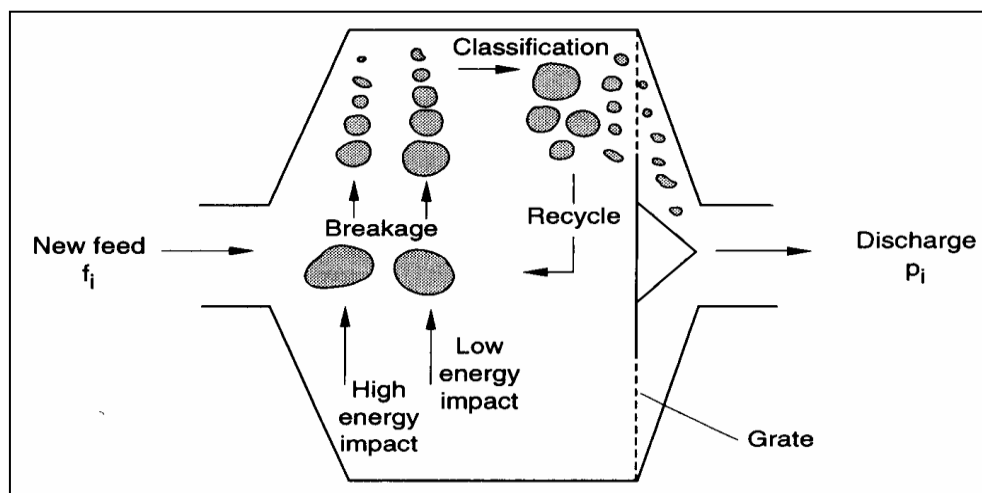
Para entender como trabajan los molinos AG y SAG es necesario comprender la aglomeración y movimiento de la carga. Debido a la dureza de las bolas de acero estas se desgastan en el molino lentamente y de una manera predecible. Esto conduce a un volumen de carga de molienda y distribución de tamaño constante, esta última siguiendo un patrón que es similar para la mayoría de los molinos. En consecuencia, el rendimiento de un molino de bolas es fácil de predecir. Esto contrasta fuertemente con los molinos AG y en menor grado con los molinos SAG, en los cuales la distribución de tamaño de alimentación y la dureza del mineral dictan el volumen y distribución de tamaño de los medios de molienda. También existen diferencias entre molinos de bolas y molinos AG/SAG en términos de los mecanismos de rotura que predominan en cada una como también en el transporte de la pulpa. (Levi Guzmán, 2007).

El proceso que ocurre en los molinos AG/SAG puede representarse esquemáticamente de una forma altamente simplificada, como se muestra en la Figura 10. La alimentación entra al molino y es sometida a rotura por medio de colisiones con otras partículas y/o la carcasa del molino. El producto sale ya

sea vía parrilla o permanece para ser sometida a colisiones adicionales. El proceso tiene esencialmente tres componentes, a saber:

- Frecuencia de colisiones (tasa de rotura).
- Distribución de tamaño del mineral después de la colisión (función de distribución de apariencia).
- Transporte de partícula hacia afuera del molino (tasa de descarga).

Figura 10: Diagrama esquemático de los mecanismos de proceso de molino AG/SAG.



Fuente: Levi Guzmán, 2007 - Molycop.

Al igual que el molino SAG, el [molino de bolas](#) consiste en un cilindro de acero giratorio. Sin embargo, los molinos de bolas tienen una geometría diferente a aquella de los molinos SAG: la longitud de un molino de bolas excede su diámetro, mientras que el diámetro de un molino SAG excede su longitud. Como en el molino SAG, el molino de bolas está soportado en cada extremo por muñones huecos que giran sobre cojinetes. En ambos tipos de molinos, hay revestimientos resistentes a la abrasión empernados al interior del casco y cabezales del molino, y la alimentación ingresa a través de un chute de alimentación y muñón del extremo de alimentación. Las bolas de molienda de

acero llenan el molino de bolas hasta en un 25 a 35 por ciento de su volumen total, lo cual es considerablemente más de que el 10 a 12 por ciento del molino SAG. (Levi Guzmán, 2007).

La pulpa de mineral llena los vacíos entre las bolas. A medida que el molino de bolas recibe alimentación, la carga total del molino aumenta en volumen hasta que rebalsa a través del muñón de descarga.

La acción en un molino de bolas es más una acción de caída en cascada que la de efecto catarata del molino SAG ya que el molino de bolas se llena a un mayor volumen. A medida que el molino de bolas gira, una combinación de fuerza centrífuga y fricción mantiene la carga de pulpa y bolas de molienda de acero contra el lado ascendente del molino. Eventualmente, la carga se desliza por la cara de la parte ascendente de la carga hacia el pie. Los revestimientos de los molinos de bolas están diseñados para impedir el deslizamiento y el rodar de las bolas hacia abajo por la superficie ascendente del casco. (Esto es distinto a las barras levantadoras del molino SAG de sección cuadrada, que tienden a levantar y dejar caer la carga.) Las partículas minerales son rotas al ser apretadas entre las bolas, entre las bolas y los revestimientos, o simplemente son desgastadas por rozamiento. Se agregan nuevas bolas de molienda al molino en forma periódica para reemplazar las bolas desgastadas. El resultado es una variación de tamaños de bolas. (Levi Guzmán, 2007).

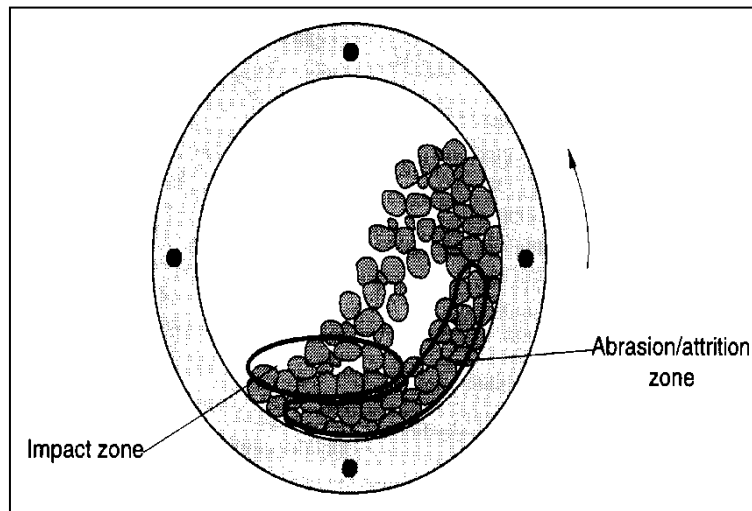
La pulpa que sale del molino ingresa a un trómel fijado al extremo del muñón de descarga. El trómel o tamiz trómel es cilíndrico y gira con el molino. El tamiz consiste en un bastidor abierto con paneles perforados fijados sobre su superficie interior. Toda la pulpa pasa a través de este tamiz. Ocasionalmente bolas de molienda desgastadas salen del molino con la pulpa y descargan con cualquier otro material de sobretamaño por el extremo del trómel. (Levi Guzmán, 2007).

En la Figura 11 se muestra un esquema con la forma y movimiento de la carga en molinos AG/SAG indicando las regiones donde se produce la rotura. Hay básicamente dos. La primera es una superficie en la región del talón donde se produce la rotura por impacto. La cantidad de rotura que se produce en esta

región está influenciada por la frecuencia con la cual se vuelca la carga y la energía que se genera en el impacto. La segunda es en el cuerpo de la carga a medida que es levantada por la rotación del molino. (Levi Guzmán, 2007).

En esta región la carga no se mueve como un cuerpo sólido sino que comprende una serie de capas que se deslizan una sobre otra. Esto genera una gradiente de velocidad angular en la carga.

Figura 11: Movimiento de la carga y su asociación con los mecanismos de rotura.



Fuente: Levi Guzmán, 2007 - Molycop.

Un buen control de molinos AG/SAG comienza con un buen diseño de planta. Especialmente respecto del acopio y recuperación. Igual de importante es una adecuada relación de trabajo entre los departamentos de proceso y minado para garantizar una mezcla y fragmentación de minerales consistente y apropiada. (Levi Guzmán, 2007).

Deficiencias en estas áreas derivarán en una variabilidad en la distribución de tamaño de alimentación y dureza del mineral y, en consecuencia, harán sumamente difícil mantener el molino AG/SAG en un estado de equilibrio óptimo.

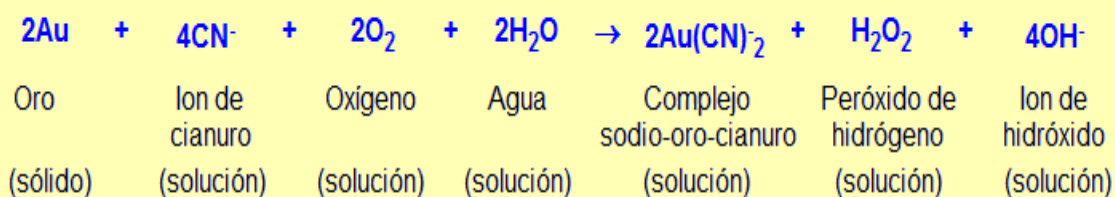
2.1.2 Lixiviación de Oro y Plata

El oro es uno de los metales más durables y resistentes a la corrosión y es extremadamente difícil de disolver. Sólo unas pocas soluciones son capaces de disolverlo, incluidas el cianuro de sodio (NaCN), cianuro de potasio (KCN), aqua regia (una mezcla poderosa con un 25 por ciento de ácido nítrico [HNO₃] y 75 por ciento de ácido clorhídrico [HCl] y una cantidad pequeña de otros agentes especiales). El cianuro de sodio es el agente más comúnmente elegido, principalmente debido a su relación costo/efectividad y es el reactivo que se ha elegido en muchas plantas alrededor del mundo para la obtención de este metal. La plata también se disuelve con cianuro de sodio. Todas las referencias al oro también son aplicables a la plata. (Ángela Stinger, 2007).

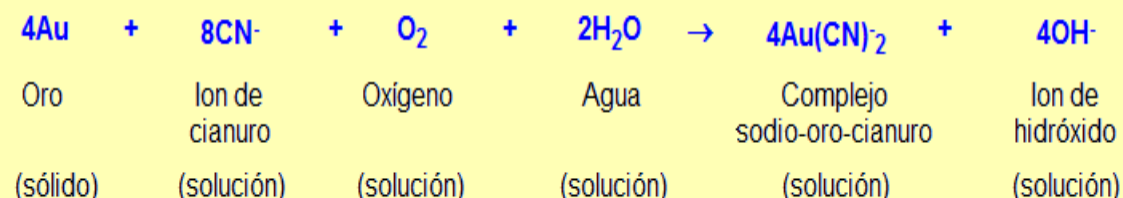
La reacción química para disolver las partículas sólidas de oro (Au) en los tanques de lixiviación con solución de cianuro diluido se lleva a cabo en [dos etapas](#) (Tabla 11).

Tabla 11: Mecanismo de Lixiviación del Oro.

La mayor parte del oro se disuelve mediante la siguiente reacción:



Sin embargo, una porción pequeña pero significativa del oro se disuelve de acuerdo a la siguiente reacción:



El complejo de sodio-oro-cianuro obtenido es muy estable en la solución rica de lixiviación.

Fuente: Ángela Stinger, 2007 - Performance Associates.

La velocidad de disolución del oro es directamente proporcional a la concentración de la solución de cianuro, hasta una velocidad máxima. Si se supera ese máximo, los aumentos en la concentración de cianuro pueden comenzar a inhibir la velocidad de disolución. La reacción también depende de la temperatura y la temperatura óptima en un contenedor de lixiviación con agitación es de 85°C. Sin embargo, en la práctica esta temperatura no se alcanza porque es excesivamente costoso calentar los grandes volúmenes de pulpa en las plantas de proceso. (Ángela Stinger, 2007).

La disolución de oro utiliza sólo la mitad de un uno por ciento del cianuro utilizado en el proceso de lixiviación. El resto del cianuro lo consumen otros elementos como el hierro y el cobre (denominados cianicidas).

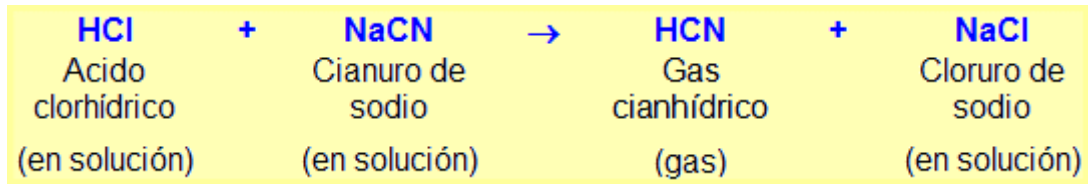
La mayor parte del mineral restante no se disuelve. La pulpa ahora contiene lo siguiente:

- Ganga.
- Solución de proceso.
- Compuestos solubles de material no deseado.
- Complejos de oro-cianuro y plata-cianuro disueltos.

La disolución de oro mediante soluciones de cianuro debe llevarse a cabo en un medio alcalino. El cianuro de sodio comienza a descomponerse cuando el pH de la solución baja a un nivel inferior a 10, generando el gas mortífero cianhídrico. La tasa de descomposición aumenta a medida que el pH disminuye, y al llegar al pH de 4.0, todo el cianuro de sodio se descompone, transformándose en gas cianhídrico. Hasta una cantidad muy pequeña de gas cianhídrico puede ser peligrosa. Por lo tanto, para mantener la alcalinidad protectora de la solución de lixiviación, minimizando así la generación de gas cianhídrico, generalmente se agrega cal hidratada ($\text{Ca}[\text{OH}]^2$) o soda cáustica (NaOH) a las soluciones que contienen cianuro. (Ángela Stinger, 2007).

La Tabla 12 muestra un ejemplo de una [reacción básica de solución de cianuro de sodio con un ácido común](#).

Tabla 12: Mecanismo de reacción del cianuro con el ácido.



Fuente: Ángela Stinger, 2007 - Performance Associates.

Generalmente se agrega cal al molino SAG en el circuito de molienda para mantener el **pH** en los procesos en 10,5 antes de la adición de solución de cianuro en el circuito de lixiviación. Esto mantiene la alcalinidad protectora de las pulpas y las soluciones que contienen cianuro.

2.1.3 Estudios efectuados en relación con el tamaño de partícula en la cianuración para la disolución de oro en menas.

Realizadas en la unidad minera de Ponce Enríquez, de la Provincia del Azuay en el país del Ecuador, (Fernando Morante, 2005; Luis Gonzaga, 2005), detallo lo siguiente:

El trabajo se desarrolló en los laboratorios de Mineralurgia, en el área de Minas de la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la tierra-ESPOL y para esto se tomo una muestra representativa de las colas de amalgamación de oro de las menas de Ponce Enríquez, provincia del Azuay.

En el laboratorio se hicieron cinco diferentes pruebas de cianuración por agitación, cuatro de las pruebas en botellas y una restante en el tanque de lixiviación Pachuca. Los tres primeras pruebas (en botella) se los hicieron con el control químico de cianuro y cal; y los dos últimos, el restante de botella, y el del tanque de lixiviación con el control de cianuro, cal, y nitrato de amonio. Se variaron las concentraciones de cianuro (0,03 - 0,05 - 0,1%) para la determinación de cual es la concentración con la cual se obtiene mayor porcentaje de recuperación de oro. El control se hizo a ciertas horas

determinadas durante 32 horas. Terminada la cianuración, se procedió a hacer la recuperación por precipitación con plomo y zinc.

Las soluciones Líquidas fueron analizadas por volumetría para determinación del cianuro libre y por absorción atómica para determinación de contenido de oro. En el Test de tanque lixiviación y en el último en botella, se hicieron curvas de recuperación de oro.

La muestra inicial para el análisis fue de 200 Kg. Después esta muestra fue homogenizado y cuarteado para ser repartido en 04 test (pruebas) de cianuración de 08 Kg. Para pruebas en botellas y un test de tanque de lixiviación Pachuca de 18 Kg.

