

***OPTIMIZACION DEL SISTEMA  
DE TRATAMIENTO DE AGUA  
DE MINA (PTAM) Huaron-  
LMP y ECA***

*Ing. Emilio Mendoza  
Jefe Corporativo de Gestión  
Ambiental PASPERU SAC*

## **INTRODUCCIÓN**

- A continuación se describe un resumen de las consideraciones generales del diseño e implementación del sistema de automatización de dosificación e inyección de cal y floculante en la Planta de Tratamiento de Agua de Mina “San José” el cual estaba orientado asegurar la optimización del tratamiento del agua de mina y la adecuación a los LMP y ECA.

## **ANTECEDENTES**

- Pan American Silver Huaron S.A. cuenta con una Planta de Tratamiento de Agua de Mina “San José” el cual tiene un sistema de dosificación de cal y floculante era semi automatizada. La operación de dosificación específicamente se lleva a cabo de forma semi automatizada (es decir la apertura y cierre de valvulas manual) lo que generaba imprecisiones o desfase entre los ajustes efectuados por los operadores de la planta y los resultados esperados; generando la variabilidad de la calidad del efluente en el tiempo.

- Por otro lado las autoridades emitieron los LMP y ECAs para agua respectivamente; siendo la adecuación a dichas normas de carácter obligatorio.

En el marco de la búsqueda de solución al problema planteado, Panamerican Silver Huaron S.A. como parte del proceso de adecuación; desarrolló el proyecto de automatización de la PTAM(desde la fase conceptual ; laboratorio, piloto el desarrollo de la ingeniería de detalle y la implementación).

## **CRITERIOS DE DISEÑO**

La planta existente cuenta con las siguientes etapas:

- Coagulación y acondicionamiento de pH mediante inyección de lechada de cal
- Inyección de floculante
- Sedimentación y Clarificación
- Control de caudal en salida

## **DESARROLLO DEL PROYECTO:**

- Identificación del Problema
- Modelo Conceptual de las posibles alternativas de solución
- Selección de la alternativa correcta.
- Pruebas de Laboratorio (Prueba de Jarras).
- Pruebas Piloto
- Desarrollo de la ingeniería básica y de detalle
- Implementación
- Puesta en marcha y funcionamiento.