Obtenidos los pesos de las muestras en las diferentes mallas, se elabora una tabla que contenga como dato: malla, abertura en micrones, % peso y % peso acumulado pasante Ac(-). Con esta data se calcula el F80 y P80; graficando en papel semilogaritmico, los valores de las aberturas y el acumulado pasante Ac(-), si se desea determinar en forma analítica se debe recurrir a la interpolación o extrapolación según sea el caso. En algunas publicaciones (Adolfo Márchese, 2004), se ha argumentado lo siguiente:

El índice de trabajo es un parámetro de conminución y tiene una relación directa con el F80 y P80, además expresa la resistencia de un material a ser triturado y molido. Numéricamente son los kilowatts-hora por tonelada corta requeridos para reducir un material desde un tamaño teóricamente infinito a una producto de 80% menos 100 micrones.

La Tercera Teoría o “Ley de Bond” se transformó en la base más aceptada para el dimensionamiento de nuevas unidades de molienda:

$$E = 10 * W_i * \left(\frac{1}{\sqrt{P80}} - \frac{1}{\sqrt{F80}} \right)$$

Donde:

E = Consumo Específico de Energía, Kwh/ton molido.

F80 = Tamaño 80% pasante en la alimentación, μm

P80 = Tamaño 80% pasante en el producto, μm

Wi = Índice de Trabajo de Bond, indicador de la Tenacidad del mineral, Kwh/ton.

En la expresión anterior, el par (F80, P80) se denomina la 'tarea de molienda'; es decir, el objetivo de transformar partículas de tamaño característico F80 en partículas de tamaño menor P80. Mediante la ecuación anterior, el índice de Bond permite estimar la energía (Kwh) requerida para moler cada unidad (ton) de mineral. Dicho consumo específico de energía determina a su vez la capacidad de la sección de molienda por la relación:

$$M = \frac{P}{E}$$

Donde:

M = Tasa de Tratamiento o Capacidad del molino, ton/hr.

P = Potencia Neta demandada por el molino, Kw.

Otro método más simple que el papel semilogaritmico, es ajustando dichos datos a una función conocida como Gates Gaudin Schumann, que a continuación se muestra:

$$Y = 100 * \left(\frac{x}{K} \right)^m$$

Donde:

Y = % AC (-), % de acumulado pasante

x = Tamaño de las partículas en cada fracción

K = Tamaño máximo de partícula en la distribución μm

m = Pendiente de la recta

Los valores de m son determinados utilizando la regresión lineal simple, para ello se recurre a la función conocida índice (estimación lineal) de la hoja de cálculo Excel. De la muestra inicial de 200 Kg. La distribución del tamaño de grano se muestra en la Figura 12 y nos dice que el 80 % del material se encuentra bajo los 225 μm de diámetro.

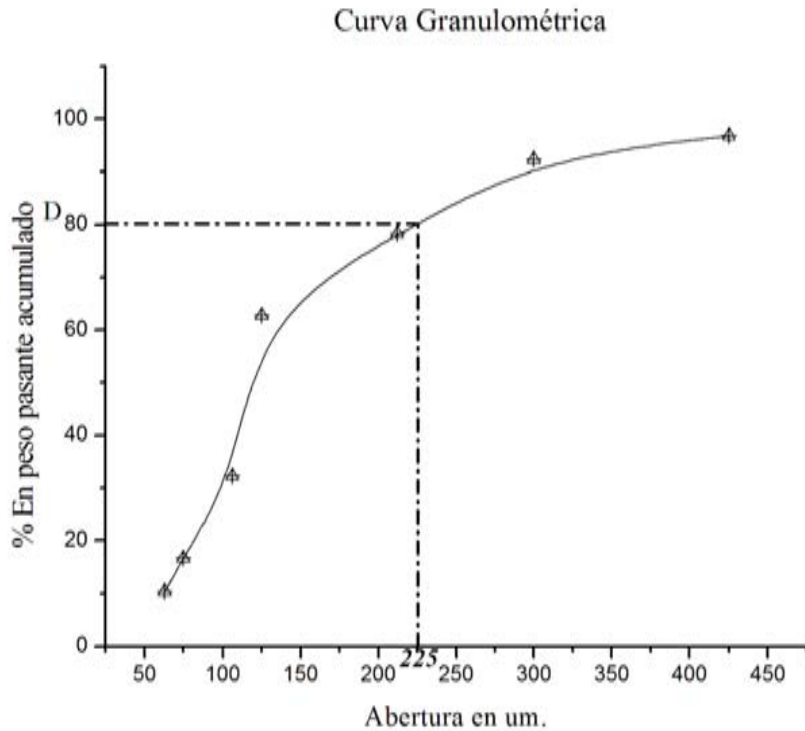


Figura. 12. Curva Granulométrica de la muestra.

Fuente: Infoindustriaperu.

En la **tabla 13** se observa que la ley promedio de oro y plata en los diferentes tamices oscila entre 60 y 65 g/T, siendo su máximo en el tamiz 120 M, y su mínimo en el tamiz 50 M, esto nos da una pauta para saber a que granulometría podemos obtener la mayor recuperación del mineral y hacer su liberación.

Tabla 13: Resultados de ensayos al fuego para el cálculo de tenores (leyes o contenidos metálicos) de oro y plata en los Tamices.

Tamiz (Mesh)	Muestra (g)	Dore (mg)	Peso Oro (g)	Peso Plata (g)	Tenor Oro (g/Tm)	Tenor Plata (g/Tm)
40	40	4.9	2.5	2.4	62.5	58.0
50	50	2.2	1.3	0.9	26.0	16.0
70	50	5.6	3.1	2.5	62.0	48.0
120	50	7.0	3.8	3.2	76.0	62.0
140	50	5.2	2.5	2.7	50.0	52.0
200	40	5.2	2.4	2.8	60.0	68.0
230	40	5.7	2.6	3.1	65.0	75.5
-230	40	5.7	2.5	3.2	62.5	78.0

Fuente: Infoindustriaperu.

De acuerdo con la tabla 14. Vemos que en la cianuración 3 se produce el mayor porcentaje de recuperación de oro (mas del 90%), además hay un porcentaje bajo de recuperación en sus colas, lo que nos indica que estas podrían ser las condiciones optimas de trabajo, esto es concentración de cianuro de mantenerla al 0,1%, cal al 0,03%, por un tiempo de 32 horas y una velocidad de agitación de 56 rpm. Además con estas condiciones de cianuración no hubo necesidad de añadir más cal porque el pH se mantuvo en el rango aceptable.

Tabla 14: Recuperación de oro y plata de las soluciones y colas.

Ensayos	Muestra	Dore (mg)	Tenor Oro (g/Tm)	Tenor Plata (g/Tm)	Oro (%)	Plata (%)
Cola de Molino	50 g	6.3	64	60	100	100
Cola de Cianuro 1	50 g	2.7	16	36	25	60
Cola de Cianuro 2	40 g	3.3	22.5	60	35.2	100
Cola de Cianuro 3	50 g	3	2.65	55.4	4.14	92.3
Solución 1	3 lt	51.6	55.5	21.9	86.7	36.5
Solución 2	3 lt	43.5	44.9	18.4	70	30.7
Solución 3	3 lt	50.4	61.4	14.3	95.9	39.6

Fuente: Infoindustriaperu.

En la **figura 13 (A –B)** de consumo de reactivos, en las botellas se observa un aumento en el consumo de cianuro en las primeras horas, para después tener una tendencia estable. Así también el consumo de cal en las primeras horas es alto debido a que tenemos una mena muy acida.

Figura 13 A: Grafica de consumo de reactivo NaCN durante las pruebas.

Fuente: Infoindustriaperu.

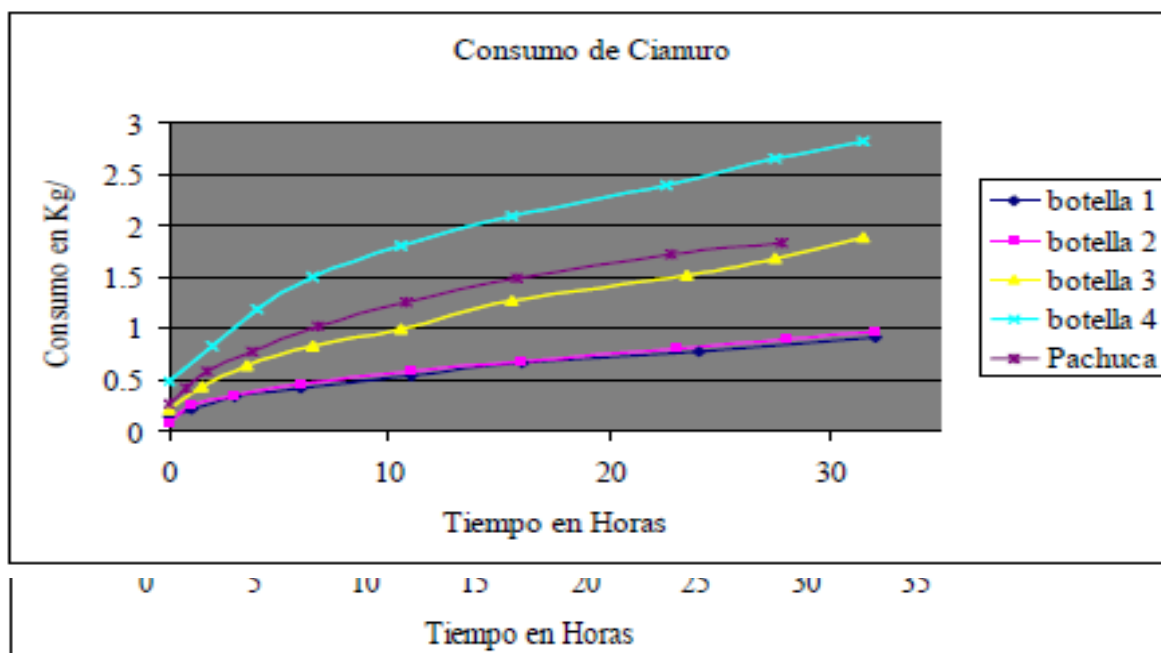


Figura 13 B: Grafica de consumo de reactivo Cal durante las pruebas.

Fuente: Infoindustriaperu.

Según las tendencias mostradas se aprecian una variación pronunciada en la botella 04, la explicación va porque a esta botella se agregó una concentración determinada de nitrato de amonio el cual forma complejos con algunos cianicidas como el cobre y algunos sulfuros. Con ésta sustancia se consigue una disminución de consumo de cianuro, pero la concentración que se utilizó en la prueba fue muy alta, de tal forma que se disolvieron impurezas que perjudicaron la perfecta lixiviación de oro, de allí sus bajos porcentajes de recuperación (ver tabla 15.).

Tabla 15: Recuperación y disolución de oro en la prueba de botella 4.

Tiempo (H)	Dore (mg)	% de Oro Disuelto	% de Oro Recuperado
0	3.8	12.38	17.5
4	4.8	15.31	21.6
7	4.4	13.74	19.4
11	5.4	16.49	23.3
16	6.4	19.11	26.98

Fuente: Infoindustriaperu.

Los valores de recuperación de oro que se ven en la tabla 16. Para el tanque de lixiviación Pachuca, se debe a que en la prueba de laboratorio se observó un asentamiento de limos; esto no permitió una lixiviación completa del material ingresado al tanque de lixiviación Pachuca, por tanto para este caso en particular el diseño de inyección de aire del prototipo del tanque de lixiviación Pachuca no fue suficiente para levantar la peso de la muestra.

Tabla 16: Recuperación y disolución de oro en prueba de tanque lixiviación Pachuca.

Tiempo (H)	Dore (mg)	% de Oro Disuelto	% de Oro Recuperado
2.0	6.1	17.88	23.57
6.5	4.7	10.62	14.17
10.5	8.1	23.13	30.84
15.5	11	31.13	41.51
27.5	14.5	31.56	42.10
31.5	16.7	26.15	34.86

Fuente: Infoindustriaperu.

De las pruebas presentadas se concluye lo siguiente:

- Las condiciones optimas para la disolución de oro de las menas de Ponce Enríquez son: concentración de cianuro de 0,1% y de cal 0.03% por un periodo de 32 horas, para obtener la máxima recuperación de oro. Por otra parte se determino que el tenor promedio de oro y plata en los tamices es de 60 a 65 g/Tm para cuando el mineral que se encuentre comminuido el 80% sea menor a 225 μm .
- La importancia de la correcta liberación de la especie valiosa (oro), en los procesos de conminución, como punto de partida para la liberación en los procesos de lixiviación por agitación.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 Tamaño de partícula.

En las diversas etapas de conminución y concentración de minerales, el tamaño de partícula es sin lugar a dudas una de las variables de mayor relevancia operacional. La caracterización del comportamiento del mineral en las etapas de chancado, molienda, flotación y separación de sólido/líquido depende en gran medida del tamaño de las partículas tratadas. (Levi Guzmán, 2007).

El tamaño de una partícula es una dimensión representativa de su extensión en el espacio. Esta puede ser caracterizada por una dimensión lineal, tal como por ejemplo, el largo de la cuerda que cruza la sección proyectada de la partícula desde una posición predeterminada. Dependiendo de la técnica de medición utilizada, es posible también caracterizar el tamaño de una partícula sobre la base de su área superficial, su volumen, o su peso y es posible también definir relaciones matemáticas de equivalencia entre las distintas metodologías. (Levi Guzmán, 2007).

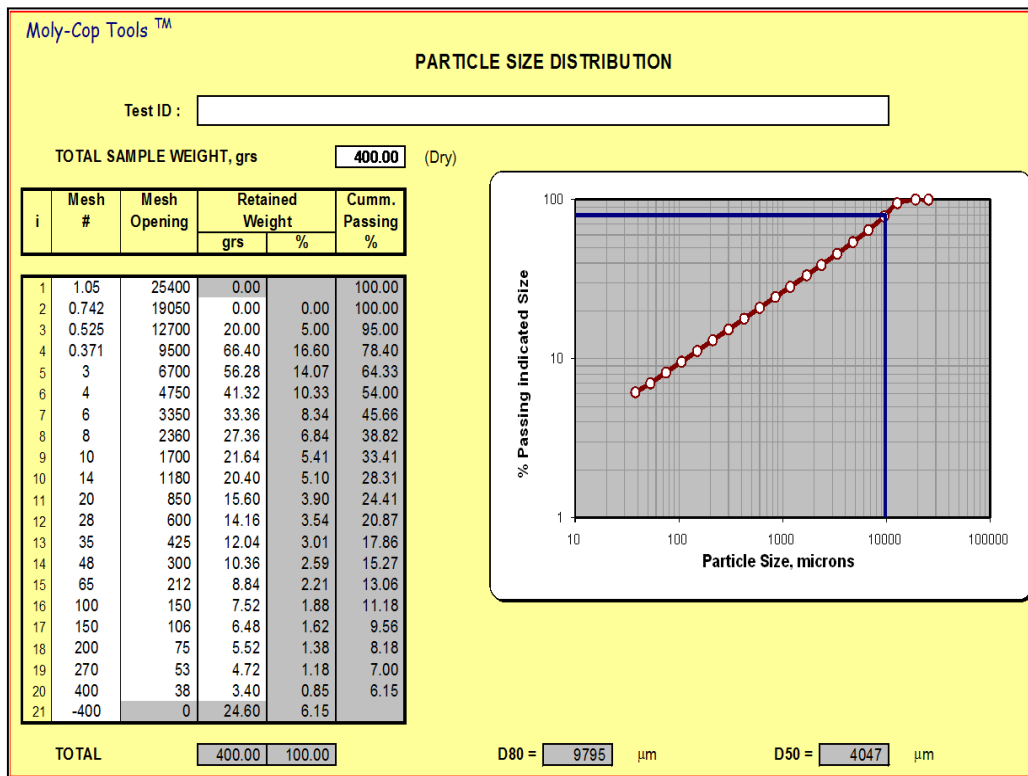
2.2.2 Distribución de Tamaños.

En las diversas etapas de conminución del mineral, tendientes a liberar las especies valiosas, se producen partículas de variados tamaños. A fin de caracterizar el comportamiento metalúrgico de cada operación individual, surge entonces la necesidad de cuantificar el contenido de partículas de un tamaño dado relativo al total de partículas en la muestra; propiedad normalmente referida como “distribución granulométrica” o simplemente conocida como “granulometría”. (Levi Guzmán, 2007).

La metodología normalmente utilizada en plantas concentradoras de minerales consiste en hacer pasar la muestra a ensayar por una serie de tamices ordenados secuencialmente de mayor a menor abertura, en forma descendente.

La Tabla 17, representa un ejemplo de dicho procedimiento. Se acostumbra graficar en papel logarítmico, el porcentaje (%) pasante acumulado vs. la abertura de la malla en micrones, lo que normalmente se denota como “perfil granulométrico”. (Levi Guzmán, 2007).

Tabla 17: Perfil Granulométrico de un mineral.



Fuente: Levi Guzmán, 2007 - Molycop.

2.2.3 Conminución.

Se denomina conminución a la operación de reducción de tamaño de un mineral. El objetivo de esta operación es obtener material de granulometría adecuada para su utilización directa o un tratamiento posterior. (Levi Guzmán, 2007).

En las etapas de conminución, tanto los mecanismos que producen la reducción de tamaño, como el consumo de energía específica, suelen ser parámetros controladores de la reducción de tamaño y granulometría final del producto.

2.2.4 Mecanismos de Conminución.

La reducción de tamaño en un molino se debe a la acción de tres tipos de mecanismos que pueden actuar simultáneamente: impacto, compresión y abrasión. La Tabla 18 define estos mecanismos. (Levi Guzmán, 2007).

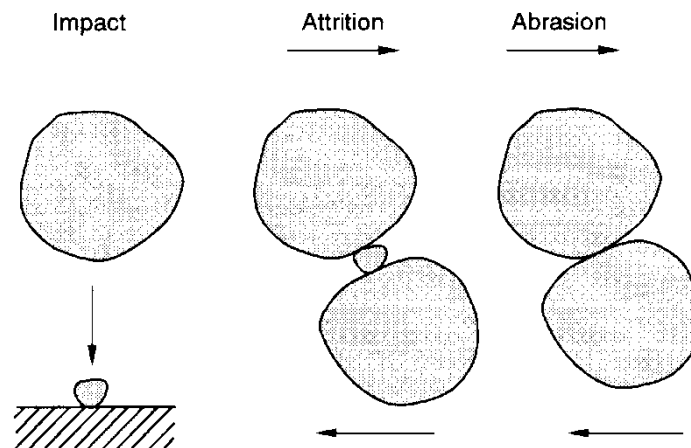
Tabla 18: Mecanismos de Conminución.

Mecanismo	Definición	Ejemplo
Por impacto	Ocurre cuando la energía es aplicada rápidamente y es mayor que la que se necesita para romper la partícula, entonces la partícula se rompe en muchos pedazos con un amplio rango de tamaños.	Cuando bolas de gran tamaño (5") son levantadas con suficiente energía, como para que se separen de la carga y caigan golpeando violentamente al mineral que se encuentra al pie del molino.
Por Compresión	Ocurre cuando la energía es aplicada lentamente y es la necesaria para llevar a la partícula justo a su punto de fractura, rompiéndola en unos pocos pedazos.	Cuando bolas y rocas de gran tamaño, que ruedan hacia el pie de la carga, comprimen partículas de tamaño intermedio y fino.
Por Abrasión	Ocurre cuando la energía es insuficiente para producir un quiebre de la partícula, obteniendo una fractura localizada.	Cuando las rocas están en contacto, se desgastan hasta que son suficientemente pequeñas como para ser fracturadas por bolas o partículas mayores.

Fuente: Levi Guzmán, 2007 - Molycop.

Además de los tres mecanismos descritos anteriormente, se emplea el término astillamiento o “chipping” para nombrar específicamente la remoción de puntas y asperezas de una roca fresca. Este mecanismo entrega una distribución granulométrica similar a la obtenida por abrasión. (Ver figura 14) (Levi Guzmán, 2007).

Figura 14: Mecanismos de Conminución.



Fuente: Levi Guzmán, 2007 - Molycop.

2.2.5 Movimiento de la Carga en un Molino.

Debido a la rotación y fricción de la coraza del molino, el medio de molienda es elevado a lo largo del lado ascendente del molino, hasta que se alcanza una posición de equilibrio dinámico, cuando los cuerpos caen hacia abajo en cascada y catarata por la superficie libre de los otros cuerpos, alrededor de una zona muerta donde ocurre poco movimiento (hasta el pie de la carga del molino). (Levi Guzmán, 2007).

La fuerza impulsora del molino se transmite por el revestimiento a la carga. La mayor parte de la energía cinética del movimiento de la carga hacia abajo se dispersa como calor, ruido y otras pérdidas, solamente se consume una pequeña fracción en el quebrado real de las partículas. (Levi Guzmán, 2007).

El tipo de movimiento de la carga depende de la velocidad con que se rota el molino y de los levantadores de carga que tenga la coraza. La velocidad a la

cual rota un molino es importante, puesto que ésta gobierna la naturaleza del producto y la cantidad de desgaste sobre los revestimientos de la coraza, ver Tabla 19. (Levi Guzmán, 2007).

Tabla 19: Efecto de la velocidad de rotación en el movimiento de la carga de un molino y la naturaleza del producto.

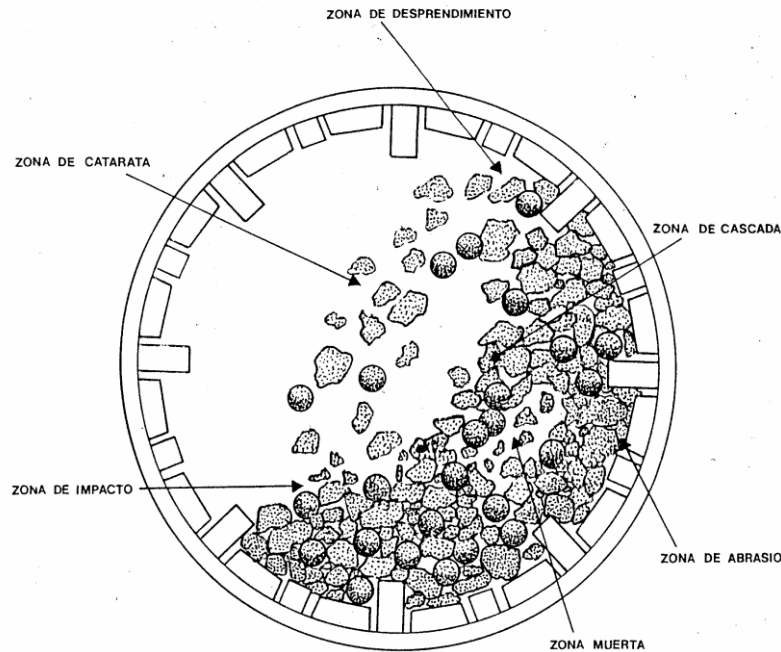
Velocidad de rotación	Movimiento	Mecanismo	Observaciones
Baja	Los medios moledores tienden a rodar suavemente, produciendo un efecto de cascada.	Abrasión	Se genera gran cantidad de finos Produce desgaste de las corazas
Media	Los medios moledores se separan en el punto más alto y al caer desarrollan una trayectoria parabólica: efecto de catarata	Impacto	Se producen partículas más gruesas y un menor desgaste de las corazas.
Alta (velocidad crítica)	La carga tiende a pegarse en la coraza: efecto de centrifugado	Mecanismos de abrasión y compresión	Se reduce drásticamente la ruptura por impacto

Fuente: Levi Guzmán, 2007-Molycop.

De acuerdo a los movimientos descritos en la Tabla 19, se distinguen varias zonas. En la Figura 15 se han representado las diferentes zonas que se generan por los movimientos de la carga en el interior del molino. (Levi Guzmán, 2007).

Debe notarse que en la zona de catarata, los medios moledores caen libremente y no ocurre fractura, sino hasta que ellos impactan contra la carga o el cilindro. (Levi Guzmán, 2007).

Figura 15: Zonas de Movimiento en el interior del Molino.



Fuente: Levi Guzmán, 2007 - Molycop

2.2.6 Tamaño de Alimentación

La influencia del tamaño de la alimentación sobre el rendimiento del molino se desprende naturalmente del hecho que, una proporción importante de los medios de molienda (todos en el caso de los molinos AG) derivan del mineral de alimentación. Cualquier cambio en la distribución de tamaño de la alimentación resultará, por consiguiente, en un cambio en la distribución de tamaño de los medios de molienda. Esto a su vez afectará las características de rotura del mineral. (Levi Guzmán, 2007).

Es conveniente y convencional representar las distribuciones de tamaño por un único valor y el tamaño de alimentación se representa a menudo por el F80 (tamaño que pasa de un 80%). Sin embargo, datos de numerosas

clasificaciones de tamaño de molinos AG y SAG han demostrado que la relación entre distribución y el F80 varía ampliamente, tanto entre, como dentro de las plantas. A modo de ejemplo, la Figura 34 muestra dos distribuciones de tamaño distintas con el mismo F80, que fueron registrados en un circuito de molino SAG. Este fenómeno hace muy difícil correlacionar cambios en el rendimiento del molino con el F80. (Levi Guzmán, 2007).

El número de rocas y la distribución de tamaño de alimentación están claramente interrelacionadas y se debe mantener un equilibrio entre ambos factores para lograr un rendimiento óptimo. Sin embargo, en general, el rendimiento del molino AG mejora con alimentación más gruesa. (Levi Guzmán, 2007).

En molinos SAG, especialmente aquellos con cargas de bola relativamente altas, se observa exactamente lo contrario (Morrel 1992). Esto se puede explicar por el rol dominante que tiene una carga de bola relativamente grande en dictar la naturaleza de la carga de los medios de molienda. A medida que aumenta el volumen de medios de molienda bola, la contribución de los medios de molienda roca disminuye. Una alimentación de rocas más gruesas, en consecuencia, aportara poco en cuanto a medios de molienda y por el contrario simplemente proporcionará una sobrecarga de roca que requiere ser molida. En estas circunstancias, una reducción del tamaño de alimentación disminuirá la sobrecarga de molienda. (Levi Guzmán, 2007).

Esta última situación se refleja en el rendimiento de los molinos de bola, donde una disminución en el tamaño de alimentación resultará invariablemente en un aumento del rendimiento. Si se considera que un molino de bola es un caso límite de un molino SAG, es esperable que a medida que aumenta la carga de bolas en un molino SAG, el efecto del cambio en la alimentación F80 tenderá al experimentado por un molino de bola. Queda claro de este resultado, que debe existir una carga de bola específica para la cual un cambio en el tamaño de alimentación tendrá un efecto insignificante, ya que el molino no responderá

como una máquina completamente autónoma ni como un molino SAG adecuadamente cargado. (Levi Guzmán, 2007).

2.2.7 Dureza del Mineral

A menudo es el caso que un mineral más duro producirá un tamaño de alimentación al molino más grueso y, por ende, puede ser difícil separar completamente los efectos de ambos factores. Surgen complicaciones adicionales de las diferentes respuestas que exhiben los molinos AG y SAG frente a cambios en la dureza del mineral. En el caso de los molinos SAG es usual encontrar que los minerales más blandos proporcionan un mayor rendimiento. Esto se debe al hecho que las rocas más gruesas, especialmente las de tamaño crítico, son rotas con mayor facilidad por las bolas de acero. Sin embargo, habitualmente el tamaño del producto se hace más grueso. Esto se debe a que las rocas más gruesas pierden menos tiempo siendo desgastadas lentamente por abrasión y astillado que es lo que produce normalmente productos de rotura muy finos. (Levi Guzmán, 2007).

A diferencia de los molinos SAG, donde la carga de acero proporciona un componente importante de los medios de molienda, los molinos AG se basan exclusivamente en el mineral de alimentación como su medio de molienda. Si los medios de molienda de grandes rocas son insuficientes, el material de tamaño crítico no será roto adecuadamente y por ende se acumulara. Como consecuencia, la producción se verá seriamente afectada. El material blando tenderá a romperse más fácilmente que el mineral duro y, por consiguiente, será menos capaz de generar suficientes cantidades de medios de molienda más grandes. Sin embargo, si el mineral es muy duro, aunque haya presencia de suficiente cantidad de medios de molienda de grandes rocas, puede que no posean la energía suficiente para romper el tamaño crítico. Nuevamente se verá comprometida la producción. (Levi Guzmán, 2007).

2.2.8 Mecanismos de Descarga

Todos los molinos AG y SAG se basan en una parrilla de acero o goma para retener los medios de molienda, a la vez que permiten el escurrimiento de la

pulpa de producto fuera del molino. El área abierta total, tamaño, forma y posición de los agujeros varía considerablemente de instalación a instalación, como se indica a continuación: (Levi Guzmán, 2007).

- Área abierta: 2-12% del área de sección transversal del molino en diseños de elevadores de taza y hasta 25% en diseños de descarga.
- Tamaño: 10-40mm para parrillas y de 40-100mm para puertos de pebbles.
- Forma: Cuadrada, redonda o ranurada, usualmente con una estrechamiento en punta para reducir la incidencia de material parecido se atasque en los agujeros.
- Posición: A varias distancias radiales en una estructura tipo diafragma aproximada- mente paralelo al extremo del molino, o instalado en una banda estrecha paralelo a la carcasa del molino al extremo del mismo.

El diseño de parrilla más común en uso es el de estilo de diafragma, el cual puede dividirse a su vez en dos grupos principales los cuales reflejan la manera en la cual se remueve la pulpa, una vez que fluye a través de la parrilla, pudiendo ser: Con descarga en el extremo o descarga con elevador de cuchara (ver figura 16).

Figura 16: Parrilla de descarga con elevador tipo cuchara



Fuente: Levi Guzmán, 2007- Molycop.

2.2.9 Elevadores y Revestimientos

Con el fin de evitar el desgaste de la carcasa del molino, debido al impacto de bolas y roca, se reviste el interior con un material resistente a desgaste, normalmente acero o goma o goma con insertos de acero. El grado del acero o goma se elige para ajustarse a las condiciones de rotura predominantes en el molino.

En molinos autógenos, por ejemplo, si se utilizan revestimientos de acero se elegirá un grado duro para una buena resistencia al desgaste pero con menos resistencia a la energía de alto impacto. Sin embargo, debido a la presencia, en los molinos SAG, de bolas de acero de hasta 150mm de diámetro es imperativa la resistencia al impacto de alta energía y se requiere un acero menos duro pero de mayor resistencia. (Levi Guzmán, 2007).

Además de los revestimientos, también se instalan secciones elevadas o elevadores para proporcionar levante a la carga a medida que rota el molino. Sin elevadores, la carga tiende a deslizarse contra los revestimientos proporcionando poco levante y rápido desgaste abrasivo. Se experimentan efectos similares con revestimientos muy desgastados. En consecuencia, el reemplazo regular de los revestimientos es imperativo. (Levi Guzmán, 2007).

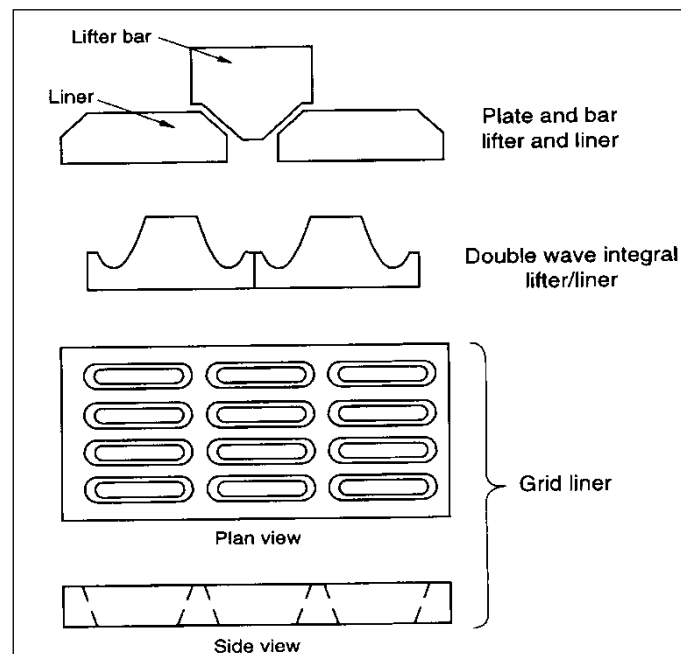
Hay muchos diseños de elevadores y revestimientos y esta característica es a menudo el tema de numerosa experimentación en minas. En la Figura 17, se muestran esquemáticamente tres tipos típicos. El primer tipo tiene un elevador separado y un revestimiento, siendo el elevador una barra relativamente plana apernada a los revestimientos. En algunos casos, el elevador tiene un borde guía achaflanado, aunque hay una tendencia natural a que los elevadores de sección cuadrada se desgasten eventualmente a dicho borde. Una variable popular de este tipo de sistema, es el llamado disposición alto-bajo. (Levi Guzmán, 2007).