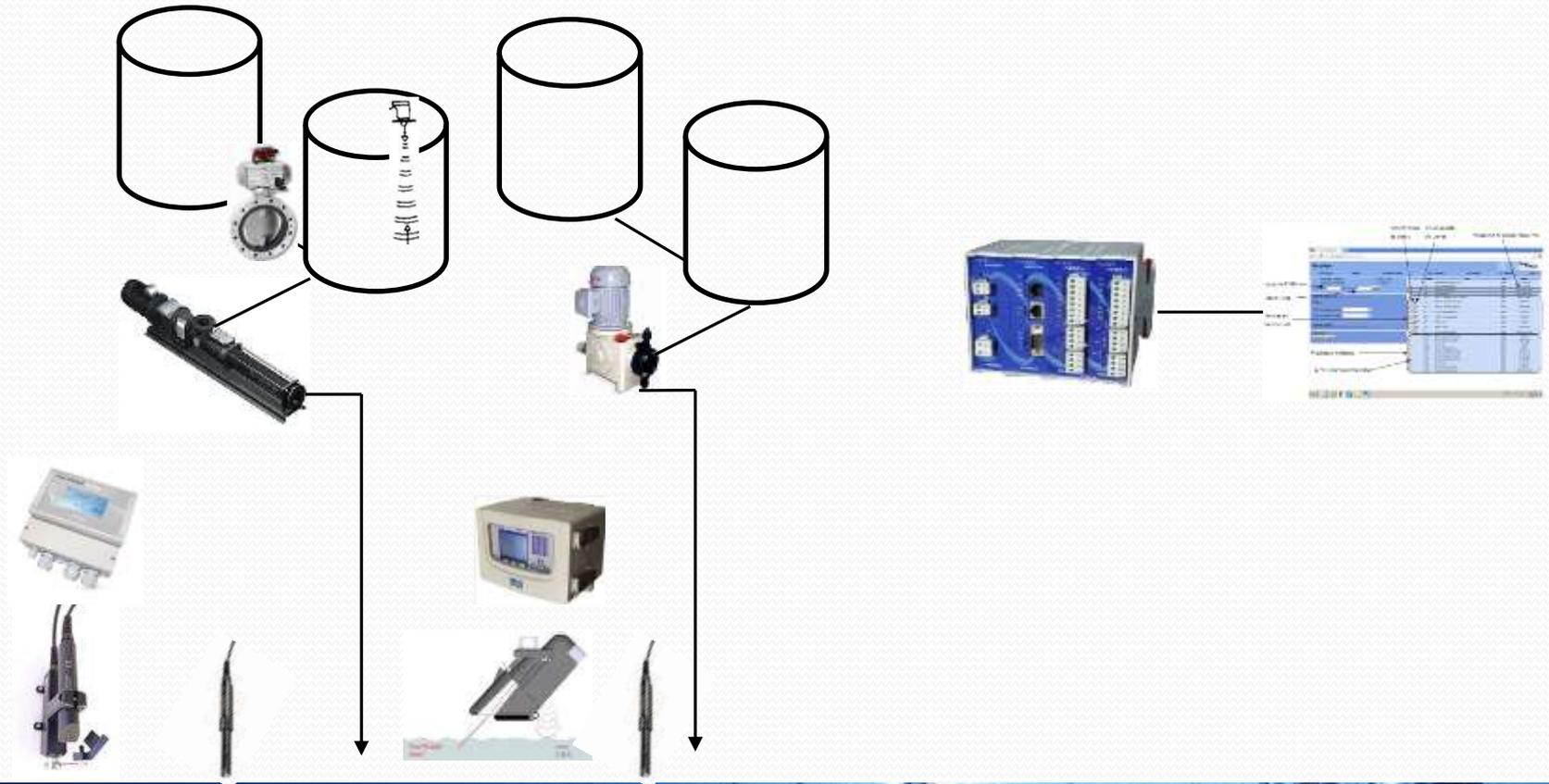


**RESULTADOS DE PRUEBAS DE JARRA ( PARA LA AUTOMATIZACION)**

	<b>Cu</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>
M-0	<b>0.296</b>	<b>0.52</b>	<b>4.702</b>	<b>2.514</b>	<b>42.322</b>
M-1	<0.002	0.066	2.38	<0.002	11.23
M-2	<b>&lt;0.002</b>	<b>&lt;0.002</b>	<b>0.172</b>	<b>&lt;0.002</b>	<b>0.172</b>
M-3	<b>&lt;0.002</b>	<b>&lt;0.002</b>	<b>0.098</b>	<b>&lt;0.002</b>	<b>0.02</b>
M-4	<0.002	<0.002	0.225	<0.002	0.072
M-5	<0.002	<0.002	0.144	<0.002	0.02

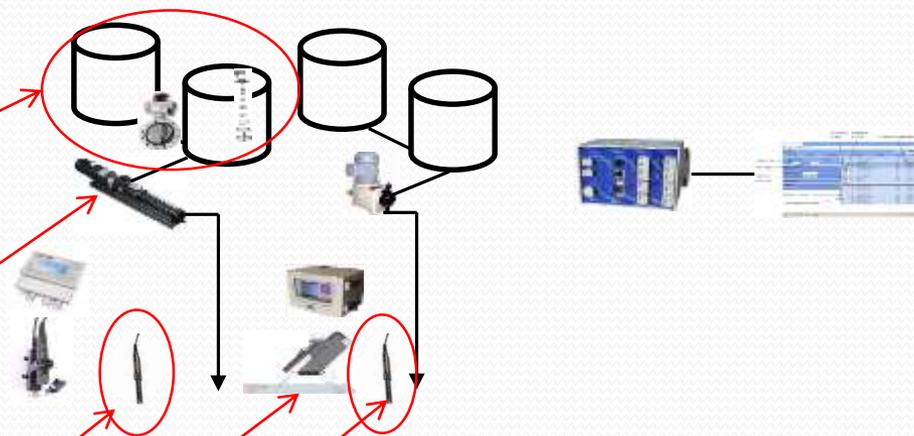
# ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA

Vista general de los equipos a instalar:



## LOGICA PARA EL CONTROL DEL PH

1. Estandarización de la preparación de la lechada de cal: procedimientos y automatización
2. Tecnología de bombeo: bombas de cavidad progresiva (x2)
3. Medición del pH del agua cruda
4. Medición del caudal (existente)
5. Medición del pH final (existente)



### OBJETIVO:

Asegurar un pH estable a nivel del punto de pH corregido que corresponde al punto de inyección del floculante, cualesquiera sean las variaciones de calidad del agua cruda

## PREPARACIÓN Y BOMBEO DE LA LECHADA DE CAL

### Situación antes de la Automatización:

No había control adecuado sobre la concentración de la lechada por dos razones:

- Preparación aleatoria de parte del operario (de acuerdo a sus mediciones puntales de pH).
- La lechada era diluida mediante aporte de agua a nivel del sello de la bomba de inyección.



**Consecuencia:**  
*regulación del pH aleatoria*

### Situación después de modificación:

El control del sistema será total mediante:

- Procedimientos establecidos y trazables de la preparación de la lechada.
- Eliminación de la dilución no deseada mediante cambio de tecnología de bombeo.
- Facilitación de la operación mediante automatización del trasvase de lechada de cal entre el tanque de preparación y el tanque de inyección.



**Resultado:**  
*regulación del pH eficiente y estable*

## PREPARACIÓN Y BOMBEO DE LA LECHADA DE CAL

### Lógica de control y regulación



Variables consideradas:

- Diferencia de pH entre el agua cruda llegando y el pH que se requiere,
- Caudal del agua de mina antes de su tratamiento,
- pH acondicionado del agua.