En este caso, los elevadores se disponen de manera tal que hay dos alturas de elevador, cada una en hileras alternadas. Cuando los elevadores de menor

altura alcanzan un cierto valor mínimo son reemplazados por elevadores altos. (Levi Guzmán, 2007).

En el siguiente periodo de recambio, las corridas alternadas, que no fueron reemplazadas previamente, se han desgastado a su altura mínima y también son reemplazos por elevadores altos y así sucesivamente. El objetivo de esta disposición es mantener la altura media de los elevadores lo más constante posible en el tiempo y en consecuencia evitar grandes oscilaciones en el rendimiento del molino, a medida que se desgastan los revestimientos. (Levi Guzmán, 2007).

Figura 17: Vistas esquemática de perfiles de revestimiento típicos



Fuente: Levi Guzmán, 2007 – Molycop.

Algunos operadores prefieren un elevador-revestimiento integral ya que reduce el número de piezas que hay que remover y recolocar durante la reposición de revestimientos. Se reduce el tiempo necesario para reponer revestimientos disminuyendo, por ende, el tiempo de parada de la planta. La Figura 18 muestra un esquema de un elevador/revestimiento integral del tipo doble onda.

Este diseño es útil en los casos en que el molino es bidireccional ya que el elevador es efectivo en ambas direcciones. (Levi Guzmán, 2007).

El tercer tipo de elevador/revestimiento mostrado en la Figura 18, es el llamado revestimiento de rejilla. Su operación se basa en el relleno de los espacios (rejillas) con bolas y rocas los que proporcionan la superficie de desgaste. Estas rejillas pueden tener una variedad de formas para permitir el tipo de operación elevador/revestimiento integral o ser de sección plana con barras de elevación apernadas sobre ellas. Los principales beneficios son su relativo bajo precio, comparado con revestimientos de acero macizo y su menor peso, lo que deriva en un menor tiempo de reposición de revestimientos. Sin embargo, algunos operadores son reacios a utilizarlos debido al temor que algunas bolas de acero o rocas atrapadas en la rejilla, puedan soltarse y causar lesiones durante la reposición de revestimientos, cuando el personal de mantenimiento esté en el interior del molino. (Levi Guzmán, 2007).

Usualmente es muy difícil, en la práctica, determinar el efecto de distintos diseños elevador/revestimiento en el rendimiento del molino ya que la acción del elevador/revestimiento cambia a medida que se desgasta. Muchos diseños parecerán dar un rendimiento similar y a menudo es necesario efectuar cambios sustanciales en el diseño para obtener un efecto medible. Sin embargo, los operadores deben estar concientes que un pobre diseño puede tener un efecto muy adverso, e. g. elevadores que sean excesivamente altos o bajos o que estén muy cerca o alejados unos de otros. (Levi Guzmán, 2007).

Figuras 18: Revestimientos al interior del Molino SAG.



Fuente: Levi Guzmán, 2007 – Molycop.

CAPITULO III: METODOLOGIA

3.1 MATERIALES

Unidad de Análisis:

- El Proceso de Recuperación de Oro a partir de pulpas cianuradas de la Planta Gold Mill ubicada en la compañía Minera Yanacocha SRL al norte de la ciudad de Cajamarca – PERU.

Variables de la Hipótesis:

- Variable Independiente: Implementación de un sistema automático de control de tamaño de partículas.
- Variable Dependiente: Aumento de la Recuperación de Oro que se encuentra en la pulpa cianurada, de la planta Gold Mill en la compañía Minera Yanacocha SRL.

3.2 METODOS

De acuerdo al propósito de la Investigación y la naturaleza del problema, se distingue como una investigación Aplicada por que se interesa en la aplicación de conocimientos a la solución de un problema práctico inmediato, propone una solución tecnológica y una evaluación basada en el análisis económico.

De acuerdo a la técnica de Contrastación, será una Contrastación Directa ya que se realizará una evaluación Técnica de las variables experimentales (características del equipo) del PSI200, a fin de describir y explicar por qué se produce una situación o acontecimiento particular.

Diseño Lógico: Fuente Propia

Figura 19: Situación Actual.

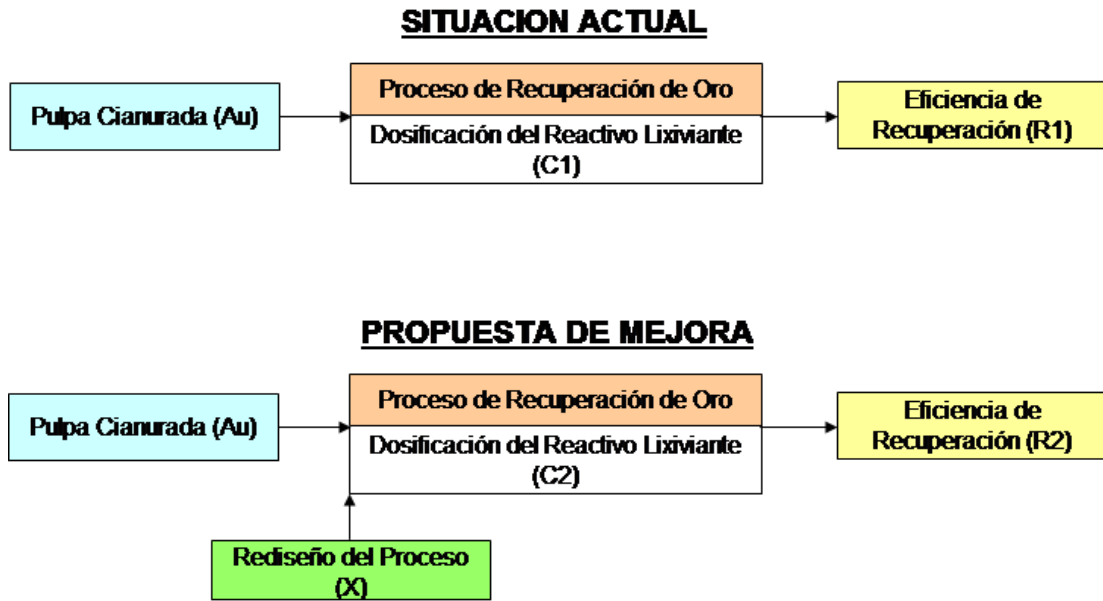


Figura 20: Situación Propuesta.

Diseño Lógico:

Si: $\downarrow C1 \downarrow R$ además $\uparrow C1 \uparrow R$

Y: $C1 \rightarrow X \rightarrow C2$

Luego: $C2 < C1$

Entonces: $\uparrow R \downarrow C$

Donde:

- X: Aplicación de Rediseño
- P: Consumo de Reactivo Lixivante
- R: Eficiencia de Recuperación

3.3 PROCEDIMIENTOS

Tabla 20: Procedimientos.

ETAPA	OBJETIVOS	METODOS
Analítica - Descriptiva	- Definir las variables del proceso.	- Estadística descriptiva para los datos del proceso
Experimental	- Evaluar la propuesta de mejora para el proceso de Recuperación de Oro.	- Tiempo de Análisis. - Confiabilidad de Resultados. - Grado de complejidad de su accionar.
Cuantitativa	- Evaluar el Impacto económico del Proyecto de mejora.	- Costos de Inversión - Análisis económico

Fuente: Propia.

PARTE TERCERA: RESULTADOS

CAPITULO IV: EVALUACION ECONOMICA

4.1 Paso1: Determinación de los Beneficios y costos del Proyecto

La implementación del sistema automático de control de tamaño de partículas utilizando la tecnología del PSI 200, en la planta de Molienda Gold Mill de la compañía Minera Yanacocha SRL. Traerá múltiples beneficios desde brindar un dato de análisis en minutos con un mínimo error hasta la minimización de posibles daños personales. A continuación se lista los beneficios y costos del proyecto en mención.

Los beneficios de la optimización del proceso de Molienda pueden reflejarse como:

- Costos operativos reducidos (\$/Tonelada tratada).
- Rendimientos aumentados.
- Mejora en el rendimiento de procesos aguas abajo como consecuencia de una especificación de tamaño de alimentación mejorada.

Los rendimientos esperados del equipo son variables y van desde el incremento en 1.5 % hasta 2% en casos particulares en plantas de procesamiento de Cobre, Zinc, Plomo y Oro. Por lo que se espera que el incremento de la recuperación en la planta de molienda Gold Mill se vea incrementada en 1%. (Ver anexo 02).

Los costos asociados a la implementación de este tipo tecnología es detallada por:

- Consumo de Energía: Actualmente el análisis se realiza de manera manual, la nueva tecnología demandara un nuevo consumo de energía en la planta, las 24 horas del día durante los 365 días del año para su operación continúa.

- Mantenimiento: El nuevo equipo en planta demandara de la creación de un stock de repuestos, monitoreo y calibración.
- Entrenamiento: Desarrollar habilidades en los miembros del equipo para la adecuada utilización del hardware y software implementados (PSI200).
- Infraestructura: Implementación de líneas de muestreo y rechazo de muestras para el PSI200, modificación estructural para el montaje del equipo, y del tendido de líneas de alimentación eléctrica.

La evaluación económica esta en base a los ahorros esperados del reactivo lixiviante (Cianuro de sodio), al tener resultados del tamaño de producto de acuerdo a las especificaciones de la operación (60% Malla 140), no será necesario exceder en la dosificación del reactivo para mantener los niveles de recuperación solicitados.

4.2 PASO 2: Recopilación de Información - Datos de Empresa.

La cantidad de cianuro a consumir en planta esta ligada a la cantidad de cisternas que descargan en los tanques de almacenamiento, se tiene un tanque de recepción de capacidad de 100 m³ la cisterna que trae en su interior 22.7 T de cianuro sólido es disuelta con agua y almacenada en este tanque hasta completar en nivel . Todo este nivel es trasvasado a otro tanque de dosificación, que tiene una capacidad de 300 m³ de almacenamiento, el cual dosifica cianuro al proceso de lixiviación, además se tiene un tanque de emergencias de 200 m³, el cual se utiliza en caso de un desabastecimiento del reactivo a mina, bloqueos, falla en el sistema de dosificación o se tiene la opción de envío a otra planta por medios de bombas cuando la necesidad lo requiera.

El consumo efectivo esta en base a la cantidad de tanques de dosificación que se ha consumido en planta, se tiene un flujómetro, el cual registra los m³ con sumido por hora durante la operación, actualmente se esta consumiendo por encima del objetivo mensual que es 5 tanques de dosificación como máximo,

que es un equivalente a 15 cisternas de NaCN, ya que cada cisterna se disuelve en 100 m³ en el tanque de almacenamiento.

Este cianuro adicional que representa una cantidad de dinero en exceso mensualmente se va a considerar como dinero ahorrado al implementar la tecnología del sistema automático de control de tamaño de partículas propuesto.

4.3 PASO 3 Recopilación de Información – Ahorros obtenidos.

Tabla 21: Consumo Cisternas de NaCN durante el Semestre.

Consumo de NaCN	Total m3	Cisternas Proyectados	Cisternas Usados
Octubre	1569	15	15.69
Noviembre	1562	15	15.62
Diciembre	1510	15	15.10
Enero	1515	15	15.15
Febrero	1537	15	15.37
Marzo	1515	15	15.15
Proveedor:	Orica	Costo por Cisterna (\$)	49486.00

Fuente: Propia

Tabla 22: Costo semestral de Reactivo NaCN.

Costo Total Real	Costo Proyectado MES	Costo Adicional (\$)
776420	752187.2	24233
772724	752187.2	20537
747085	752187.2	-5102
749802	752187.2	-2385
760724	752187.2	8536
749733	752187.2	-2455
	Costo Semestre Adicional (\$)	43365
	Costo Mes (\$)	7227
	Costo Anual (\$)	86729.2

Fuente: Propia

Tabla 23: Otros Insumos utilizados Anualmente.

Otros Insumos en Dólares \$	
Mallas	1500
Reactivos	1500
EPPS	1000
Accesorios	500
Total	4500

Fuente: Propia

Tabla 24: Total Ahorros obtenidos.

Total Ingresos	(\$)
Tabla 22 - Tabla 23	91229

Considerando los ahorros obtenidos al implementar esta tecnología como un ingreso de dinero a la empresa, el consumo de cianuro y otros insumos son lo más resaltantes, la tabla 24 resume el ahorro obtenido de manera anual (costo de cianuro ahorrado mas los costos de otros insumos asociados anualmente), al implementar este tipo de tecnología automática de control de tamaño de partículas.

Lo mostrado en la tabla 22, respecto al costo del semestre adicional, (43365 \$) comparado con el costo por una cisterna de cianuro de sodio de 22.7 T mostrado en la tabla 21 (49486 \$), se puede apreciar que el ahorro semestral en consumo de cianuro es estimado en aproximadamente una cisterna.

4.4 PASO 4 Recopilación de Información – Costos del PSI 200

Tabla 25: Consumo de Energía.

Consumo de Energía	
FUTURO	Unidades
0.85	cosFi
5	amp
440	voltios
24	Horas/día
0.19	\$/kw

5391	\$ /Año
------	---------

Fuente: Propia.

Tabla 26: Costo de Mantenimiento.

Mantenimiento \$/Año	
Mangueras	850
Niples	175
Pistones de muestreadores	1150
Celda de Cabezal	11000
Válvulas de lavado	1210
Otros	550
Total \$ /Año	14935

Fuente: Propia.

Tabla 27: Capacitación.

Capacitación Anual (\$)
04 electricistas
02 Instrumentistas
10 Operadores
04 Supervisores
5000

Fuente: Propia.

Tabla 28: Total Costos obtenidos.

Total Egresos	(\$)/Año
Tabla 25-26-27	25326

Por datos de otras compañías del rubro minero se pudo determinar el stock inicial recomendado en este tipo de equipos, esto servirá como punto de partida para nuestro caso, además de considerar un incremento del 10% anual en estos costos de mantenimiento. Es importante mencionar que durante el primer año se tiene un costo de 5000 \$ por cambios en el diseño (cableado de fuente de energía y llevar la señal eléctrica a sala de control) para adaptar esta nueva tecnología en la planta, este es un costo único que se considera durante el primer año en los cálculos siguientes.

Considerando lo siguiente en el análisis del flujo de caja (Pagina 95):

- Tasa de impuesto a la renta de 30%. (Valor actual aplicable en Perú).
- Tasa empresarial de 10 % (Valor proporcionado por la empresa).
- Valor de venta del equipo de 28000 \$ (Valor de rescate), al final de los años de evaluación (Dato proporcionado por otras mineras del Perú).
- Inversión Inicial 200,000, cabe resaltar que en este monto esta incluido el transporte a planta, instalación y modificación estructural cuyo costo es de 43012 \$ (Inc. IGV) y el costo del equipo, que es de 156937 \$ (Inc. IGV). (Ver anexo 4 y anexo 5).

4.5 PASO 5: Flujo de Caja.

Tabla 29: Flujo de Caja

	AÑOS					
	0	1	2	3	4	5
Inversión inicial	(200,000.00)					
Ingresos		91,229.16	91,229.16	91,229.16	91,229.16	91,229.16
Egresos		(30,325.88)	(26,819.38)	(28,462.23)	(30,269.37)	(32,257.22)
Depreciación		(40,000.00)	(40,000.00)	(40,000.00)	(40,000.00)	(40,000.00)
Utilidad antes de Impuestos		20,903.28	24,409.78	22,766.93	20,959.80	18,971.95
Impuestos (30%)		(6,270.98)	(7,322.93)	(6,830.08)	(6,287.94)	(5,691.58)
Utilidad después de Impuestos		14,632.30	17,086.85	15,936.85	14,671.86	13,280.36
Depreciación		40,000.00	40,000.00	40,000.00	40,000.00	40,000.00
Valor de rescate						28,000.00
Flujo de fondos	(200,000.00)	54,632.30	57,086.85	55,936.85	54,671.86	81,280.36

Tabla 30: Resultados de la evaluación económica

VAN al 10 %	26,681.44
TIR %	14.82%
B/C	1.13
ROI	13.3%

Por los resultados obtenidos en la tabla 30, se puede mencionar lo siguiente:

La TIR arroja un valor por encima de la tasa empresarial y como primera impresión nos permite suponer la viabilidad del proyecto, al analizar el ratio de beneficios y costos que es mayor a 1 nos permite estar mas seguro que los beneficios que arroja el proyecto superan a los costos implicados en el, y por ultimo al analizar el rendimiento de la inversión (ROI), después de realizar el descuento a los beneficios obtenidos la inversión, se torna atractiva y deberíamos seguir adelante con la implementación del proyecto.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- El monitoreo y control del tamaño de partículas del PSI 200 mejora tanto el rendimiento como la capacidad del circuito de molienda, al tener mejor calidad del producto. Esto se traduce en un menor consumo del reactivo lixivante. (Al liberar mejor el Oro, el cianuro disolverá mucho mejor al metal, ya que se encuentra con menos acompañantes y acorde al tamaño para su lixiviación).

- El tiempo de análisis de malla se reduce debido a la tecnología del analizador automático de partículas PSI 200, comienza desde la toma de muestra, el calculo que es dos veces por segundo basado en 60 segundos de medición de datos, lavado de tubería para la siguiente muestra y la entrega de resultados, todo esto en un tiempo de aproximadamente 3 minutos.

-Con la implementación de un sistema automático de control de tamaño de partículas se mejora la calidad del producto al tener un resultado en línea, permitiendo a los operadores tomar tomar las medidas correctivas según se requiera, esto implica la capacidad de tratamiento del molino, así como también los parámetros operacionales de molienda (Cantidad de agua, velocidad de alimentadores, distribución de los alimentadores, etc.)

-La exposición de los operadores a la toma de muestras de pulpa, disminuye de una frecuencia inicial de 240 minutos promedio diaria a una frecuencia de 90 minutos mensuales que es el tiempo que toma aproximadamente la calibración del equipo PSI 200.

-La cantidad de Oro no recuperado en el proceso de lixiviación por agitación se reduce debido a que el PSI 200, ofrece resultados de análisis de manera rápida y confiable, permitiendo que la operación de molienda ofrezca una mejor calidad de producto.

-Los resultados ofrecidos por el analizador de partículas PSI 200, aparte de ser rápidos, se caracterizan por su grado de precisión y exactitud que va desde 98 a 99% en los resultados obtenidos, estos datos son importantes porque pueden ser llevados a un sistema de control inteligente de tal manera que se forme un lazo de control con otras variables operativas del área de molienda, en esto se incluye al molino mismo.

5.2 Recomendaciones:

-La capacitación al personal acerca del manejo de la nueva tecnología debe darse a todos los niveles (supervisor, técnicos, mantenedores y operadores) con el objetivo de comprometerse en el buen manejo y cuidado del equipo para evitar así mantenimientos correctivos prematuros o paradas imprevistas.

-Al momento de instalar el equipo cumplir con todos los requerimientos solicitados por el proveedor ya que alguna falta al procedimiento de transporte y/o montaje pueden repercutir en la pérdida de la garantía del equipo.

-Realizar un cronograma de calibración del equipo, determinar la frecuencia optima con el representante talvez se pueda utilizar inicialmente el recomendado , que es una vez al mes, hasta determinar la frecuencia idónea para este equipo con nuestras condiciones operativas.

-El área de mantenimiento deberá realizar un análisis previo con el proveedor para determinar el stock de repuestos a considerar en los almacenes de planta, ante cualquier falla producida, mecánica, operativa o eléctrica.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS

Baeza Riveros Domingo F. 2005 “**Vida, Pasión y Muerte de la Molienda SAG**” X Simposium Sobre Procesamiento de Minerales Santiago - Chile.

Castro Ramos Alfonso. 2005 “**Operaciones de Molienda SAG**”, Manual de Operaciones de Molinos SAG Minera Antamina Ancash – Perú.

De la Cruz Eulogio y Cancino Néstor 2005 “**El Ultrasonido y su Aplicación**”, Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Mayor de San Marcos.

Guzmán Levi. 2007 “**Molienda y Clasificación**”, Curso sobre la Molienda y Clasificación en Molino SAG Cajamarca - Perú, Molycop Tools.

Honeywell Inc. 2009 “**Analizadores de Tamaño de Partículas**”.

Lavallab Inc. 2009 “**Análisis de Tamaño y forma de partículas**”.

Marchese Adolfo G. 2004 “**Consumo de Energía en Operaciones de Conminución de Minerales**”, Revista Minería edición 322, Instituto de Ingenieros de Mina del Perú.

Mie Gustav. 1908 “**Teoría de la difracción láser**”.

Morante Fernando C. y Luis Gonzaga Santos 2005 “**Cianuración por Agitación para la disolución del Oro en Menas**” Facultad de Ingeniería en Ciencias de la tierra – Escuela Superior Politécnica del litoral Guayaquil – Ecuador.

Outotec Inc. 2009 “**Analizadores de Tamaño de partículas PSI**”.

Stinger Ángela. 2007 “**Capacitación Basada en Computadora**” Performance Associates International.

Soto Pablo. 2008 “**Estado del Arte de Molienda SAG**”, Curso Internacional sobre Molienda SAG Cajamarca – Perú.

Thermo Fisher, 2009 “**Analizador de Partículas en lodos PSM 400MPX**”.

Vernier Pierre. 1631 “**Construcción, uso y propiedades del nuevo cuadrante de matemáticas, Vernier**”.

ANEXO 01

USUARIOS DEL PSI 200/300 EN PERU Y BOLIVIA.

CLIENTE	FLUJOS	MODEL O	PLANTA	AÑO DE DESPACHO
TOQUEPALA	1 x PSI200/S	1641	REMOLIENDA Cu	1993
TOQUEPALA	1 x PSI200/S	1641	SECCION 5	1996
SHOUGANG	1 x PSI200/D	2641	PLANTA MAGNETICA	1997
ISCAYCRUZ	1 x PSI200/S	1641	CONCENTRADORA OVERFLOW	1998
YAULIYACU	1 x PSI200/S	1641	CONCENTRADORA OVERFLOW	1999
ANTAMINA	5 x PSI200/S	1641	3 x OVERFLOW 2 x REMOLIENDA	2000
BHPBILLITON TINTAYA	1 x PSI200/S	1641	OVERFLOW SECCION 3	2000
TOQUEPALA	1 x PSI200/ M	2750	3 LINEAS SECCION 3	2001
BHPBILLITON TINTAYA	1 x PSI200/S	2750	2 LINEAS OVERFLOWS SECCIONES 1 Y 2	2002
MILPO	1 x PSI200/D	2750	2 LINEAS OVERFLOWS	2002
SAN CRISTÓBAL (BOLIVIA)	1 x PSI200/D	2750	2 LINEAS OVERFLOWS	2005

CERRO CORONA - GOLDFIELDS	2 x PSI200/S	2750	2 LINEAS OVERFLOWS	2007
CUAJONE	1 x PSI 200/D	2750	2 LINEAS	2007
CUAJONE	2 x PSI 300/T		3 LINEAS	2008
CERRO LINDO - MILPO	1 x PSI 300/S		1 LINEA	2009

ANEXO 02

PSI 200

**Instrumento de medición
De Tamaño de las partículas directo**

De control:

**Rendimiento
Recuperación
Coste de los reactivos
Pulpa**



Fuente. Outokumpu Technology. (Traducido por Percy Yllanes Meza).

Control de Molienda

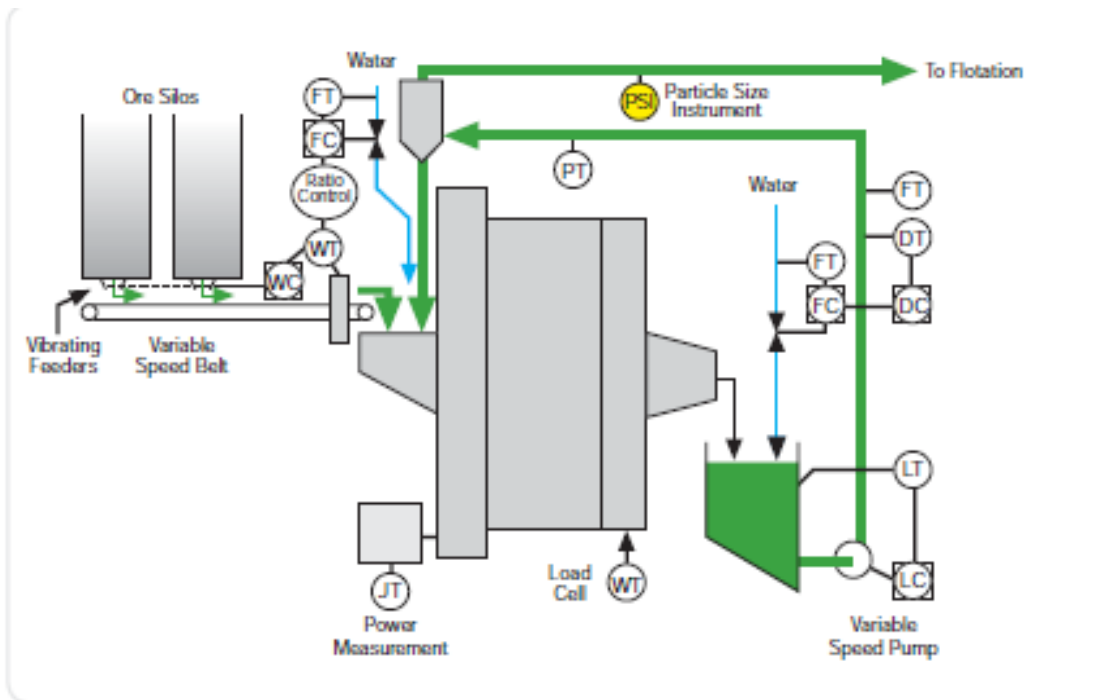
Y tamaño de las partículas de vigilancia y control, mejora tanto el rendimiento y como moler en el circuito de molienda. También mejora el proceso aguas abajo, minimizando el consumo de reactivo, el aumento de Recuperaciones y filtración más eficaz.

El instrumento de tamaño de partícula de PSI 200 es usado en mezclas de partículas en flujo de pulpas, en plantas de procesamiento de minerales. Su medición se basa en el principio directa del tamaño de partícula usa un calibrador de alta precisión automática. El instrumento exige un muestra representativa de 70-170 litros / minuto de la corriente del proceso. El resultado de la medición se visualiza de forma local en una gran pantalla y enviados como señal de 4-20 mA o instrumento de línea utilizando el protocolo Modbus RTU. Hay dos versiones principales del instrumento: flujo único y una unidad multi-flujo. Varias opciones están disponibles para el muestreo primario, medición de la densidad y la de visualización remota de los resultados en una PC.

"Desde la instalación de 200 PSI hemos sido capaz de controlar muy cerca de nuestro objetivo de moler. Nuestra recuperación del oro ha aumentado desde 94,5 hasta 96. La inversión se ha pagado por sí mismo de nuevo en dos meses".



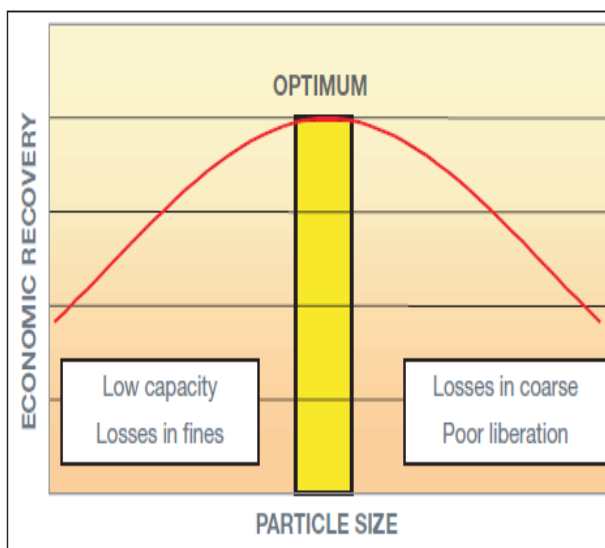
Fuente. Outokumpu Technology. (Traducido por Percy Yllanes Meza).



- DT Medición de densidad
- DC Control de densidad
- FT Medición de flujo
- FC Control de flujo
- JT Medición de potencia
- LT Medición de nivel
- LC Control de nivel
- PT Medición de presión
- WT Medición de peso
- WC Control de peso

Una variable crítica en el circuito molienda es el control de tamaño de las partículas del producto. La medición del tamaño de partículas de ciclón o desbordamiento de clasificadores es de práctica común de la industria de hoy en día.

Los analizadores de tamaño de partículas PSI 200, brindan en tiempo real el tamaño de las partículas y la densidad de la pulpa. Los PSI 200 se puede utilizar en circuitos de materiales triturados, porque el instrumento no es sensible al aire arrastrado en la muestra.



La información de tamaño de las partículas y otras medidas de manera on-line se utiliza para el circuito cerrado y de control experto del sistema. Outokumpu tiene una larga experiencia en brindar soluciones avanzadas de control para circuitos de molienda. Ejemplo del gráfico superior muestra un típico sistema experto del programa ProsCon.

Fuente. Outokumpu Technology. (Traducido por Percy Yllanes Meza).



Muestreo

Un muestreo representativo es un elemento esencial de medición, también es requisito de confianza en la medición de tamaño de partícula. Static Outokumpu LSA, NLA, PSA, son muestreadores de etapa CPS que ofrecen una solución comprobada en la recolección de muestras.



Medición del tamaño de partículas

El instrumento de medición de tamaño de partículas PSI 200 también es utilizada para medir el tamaño de la distribución de partículas en suspensión en flujos de pulpa. Las partículas en el rango de tamaño de malla 25-500 (500-25 micras, con la opción ultra finas hasta 5 micras) pueden ser medidos. Una muestra primaria con un flujo de entre 70-170 l / min (50-300 l / min max rango) se reduce a un estanque 10 / l / min de flujo. Un estanque de lavado y el nivel de control son utilizados para remover los desechos de las partículas de gran tamaño y burbujas de aire de la muestra continua que se alimenta al PSI 200.



El PSI200 tiene un sensor tipo cabezal, este sensor ISP mide el tamaño de las partículas de manera directa.

La posición del indicador se mide por un sensor electrónico de posición de alta precisión. El PLC basado en la electrónica digital convierte las mediciones de la zapata de exploración en dos señales de salida de 4-20 mA por medida corriente. Estas señales corresponden a una partícula de tamaño expresada como porcentaje pasante en 74 micrones. La misma información también se muestra en la pantalla del instrumento digital (panel de visualización).

Fuente. Outokumpu Technology. (Traducido por Percy Yllanes Meza).

Calibración

El PSI 200 es calibrado por la medición de una serie de muestras correlacionadas, el sensor de lecturas se compara con las muestras analizadas por el laboratorio correspondiente. Cuando el procedimiento automático de calibración se inicia en la pantalla, el sensor de análisis guarda las lecturas que se carguen y se comparan con las muestras medida por el sensor. Una calibración rápida requiere sólo un par de muestras.



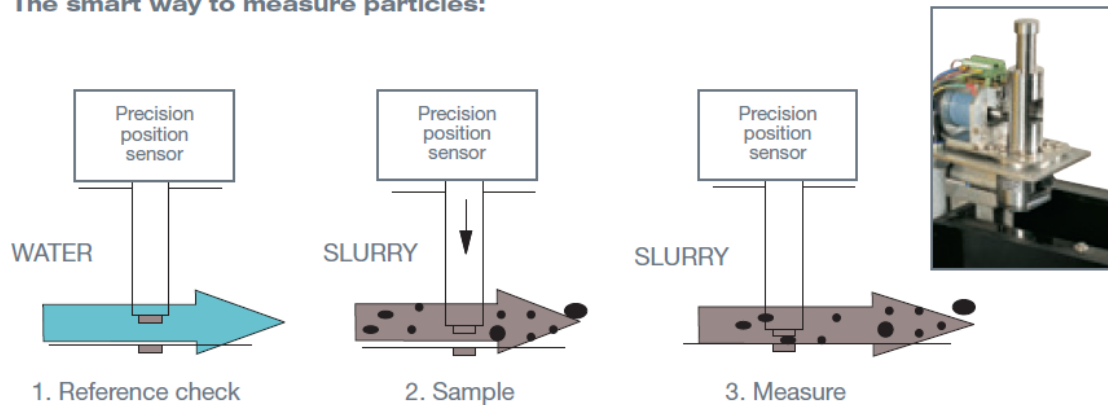
Una serie de aproximadamente 20 muestras se requiere para obtener una ecuación precisa de calibración. Los modelos de calibración y los parámetros de configuración del sistema se ingresan a través de un teclado en la electrónica de un PC o una estación de operación. Debido a la medición directa y tamaño automático de verificación cero, asegura que la calibración sea estable durante un largo período de tiempo.

Opciones

Medición de la densidad está disponible como una opción para el PSI 200. Se basa en la principio de eficacia demostrada de un peso de un volumen fijo con una precisión de alta sensibilidad . Opcionales de Windows basada en la estación de operador de muestra, los informes y las muestras de tamaño de partícula y de información de diagnóstico de uno o varias red de fracciones de tamaño de partícula, adicional se pueden calcular y se muestran al operador de la estación de control si es necesario. La versión PSI 200 cuya Herramienta de calibración Outocal está disponible para ayudar con la calibración del instrumento. ProsCon u otro proceso de control del sistema puede leer el tamaño de las partículas de información de las señales de 4-20 mA de serie u opcional Interfaz de DCS. Windows es una marca registrada de Microsoft Corp.

Fuente. Outokumpu Technology. (Traducido por Percy Yllanes Meza).

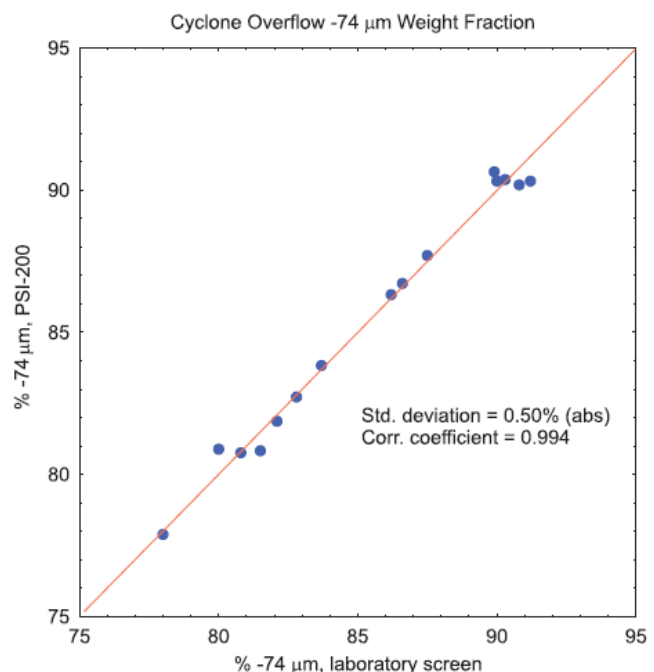
The smart way to measure particles:



La medición directa del tamaño de partícula tiene las siguientes ventajas:

- Medidas de referencia eliminadas automáticamente.
- No es sensible a la viscosidad del lodo, la temperatura o la densidad de pulpa. La calibración es válida durante largos períodos de tiempo.
- Las burbujas de aire y los minerales escamosa (mica, por ejemplo) no confunden el instrumento. Espuma en los materiales triturados no es un problema.
- El mantenimiento no es muy costoso y la preparación de muestras intensiva no es necesario para eliminar el aire, desmagnetizar o diluir la muestra.

Los instrumentos de medida PSI 200 miden directamente un gran número de partículas de una muestra representativa. La medición usa un calibrador de alta precisión cuya punta del sensor de cerámica utilizada para medir el tamaño de las partículas seleccionadas al azar. El sensor envía la información a un PLC, que convierte a las lecturas por porcentaje de calibrado de pasar la malla seleccionada o tamaños de micras. El resultado se actualiza una vez por segundo basado en 120 mediciones realizadas en los últimos 60 segundos. (Total de 3 minutos entre toma de muestras, análisis, entrega de datos y lavado de línea). El Error PSI 200 en las lecturas son generalmente en 1-2%, cuando se compararon con los controles precisos de laboratorio.



Fuente. Outokumpu Technology. (Traducido por Percy Yllanes Meza).

3

Specifications

Analysis method

High precision automatic caliper.

Number of sample streams

One for single stream, 1–3 for multi-line model.

Sample requirements

Sample flow rate 70–170 l/min (18.5 to 45 US gpm). Sample flow rate is measured. Slurry inlet OD - 60 mm (2.4 inch) Slurry outlet OD - 76 mm (3.0 inch).

Built-in calibration sampler

Outlet OD - 50 mm (2.0 inch).

Composite sampling

Integrated to calibration sampler in single stream instrument, integrated to multiplexer in multi stream instrument.

Analysis information

Two user definable size fractions. Operator Station can calculate and display more fractions.

Measurement time

Continuous with one second update frequency for single-line, 6–8 minutes for multi line unit.

Particle size range

28–500 mesh (600 μm - 25 μm), with ultrafine option down to 5 μm .

Accuracy

For particle size fraction 1 sigma accuracy is typically 1–2 % absolute units.

Output signals

2 x 4–20 mA (shielded pair) per stream (plus one for density option), 9 contact outputs for single-line, 12 for multi-line unit.

Primary samplers

LSA series Launder Box Cutter Sampler. NLA series Launder Box Cutter Sampler with automatic, cutter cleaner. PSA series Pressure pipe Sampler to be used at pump discharge.

Slurry density meter option

Measurement is given as density (g/l) or Percent Solids (%). Absolute 1 sigma accuracy is typically for density 5 g/l and for solids by weight 1% unit.

DCS connection option

Point to point serial line connection, based on MODBUS RTU protocol for reading measurement results and operational status of particle size indicator and density meter. Galvanically isolated RS422/RS485-four wire terminal strip connection.

Non-Plug Launder (NLA) Primary sampler control option

Fully integrated automatic cleaning operation of the NLA-type primary sampler.

Salt water option

Special materials for high salinity slurry or sea water.

Operator station option

Windows based software for displaying, storing and reporting data (measurements, calibration measurements, and alarms) from up to 3 PSI 200's. The Operator Station can calculate two additional and is able to display 4 size fractions and density per stream. Most run time parameters can be defined from Operator Station.

Outocal calibration program option

Regression analysis program designed for on-line particle size analyzer calibration.

Installation requirements

Single-line:

2500 (W) x 1600 (D) x 3500 (H) mm

99 x 63 x 137 inches.

Multi-line:

2500 (W) x 1800 (D) x 3500 (H) mm

99 x 71 x 137 inches.

Flushing water

Sand filtered raw water, 4–6 bar (58–87 psi) 30 l/min (8.5 gal/min) during flush and zero check cycle, which is typically set for length of 1 min. once in a shift Water inlet OD - 25 mm (1.0 inch).

Instrument air

Pressure 5–10 bar (75–145 psi) 7 Nl/min (025 SCFM) average consumption, 12 mm (0.5 inch) flexible tube connection.

Power supply

Single phase 115/230 VAC +- 10%, 50/60 hz, 250W connected to a fused terminal strip.

Operating ambient temperature at sea level

+5–+40°C (41–104°F)

Storage temperature

-25–+60°C (-13–140°F)

Environmental classification

Analyzer multiplexers, probe and probe control set, IP56 (designed to meet NEMA 4X). Vibration max 10 m/s² at frequencies 45–80 Hz.

Shipping and installed weight

Single-line gross 330 kg (730 lb), net 250 kg (550 lbs).

Multi-line gross 430 kg (950 lb), net 280 kg (616 lbs).

ISO 9001 quality assurance

Outokumpu Technology Mineral Processing is ISO 9001 accredited and has a rigorous quality management policy to ensure that the quality expectations of customers are met.

The Analyzer has  certification.

Sección 1. Información de seguridad de material

1252CR Revisado Sept., 2000 Impreso Sept., 2000

CIANURO DE SODIO

PRODUCTO QUÍMICO / IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

Identificación de Material

"CYANOBRIK", "CYANOGRAN" son marcas registradas de DuPont.

Número MSDS Corporativo DU000290

Número CAS 143-33-9

Fórmula NaCN

Nombre CAS Cianuro de sodio

Grado "CYANOBRIK"; "CYANOGRAN"

Nombres comerciales y Sinónimos

- • Cianuro de sodio
- • Prusiato de soda

Identificación de la Empresa

FABRICANTE / DISTRIBUIDOR

DuPont

1007 Market Street

Wilmington, DE 19896

NÚMEROS TELEFÓNICOS

Información de Producto 56-2-363-5017 / 1-800-441-7515

Emergencia en Transporte

CHILE	56 - 2 - 363 - 5000 / 56 - 09 - 229 - 1025
ARGENTINA	541- 1 - 4319 - 4320 / 541 -14 - 229-3347
URUGUAY	5982 - 9160072
BRASIL	55 - 11 - 7266- 8337 / 55 - 11 - 99729012
PERU	51 - 1 - 449 -5230
VENEZUELA	58 - 41 - 333490 / 58 - 41 - 407269
BOLIVIA	591 - 4 - 228866
USA	CHEMTREC 1-800-424-9300

Emergencia Médica 1-800-441-3637

Sección 2. Composición e información de ingredientes

Componentes

Material	Número CAS	%	(Típico)
+CIANURO DE SODIO	143-33-9	> 96	99
Otras sales de sodio		< 4	1

Contacto con agua liberará:

* Cianuro de Hidrógeno (Gas) 74-90-8

- • Regulado como Elemento Químico Tóxico según la Sección 313 del Título III de la Enmienda Del Acta de Reautorización de 1986 y 40 CFR parte 372.

Componentes

El Cianuro de Sodio en contacto con agua libera pequeñas cantidades de Cianuro de Hidrógeno (HCN, Gas).

Sección 3. Identificación de riesgos

Efectos potenciales a la salud

- • Puede ser fatal si se inhala, se traga o se absorbe a través de la piel.
- • El contacto con ácidos, agua o álcalis débiles libera gas cianuro hidrógeno venenoso.
- • Puede causar quemaduras a los ojos. Puede irritar la piel y causar quemaduras alcalinas y los síntomas son:

Enrojecimiento de los ojos	Nausea
Irritación de la garganta	Dolor de cabeza
Palpitaciones	Debilidad de extremidades
Dificultad para respirar	Vértigo
Salivación	Colapso
Desorientación	Convulsiones

CIANURO DE SODIO

- • El contacto de la piel con cianuro de sodio puede causar irritación de la piel con molestias y sarpullido; soluciones fuertes pueden causar quemaduras en la piel o ulceraciones. La evidencia sugiere una permeabilidad significativa en la piel puede ocurrir. No existen registros de sensibilización en humanos.
- • El contacto de los ojos con cianuro de sodio puede causar irritación de éstos con molestias, lagrimeo, o dificultades para ver. Prolongadas exposiciones pueden causar corrosión con ulceración corneal y/o conjuntivitis.
- • Inhalación, ingestión o contacto de la piel con cianuro de sodio puede causar molestias no específicas tales como náuseas, dolor de cabeza, y desfallecimiento, tanto como vómitos, bajas en la presión sanguínea, debilitamiento, hemorragia nasal y pérdida de la consciencia. Estimulación del sistema nervioso central seguido por una depresión puede ocurrir con convulsiones, hipóxia y muerte debido a la interrupción de la respiración.
- • **Altas exposiciones pueden acelerar la respiración y el pulso, cianosis, acidosis, y algunos efectos en la tiroides (observados en individuos con deficiencias nutricionales, síntomas asociados con el síndrome de Parkinson o edema pulmonar y muerte por grandes exposiciones). En algunos casos con problemas en la visión o daño en el nervio óptico o retina, atribuibles al cianuro de sodio, el daño ha sido agudo, severo o letal. Hay reportes de incremento en el insomnio, sueños agitados, temblores, dermatitis y hemorragia nasal en trabajadores de electrogalvanizado.**
- • *Personas con enfermedades preexistentes al sistema nervioso central pueden aumentar su susceptibilidad a la toxicidad en exposiciones excesivas.*

Información Carcinogénica

- • Ninguno de los componentes existentes en este material en concentraciones iguales o superiores a 0.1% están indicados en IARC, NPT, OSHA o ACGIH como elementos cancerígenos.

Sección 4. Primeros auxilios

Componentes específicos de Primeros auxilios & Notas al Médico

- • Se recomienda un procedimiento paso a paso para “Primeros Auxilios” y “Tratamiento Médico” para cualquier tipo de envenenamiento con cianuro. El tratamiento requiere una inmediata acción para impedir lesiones o muerte.
- • Los Primeros Auxilios se dan inicialmente, y la experiencia demuestra que cuando se dan con prontitud, es la única atención que se necesita para un envenenamiento accidental normal. El tratamiento médico puede ser necesario para envenenamientos más severos.

- • *El tratamiento de primeros auxilios usa oxígeno y nitrito de amilo y puede ser entregado por el encargado de primeros auxilios antes de la llegada de asistencia médica.*
- • *El tratamiento médico se brinda cuando el paciente no responde a Primeros Auxilios. El Tratamiento Médico es un tratamiento más agresivo que requiere de inyecciones intravenosas de nitrito de sodio y tiosulfato de sodio, y debe ser administrado por personal médico calificado. Provee de una cantidad mayor de antídoto que también ayuda a eliminar el cianuro del cuerpo.*
- • *Aunque haya un doctor o enfermera presente, la necesidad de un tratamiento rápido determina que hay que usar el Tratamiento de Primeros Auxilios con oxígeno y nitrito de amilo mientras se preparan los materiales para la inyección intravenosa. Cuando se hace necesario el tratamiento con antídoto, este se debe iniciar inmediatamente.*
- • **EN CASO DE ENVENENAMIENTO CON CIANURO, INICIE INMEDIATAMENTE EL TRATAMIENTO DE PRIMEROS AUXILIOS, LUEGO LLAME AL MÉDICO.**
- • *En la mayoría de los casos, el envenenamiento con cianuro se evidencia con un notorio cambio del color de la piel de rosado a rojo. Sin embargo, si hay una lesión física o falta de oxígeno, el color de la piel se puede tornar azulado. El enrojecimiento de los ojos y la dilatación de las pupilas también son síntomas de envenenamiento con cianuro.*
- • *La cianosis (decoloración azul de la piel) tiende a estar asociada con un grave envenenamiento con cianuro y la coloración rojiza de la piel es más común en accidentes industriales que involucran menor presencia de cianuro.*
- • *Todas las personas con riesgo potencial de envenenamiento de cianuro deberían recibir entrenamiento para asistir con primeros auxilios usando oxígeno y nitrito de amilo. Siempre tenga a mano los materiales que se indican más adelante en la Sección.*

Primeros auxilios y tratamiento médico.

- • *Las acciones a tomar en caso de envenenamiento de cianuro deben estar planificadas y practicadas antes de comenzar a trabajar con cianuro.*
- • *Es esencial contar con la identificación del hospital correspondiente y del grupo médico de emergencia para equiparlos y entrenarlos en los casos de emergencia por cianuro.*

PRIMEROS AUXILIOS

SUMINISTRO DE PRIMEROS AUXILIOS

- • *Un adecuado suministro de Primeros Auxilios para envenenamiento con cianuro deberá ser colocado en las áreas de riesgo de cianuro y deberá estar accesible en todo momento, pero bien protegido de golpes y robos. Estos elementos deben ser inspeccionados periódicamente (una vez al día) por las personas que las van a usar en caso de emergencia. La cantidad total de cada ítem que se indica a continuación deberá ser adecuado para controlar la mayor cantidad de casos de envenenamiento que razonablemente se pueda anticipar, considerando que parte de los elementos se pueden perder, destruir o ser inaccesible en una emergencia.*

1. **1. Resucitadores de Oxígeno**
Se puede usar cualquier resucitador que sea capaz de entregar oxígeno o aire en conjunto con nitrito de amilo.
2. **2. Ampollas de Nitrito de amilo (antídoto)**
Generalmente es satisfactorio contar con una caja de una docena de ampollas por estación. Ubique las estaciones en toda el área de trabajo con cianuro.

PRECAUCIÓN : *El nitrito de amilo no es estable y debe ser reemplazado cada 1 - 2 años, o antes dependiendo de las condiciones de almacenado. Guárdelo en la caja original con fecha y manténgalo alejado de las temperaturas extremas, altas y bajas. No almacene el nitrito de amilo ni el Kit de Tratamientos Médicos (ver a continuación) en áreas cerradas donde las temperaturas puedan exceder de 60-66 grados C (140-150°F) o donde pueda haber congelamiento. El almacenado en climas con alta temperatura puede requerir el reemplazo antes de la fecha de expiración, a menos que se provea de un almacenado refrigerado. Evite las temperaturas excesivamente bajas que reducen la presión de vapor del nitrito de amilo y, por lo tanto, su efectividad. Una práctica común de DuPont es usar el resucitador como punto de almacenado para las ampollas de nitrito de amilo.*

3. **3. Se colocará un set de instrucciones de primeros auxilios para el cianuro en cada lugar de almacenado de nitrito de amilo. Los trabajadores deberán estar completamente entrenados ya que en una emergencia verdadera no habrá tiempo suficiente para "leer el libro".**

Notas en relación al nitrito de amilo:

1. **1. El nitrito de amilo es altamente volátil e inflamable, no fume ni produzca chispas alrededor.**

2. 2. Si está tratando a un paciente en un área con mucho viento o con ráfagas, coloque algo - un trapo, camisa, pared, tambor, use sus manos, etc. para impedir que los vapores de nitrito de amilo se escapen. Mantenga la ampolla contra la nariz y en el sentido del viento. El objetivo es que el nitrito de amilo ingrese a los pulmones del paciente
3. 3. Los encargados de rescate deberán evitar la inhalación de nitrito de amilo para no tener mareos y perder su efectividad.
4. 4. Se debe recostar al paciente. Como el nitrito de amilo dilata los vasos sanguíneos y baja la presión, se debe tener al paciente recostado para evitar que pierda el conocimiento.
5. 5. No se exceda. Controle al paciente por si tiene shocks por exceso de nitrito de amilo. Esto no ha ocurrido en la práctica en la planta DuPont, y no se sabe de efectos posteriores graves a causa de la aplicación de nitrito de amilo.
6. 6. Revise y respete las instrucciones de almacenado, inspección y reemplazo que aquí se han indicado.

Procedimiento de primeros auxilios.

- • La persona expuesta deberá ser sacada del área contaminada, deberá sacarle la ropa contaminada y deberá lavar al paciente, la persona que haga el rescate y/o el que entregue los primeros auxilios está sujeto a exposición si la ropa de la persona afectada está impregnada con cianuro.
- • Para el CIANURO HIDRÓGENO, el rescate de una persona contaminada se deberá hacer usando un equipo de respiración autónomo (SCBA), guantes de goma y otros equipos de protección personal que sean necesarios. Para polvo o soluciones de Cianuro de Sodio o Potasio, normalmente no se necesita SCBA. Las personas encargadas del rescate deberán evitar el contacto con CIANURO DE HIDROGENO, pero un breve contacto con cianuro sólido o en solución normalmente no es un problema si se lava rápidamente la piel. En el más breve plazo, incluso mientras se saca la ropa y se lava al paciente, se debe iniciar el tratamiento de primeros auxilios.

1. 1. Si no hay síntomas evidentes, no se necesita tratamiento, solo se debe descontaminar al paciente.
2. 2. Si está consciente pero con síntomas (nausea, dificultades para respirar, mareos, etc.) se debe suministrar oxígeno.
3. 3. Si está consciente pero impedido (sin capacidad de respuesta, dificultades para hablar, confusión, somnolencia) o si el paciente está inconsciente pero respirando, suministre oxígeno y nitrito de amilo a través del resucitador.
Para suministrar nitrito de amilo, rompa la ampolla en un paño e insértela en el borde de la máscara del resucitador, luego retire durante 15 segundos, Repita 5 a 6 veces. Si es necesario, use una ampolla nueva cada 3 minutos hasta que el paciente recupere la consciencia (generalmente 1 - 4 ampollas). Administre oxígeno en forma continua. Evite que la ampolla entre a la boca del paciente.
4. 4. Si el paciente no está respirando, suministre oxígeno y nitrito de amilo inmediatamente mediante un resucitador (respiración artificial).
Administrar nitrito de amilo como indicado en el punto 3 y continúe suministrando oxígeno en forma simultánea para ayudar a la recuperación. Si hubiese una exposición masiva, considere la posibilidad de mantener las primeras una o dos ampollas en el borde interno de la máscara del resucitador en forma continuada. Evite que la ampolla entre a la boca del paciente.

Inhalación

- • Si hay pérdida de conciencia, se debe administrar oxígeno y nitrito de amilo como se indica anteriormente.
- • Traslade al paciente a una atmósfera no contaminada, mantenga al paciente abrigado y tranquilo. Llame al médico.

Contacto con la piel

- • Si el trabajador está inconsciente, se debe administrar oxígeno y nitrito de amilo como se indica anteriormente.
- • Lave inmediatamente con grandes cantidades de agua durante por lo menos 5 minutos después del contacto o sospecha de contacto, saque completamente toda la ropa contaminada. (Incluyendo los zapatos o botas). Lave con agua por lo menos durante 5 minutos para sacar el cianuro de la piel del paciente. Llame al médico.

Contacto con los ojos

- • Lave inmediatamente los ojos con grandes cantidades de agua durante por lo menos 5 minutos manteniendo los ojos abiertos. No trate de neutralizar con "ácidos" o "álcalies".
- • El contacto con los ojos va a requerir una evaluación en más profundidad y posiblemente un tratamiento. Continúe lavando los ojos durante el traslado al hospital. Consulte al médico.
- • El oxígeno y el nitrito de amilo deben usarse como se indicó anteriormente.

Ingestión

- • Si hay pérdida de consciencia, el oxígeno y el nitrato de amilo deberá administrarse como se indica a continuación. Si el paciente está consciente, suministre de inmediato un preparado de agua con carbón.
- • No haga tragar nada por la boca si el paciente está inconsciente. Llame al médico. Continúe administrando oxígeno. NO suministre Jarabes ni otros inductores del vómito ya que esto podría interferir con el uso del resucitador.

NOTA : Para preparar el agua con carbón, mezcle 50 gramos de carbón activado en 400 ml (más o menos 2 tazas) de agua y mezcle bien. Un adulto promedio debe tomar 350 ml, o 5 ml/kg.

Tratamiento médico

- • LA EXPERIENCIA HA DEMOSTRADO QUE LOS PRIMEROS AUXILIOS ENTREGADOS CON PRONTITUD ES EL ÚNICO TRATAMIENTO QUE SE NECESITA PARA UN ENVENENAMIENTO INDUSTRIAL TÍPICO CON CIANURO. UN ENVENENAMIENTO MAYOR AUMENTA LA NECESIDAD DE TRATAMIENTO MÉDICO.
- • Mantenga el control. Si bien una acción rápida es esencial cuando ha ocurrido un accidente, una persona lúcida y consciente que se puede comunicar no puede tener un envenenamiento muy severo y es muy poco probable que requiera atención médica. La regla básica dice que se debe dar tratamiento de acuerdo a lo que se ve. Los pacientes con síntomas moderados que permanecen en estado de alerta solo requieren de cuidados de apoyo.
- • La duración activa del cianuro en el cuerpo es de más o menos 20 - 90 minutos. En el diagnóstico y control de los pacientes, el período crítico de tratamiento es breve. Normalmente los efectos del envenenamiento con cianuro ocurren en los primeros minutos e indicarán el grado de envenenamiento.
- • El uso "preventivo" de antídoto de cianuro, cuando no hay pérdida de consciencia, no está garantizado. Mantenga al paciente calmado durante los siguientes 30 minutos, y controle estrechamente la condición del paciente. Si el contacto de la piel con el cianuro se ha prolongado o si se ha ingerido una gran cantidad de cianuro, observe cuidadosamente al paciente por los próximos 30 minutos para asegurarse que no haya efectos causados por la absorción lenta de cianuro en el torrente sanguíneo.
- • Considere la eventualidad de una inyección intravenosa en caso que la toxicidad sea grave. El contar con un acceso IV con suero normal Ringer lactato, u otro fluido tipo IV facilitará la administración del antídoto si es necesario.

Kits de tratamiento médico

- • Los kits de tratamiento médico para el envenenamiento con cianuro deberán estar ubicados convenientemente para facilitar el acceso. Los materiales para las inyecciones intravenosas solo deben ser usadas **por un médico o personal médico calificado**. La ubicación de los kits debe planificarse cuidadosamente como parte del programa de emergencias: los kits deben estar siempre con el paciente durante el traslado al recinto hospitalario, para mayor seguridad. Se sugiere los siguientes lugares para ubicación de los kits.

- + en o cerca del área de cianuro
- + estación médica de la planta
- + entrada a la guardia
- + hospital más cercano
- + oficina o residencia del médico

PRECAUCIÓN : Evite almacenar nitrato de amilo o Kits de Tratamiento Médico en áreas sujetas a extremo calor o mucho frío. Los kits de nitrato de amilo deberán tener fácil acceso, pero asegurarlos para que no sean golpeados. Los kits deben ser inspeccionados regularmente y las ampollas de nitrato de amilo deben ser reemplazadas cada 1-2 años. (Ver Sección de Suministro de Primeros Auxilios). Los kits de tratamiento médico deberán contener lo siguiente:

1. Una caja con una docena (12) ampollas de nitrato de amilo
2. Dos ampollas esterilizadas de solución de nitrato de sodio (10 ml de solución al 3% cada una).
3. Dos ampollas esterilizadas de solución de tiosulfato de sodio (50 ml de solución al 25% en cada una).
4. Una jeringa de 10 ml esterilizada, otra de 50 ml, dos agujas intravenosa esterilizadas, un torniquete.
5. Una docena de parches de gasa.
6. Guantes de látex.
7. Una bolsa para eliminar los elementos contaminados con sangre.
8. Un set de instrucciones para el cianuro tanto en primeros auxilios como en tratamiento médico.

NOTA : Las ampollas de nitrato de amilo y los kits de tratamiento médico se pueden comprar en farmacias locales con receta médica.

Procedimiento de tratamiento médico

1. 1. Nitrito de sodio: Adulto - 10 ml de solución al 3 % (300 mg). Saque la solución de la ampolla e inyecte lentamente durante 4-5 minutos (2 a 5 ml por minuto). Tan pronto como sea factible, controle la presión arterial y continúe revisando las pulsaciones. Disminuya la velocidad de la inyección en caso de hipotensión (baja de presión).
 2. 2. Tiosulfato de sodio: Adulto - 50 ml de solución al 25% (12.5 gramos). A continuación del nitrito de sodio con tiosulfato de sodio inyectado a un rango de 2.5 mL/minuto (10-20 minutos)
- • El tiempo total de la inyección en las dosis iniciales de ambos componentes en los rangos recomendados es lenta, más o menos 20-25 minutos.
 - • Considere el peso del cuerpo y la condición del paciente al tratar un paciente expuesto al cianuro, con nitrito de sodio. Tanto el nitrito de amilo como el sodio producen metahemoglobina, que reducen la capacidad de llevar oxígeno a la sangre. La metahemoglobinemia es potencialmente dañina cuando los niveles de metemoglobina exceden de 20-30% (Vea Efectos de los Antídotos, a continuación).
 - • Si los síntomas persisten o quedan recurrentes después del tratamiento inicial, repita el antídoto en la mitad de la dosis original una hora después del tratamiento inicial. Controle los niveles de metahemoglobina cada vez que sea posible en todos los pacientes tratados con antídoto intravenoso.

Evitar el exceso de tratamiento

- • La inyección de nitrito de sodio es más o menos un tercio de la dosis letal, se debe tener cuidado de evitar el uso excesivo. El uso excesivo no ha ocurrido según la experiencia de DuPont. No es necesario administrar las dosis completa de antídoto por el solo hecho de iniciar el tratamiento. Si hubiese que detener la inyección por alguna razón, vigile las cantidades entregadas en caso que se necesite re continuar el tratamiento.

Efectos del antídoto

- • Los nitritos pueden producir hipotensión a través de vasodilatación periférica. La formación de metahemoglobina si bien tiene un efecto terapéutico, puede causar síntomas si se excede de los niveles de 20-30%. La dosis intravenosa recomendada de nitrito de sodio generalmente produce niveles de metahemoglobina inferiores al 20%. Dolor de cabeza, náuseas, vómitos, desmayos y síncope pueden producirse después de suministrar nitritos si el paciente no está recostado.
- • Si bien es importante estar advertido de los efectos de la terapia con nitrito, no ha habido registros de efectos a largo plazo en relación con este tratamiento por la exposición al cianuro según la experiencia y conocimiento de DuPont.

Recuperación y disposición

- • Para la mayoría de envenenamientos accidentales, el paciente puede ser revivido al cabo de pocos minutos con oxígeno y nitrito de amilo, y obteniendo una recuperación completa en pocas horas.
- • Si fuese necesario, el paciente debe ser controlado durante 24 - 48 horas. Todos los pacientes cuyos síntomas requieran el uso de antídoto IV deberán eventualmente considerar su admisión en cuidados intensivos.
- • Observe si retornan los síntomas, controle los niveles de metahemoglobina, el pH de la sangre y la oxigenación mediante el análisis gaseoso de la sangre. Calcule el ion negativo del electrolito serum. El envenenamiento con cianuro puede causar acumulación de lactosa y una acidosis metabólica en la separación de ion negativo.
- • Los efectos neurotóxicos retardados no son consecuencias esperadas de la exposición al cianuro, si bien estos efectos neurotóxicos pueden ocurrir si la hipoxia (deficiencia de oxígeno) fue prolongada u ocurrió una exposición masiva al cianuro.
- • Ante la inhalación de humo que puede ocurrir durante un incendio, se debe considerar **impedir la administración de nitrito de amilo o de nitrito de sodio** debido al riesgo de altos niveles de carboxihemoglobina. Sin embargo, la administración de oxígeno y posiblemente de tiosulfato se debe continuar.

Sección 5. Medidas contra incendio

Propiedades inflamables

- • **No se quema**

El cianuro puede no destruirse completamente en un fuego normal que comprometa a materiales combustibles tales como papel o madera. Como el cianuro de sodio no induce la combustión se puede oxidar en un incendio. Respete los códigos de la Asociación Nacional de Protección Contra Incendios (NFPA)

Elementos de extinción

- Use agua en los incendios cercanos al cianuro pero reduzca la cantidad de agua si los contenedores están abiertos o quemados, para evitar la fuga de cianuro (Ver "Incompatibilidad con otros materiales" e "Instrucciones para la lucha contra incendios").
- NO USE dióxido de carbono (CO₂) con el cianuro húmedo ya que el ácido carbónico (H₂O + CO₂) podría liberar cianuro.

Instrucciones para el combate de incendios

- El cianuro de sodio se disuelve rápidamente con el agua; por lo tanto puede haber fuga de solución de cianuro si el contenedor se abre o se quema. La fuga debe ser controlada para evitar problemas de seguridad y de medio ambiente. La solución de cianuro contenida puede ser detoxificada con hipoclorito de sodio.
- En algunos casos podría ser aconsejable dejar que el fuego se consuma solo ya que el cianuro de sodio normalmente no se verá afectado por el fuego.

Sección 6. Medidas ante derrames accidental

Protecciones (para el personal)

NOTA : Revise MEDIDAS CONTRA INCENDIOS y MANEJO (DEL PERSONAL) antes de proceder a limpiar, durante la limpieza use el EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL.

Limpieza de derrames

- Usando palas y escobas, limpie el área derramada y dejando el material recuperado en un contenedor cerrado o una bolsa plástica para ser eliminado. Cubra y seque el área derramada. Lave el área derramada con una solución diluida de hipoclorito de sodio o hipoclorito de calcio para destruir el cianuro. Llame a DuPont para obtener asesoría. Cumpla con las reglas federales, estatales y locales al reportar los escapes accidentales. La cantidad mínima reportable es de 10 libras.

Sección 7. Manipulación y almacenado

Manipulación (Personal)

- La planificación de emergencia y el entrenamiento son necesarios antes de comenzar a trabajar con el cianuro ya que el tratamiento inmediato es esencial en casos de envenenamiento con cianuro.
- Mantenga siempre los Kits de Antídoto de Cianuro a mano. No respire el polvo, el rocío ni el gas de cianuro. Evite que entre a los ojos.
- Evite el contacto con la piel y la ropa. No lleve alimentos, bebidas ni tabaco cuando sea posible la contaminación con cianuro.
- Lave completamente después de manipular. Lave la ropa contaminada antes de volver a usarla.

Almacenado

- Almacene en contenedores bien etiquetados en áreas secas, bien ventiladas y seguras.
- Mantenga los contenedores cerrados y secos. No almacene con ácidos o sales ácidas contenedores con agua o álcalis débiles o agentes oxidantes.
- No manipule ni almacene comida, bebidas ni tabaco en las áreas con cianuro o almacene cerca de combustibles ni inflamables ya que el consecuente procedimiento para apagar incendios con agua puede llevar a fugas de cianuro.
- No almacene bajo sistemas de sprinklers.

Sección 8. Control de exposición / protección personal

Controles de Ingeniería

- Use la suficiente ventilación como para mantener la exposición de los empleados bajo los límites recomendados.

Equipo de Protección Personal

- Protección mínima recomendada: Protector ocular contra sustancias químicas y guantes de goma (butyl) o de neopreno.

- Cuando existan exposiciones en el aire potencialmente mayores a los límites aplicables, use el equipo de protección respiratorio aprobado por NIOSH, incluyendo el sistema autónomo.
- Tenga a mano y use: protección para el rostro, ropa de goma, delantales y botas; aparatos de respiración desechables para el polvo y rocío tóxico, equipos de respiración autónomos (en caso de emergencia); detector de cianuro de hidrógeno, elementos de Primeros Auxilios y de Tratamiento Médico, incluyendo resucitadores de oxígeno.

Control de exposición / protección personal

Pautas de exposición

Límites de exposición

Cianuro de sodio

- PEL (OSHA) 5 mg/m³, como CN, 8 hr, TWA, piel
- TLV (ACGIH) Techo 5 mg/m³, como CN, piel
- AEL * (DuPont) 5 mg/m³, 15 minutos TWA, como CN, piel

Gas Cianuro de Hidrógeno

- PEL (OSHA) 10 ppm, 11 mg/m³, piel
- TLV (ACGIH) techo 4.7 ppm, 5 mg/m³ como CN, piel.
- AEL * (DuPont) 5mg/m³, 15 minutos TWA, como CN, piel

AEL es un límite de exposición aceptable por DuPont, donde los límites de exposición ocupacional son impuestos por el gobierno, los cuales son más bajos que AEL son en efecto, límites que toman precedencia.

Comentarios

- La anotación "Piel" en la Sección de Límites de Exposición indica que el líquido o vapor puede penetrar en la piel (especialmente si existe una herida).
- El control de la inhalación de vapor, polvo y neblina por sí sola, puede no ser suficiente para prevenir una dosis excesiva.

Sección 9. Propiedades físicas y químicas

Información física

Punto de ebullición	1496 C (2725F)	760 mm Hg.
Presión de vapor	Mínimo	
Densidad de vapor	Ninguno	
Punto de fusión	564 C (1047 F)	
Solubilidad en agua	37 WT % @ 20 C (68 F)	
pH	11.3 - 11.7	
Forma	Sólido, granular, briquetas	
Color	Blanco	
Gravedad específica	1.6	
Densidad en bruto (embalado) :	50-55 lbs /pies ³	

El pH mencionado es típico de una solución 5 - 25 % sin ajuste de pH.

El cianuro sólido no tiene olor, pero puede tener un leve olor a amoníaco y/o olor a cianuro hidrógeno si está húmedo.

Sección 10. Estabilidad y reactividad

Estabilidad química

- Muy estable cuando está seco

Incompatibilidad con otros materiales

- Grandes cantidades de gas cianuro de hidrógeno inflamable y venenoso (HCN) se producirá por el contacto con ácidos, reacciona violentamente con agentes oxidantes fuertes cuando se calienta. El agua o las soluciones alcalinas débiles pueden producir cantidades peligrosas de cianuro de hidrógeno en áreas confinadas.

Descomposición

- La humedad causará una lenta descomposición, liberando cianuro hidrógeno venenoso y gases de amoníaco.

Polimerización

- • No habrá polimerización.

Sección 11. Información toxicología

Información animal

CIANURO DE SODIO

Oral LD50 : 15 mg/kg en ratas
Dérmico LD50: 11.28-14.63 mg/kg en conejos.

Inhalación LC50: Información no disponible pero se considera *altamente tóxico* como CN por inhalación.

- • *El cianuro de sodio no ha sido probado en la piel ni la irritación en los ojos para demostrar habilidades de sensibilización a la piel.*

NOTA: La administración de cianuro de sodio en ratas, gatos y perros por la vía intravenosa o intraperitoneal resultó asfixia (falta de oxígeno), dispnea (problemas de respiración), ataxia (descoordinación), temblores, coma, y muerte.

- • *Ojos: Así como con otras vías de intoxicación, la toxicidad sistémica y muerte es posible por la contaminación de los ojos; LD 50 en conejos es aproximadamente 5 mg/kg.*

El cianuro de sodio aplicado sobre la piel de un conejo produce temblores, espasmos retrocólicos, convulsiones, respiración anormal y postración.

- • *Ingestión: La administración repetitiva de dieta de casava conteniendo concentraciones no especificadas de iones cianuros causó decrecimiento de la actividad tiroidal y cambios renales. La administración durante largos períodos de 0.5, 1.0, o 2.0 mg/kg/día a perros produjo intoxicaciones agudas no específicas e incrementó el número de células rojas en la sangre y decreció el nivel de proteínas en dosis mayores a 1.0 mg/kg/día. Cambios en el sistema nervioso central fueron observados.*

No existen reportes de ensayos en animales que demuestren riesgos cancerígenos por cianuro de sodio. Limitados estudios reproductivos no sugieren efectos en animales adultos.

El cianuro de sodio no produce daño genético en cultivos bacteriales, y no ha sido probado en animales.

Sección 12. Información Ecológica

Información Ecotoxicológica

TOXICIDAD ACUÁTICA Cianuro de Sodio

- • 96 horas LC50 - Fathead minnows : 0.43 - 0.66 mg/L
- • 96 horas LC50 - Trucha arcoiris: .046 – .075 mg/L
- • 96 horas LC50 - Bluegill sunfish: 0.28 mg/L

Consideraciones para la eliminación

Eliminación de desperdicios

- • *Este material puede ser un desecho peligroso.*
- • *No vacíe el cianuro en alcantarillas que puedan contener un ácido.*
- • *Desintoxique usando hipoclorito de sodio diluido, peróxido de hidrogeno, o hipoclorito de calcio, cumpla con los métodos Federales, Estatales y locales respecto a métodos de eliminación de acuerdo a los procedimientos establecidos, si no se tiene la capacidad, se debe transferir la eliminación a un especialista.*

Sección 13. Información de transporte

Información de Embarque

DOT

Nombre del producto en embarque: CIANURO DE SODIO

Clase de riesgo: 6. 1

Nº I.D. (UN/NA): UN1689

Rótulo DOT: TOXICO

Información Especial: Contaminante marino

Grupo de embalaje: I

DOT / IMO

Nombre del producto en embarque: CIANURO DE SODIO, SOLIDO

Clase de riesgo: 6. 1

Nº I.D. (UN/NA): UN1689

Rótulo DOT / IMO: TOXICO

Información Especial: Contaminante marino

Grupo de embalaje: I

Cantidad Reportable: 10 lb (4.54 kg)

Tipo de envases de embarque

Tambores de Acero: 100 Kg

FLO-BINS™ : 3.000 lbs neto; 3.600 lbs bruto

Super Sacos en caja: 1.000 kg / 2.200 lbs

Tuff Paks: 48 sacos con 20 kg (en caja 960 kg o 2112 lbs)

Sección 14. Información reglamentaria

Regulación Federal de los EE.UU.

Estatus de Inventario TSCA Informado/incluido

Titulo III - CLASIFICACIÓN DE RIESGOS SECCIÓN 311, 312.

- • Agudo: Sí
- • Crónico: No
- • Fuego: No
- • Reactividad: Sí
- • Presión: No

Lista de elementos químicos peligrosos

- • SARA Sustancia extremadamente peligrosa: Sí
- • CERCLA Sustancia peligrosa : Sí
- • SARA Elemento químico tóxico : Sí

Regulaciones Canadienses

- • **Clase D División 1 Subdivisión A – Material muy tóxico / Mortalidad aguda**
- • **Clase D División 2 Subdivisión B – Material Tóxico. Irritante de ojos y piel.**

Sección 15. Otra información

NFPA, NPCA-HMIS

- • Rango NFPA
- • Salud 3
- • Inflamabilidad 0
- • Reactividad 1
- • Rango NPCA- HMIS
- • Salud 3
- • Inflamabilidad 0
- • Reactividad 1

El rango de protección personal debe ser suministrado para el usuario dependiendo de las condiciones de uso.

Información adicional

- • La anotación "piel" en la Sección de Límites de Exposición indica que el líquido o vapor puede penetrar en la piel (especialmente si la piel está herida). El control de inhalación de vapor, polvo y rocío en forma aislada puede no ser suficiente para impedir una dosis excesiva.
- • Para más información, consulte El Boletín y Manual de Almacenado de Cianuro DuPont.
- • La información contenida en esta Información de Seguridad de Material se refiere solamente al material específico aquí designado y no se relaciona con el uso en combinación con otro material u otro propósito.
- • Responsabilidad para MSDS
Productos Químicos DuPont
- • Dirección
Ingeniería y Seguridad de Productos
Wilmington, DE 19898
Teléfono 1 (800) 441-7515

Señores:

MINERA YANACOCHA

Atención: Percy Meza

Ref.: Analizador de Tamaño de Partículas PSI 200 / 300

Nos es grato hacerles llegar nuestra propuesta por lo siguiente:

It.	Cant.	Descripción	Precio Unit. USD	TOTAL USD
01	1	MEDIDOR EN LÍNEA DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS PSI 300 PARA UNA MUESTRA DE PROCESO. INDICACIÓN LOCAL DE LAS MALLAS Y DENSIDAD (%SÓLIDOS) REQUERIDAS POR CADA FLUJO. INCLUYE LO SIGUIENTE: - COMUNICACIÓN CON SU SISTEMA DCS. (ETHERNET MODBUS TCP/IP O SERIAL RS485 MODBUS RTU, O A SER DEFINIDO POR EL USUARIO). - INTERFASE HOMBRE-MÁQUINA MEDIANTE EL DISPLAY LOCAL CLI 6700 CON TECNOLOGÍA TOUCH-SCREEN.	131,880.00	131,880.00

		<ul style="list-style-type: none"> - MULTIPLEXOR PARA UNA LINEA DE MUESTRA. - OCHO (8) SALIDAS ANALÓGICAS DE 4-20 mA. - SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO REMOTO DEL MUESTREADOR PRIMARIO. - MEDICIÓN DE DENSIDAD (%SOLIDS) 		
--	--	---	--	--

TOTAL LOCAL, LIMA, PERÚ
USD131,880.00

TERMINOS Y CONDICIONES.

TERMINOS DE DESPACHO.

Entrega en sus almacenes de Lima. Incluye embalaje de transporte a Mina.

TIEMPO DE ENTREGA.

100 días desde la recepción de su orden de compra.

PRECIOS.

Los precios de esta cotización son fijos y dados en dólares USA. **No incluyen el Impuesto General a las Ventas.**

FORMA DE PAGO

50% con su orden de compra. Saldo con la entrega de los equipos.

GARANTIA.

El equipo está garantizado por 12 meses desde el arranque, pero no más de 18 meses luego del despacho, contra fallas en el material o mano de obra. La garantía cubre el reemplazo o reparación de unidades o componentes y su despacho hasta el lugar donde se encuentra el equipo.

EFFECTIVIZACION DEL CONTRATO.

El contrato se efectiviza desde la recepción de su orden de compra.

VALIDEZ DE LA OFERTA.

La oferta presente es válida hasta el 15 de Diciembre 2009.

ERRORES DE TIPEO.

Errores involuntarios sujetos a corrección.

Atentamente,

OUTOTEC (PERÚ) S.A.C.

COTIZACION DE MODIFICACION ESTRUCTURAL

PLATAFORMA - ANALIZADOR DE PARTICULAS				
	Unidades	Precio USD \$	Cantidad	Costo \$
Fabricación de plataforma de Acero (6 metros x 3 metros).				
Base de unión con estructuras (3 mt x 1/8" x 1/16")	Pza	750	6	4500
Material: Planchas metálicas corrugadas (De 2mt x 1 mt)	Pza	324	5	1620
Altura de la base del suelo: 4 metros de altura.			.....	.....
Techo de plataforma en plancha metálica a dos aguas (8 metros x 4 metros)	Pza	210	2	420
Escalera de Acceso metalizada:(4mt de alto x 20 escalones con 02 descansos).	Pza	5955	.....	5955
Guardas de plataforma y escaleras en tubería de acero				
Distancia de guardas (75 cm de alto de 02 tubos paralelos con 35cm de separación)	Pza	1250	.....	1250
Pintura de plataforma (Epoxica de color amarillo guardas y base negra).	Pza	1500	.....	1500
Conexión a Tubería Matriz de 14"				
Muestreador de Acero al manganeso (De 14" con reducción a 4")	Pza	1876	2	3752
Tubería de Acero Dulce (4" X 6mt)	Pza	1798	2	3596
Angulo de 2"x1/4 A36	Pza	23.76	4	95.04
Angulo de 3"x3/16 A36	Pza	39.59	4	158.36

Angulo de 2"x3/16 A36	Pza	5.82	4	23.28
Válvula de Bola bridada de bola 1" ANSI 150	Pza	176	4	704
Bridas de 3" ANSI 150	Pza	221	4	884
Bridas de 2" ANSI 150	Pza	145	4	580
Bridas de 1" ANSI 150	Pza	125	4	500
Bridas de 1/2" ANSI 150	Pza	112	2	224
Instalación de Plataforma*			.....	.....
Montaje (10 Obreros mas un supervisor de obra).		11550	.....	11550
Rompimiento de base concreto anterior (30 m2)	Pza	2600	.....	2600
Encofrado de Base	Pza	3100	.....	3100
				43011.68 USD

Fuente: Contratistas Generales.

Precios Incluyen IGV.

Estructuras de plataformas según requerimiento de la empresa.

*** 90 días calendario en realizar la obra.**