La diferencia entre el pH de entrada y la consigna, ponderada al caudal permite calcular una carga másica teórica de cal a inyectar. Esta carga se inyecta mediante control de la velocidad de la bomba por el PLC.



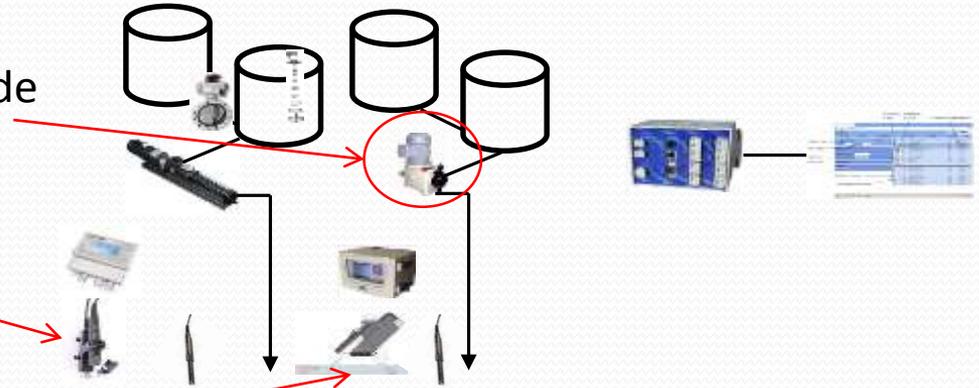
La lectura del pH corregido permite hacer los pequeños ajustes requeridos mediante una regulación PID, es esta retroalimentación del sistema que permite una regulación eficiente y fina.

## LOGICA PARA EL CONTROL DE LA INYECCIÓN DE FLOCULANTE

1. Tecnología de bombeo: bombas de diafragma con control analógico (x2).

2. Medición de los SST en el agua cruda.

3. Medición del caudal.



### OBJETIVO:

Asegurar una dosificación proporcional a la cantidad de SST, de acuerdo a los ensayos de pruebas de jarra.

## LOGICA PARA EL CONTROL DE LA INYECCIÓN DE FLOCULANTE

### Situación antes de la automatización:

La cantidad de floculante a inyectar es controlada manualmente por el operario.



**Consecuencia: regulación de la cantidad de floculante aleatoria.**

### Situación después de modificación:

El control del sistema será total mediante

- Inyección de una cantidad de floculante proporcional a la cantidad de SST contenidos en el efluente.
- Ponderación proporcional al caudal del efluente.



**Resultado: regulación del floculante eficiente y estable, optimización del consumo.**

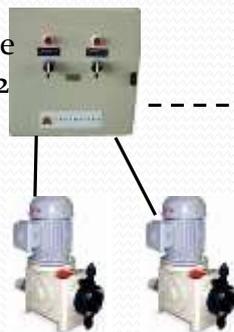
NOTA: La lógica de control es estrictamente proporcional al no tener retroalimentación rápida disponible

# SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL

Tablero de fuerza nº1



Tablero de fuerza nº2



Tablero de control



internet

Señales analógicas



Interface de control en navegador internet estándar

## TECNOLOGÍAS

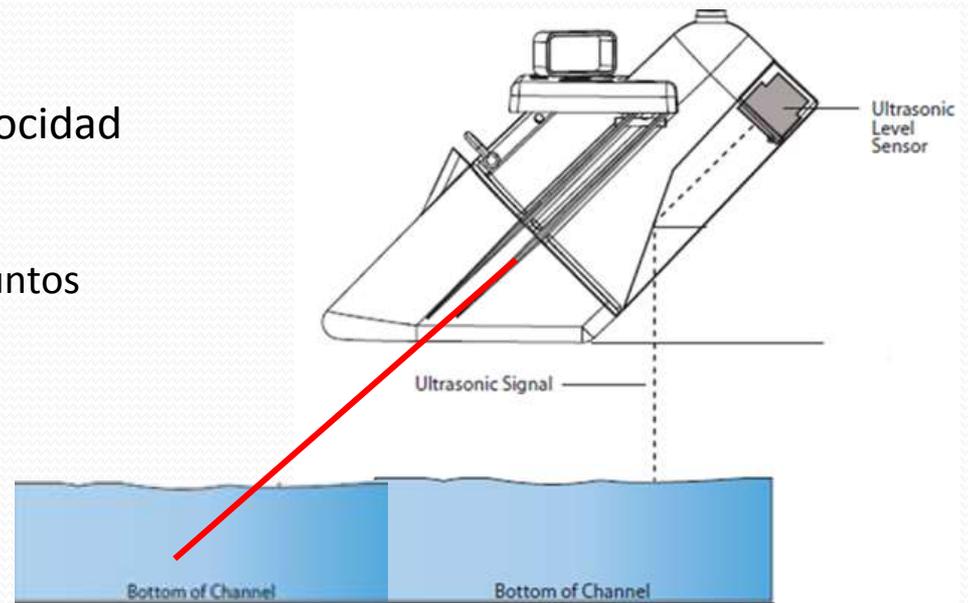
### Medición de caudal

El no contar con estructura primaria de medición generaba desviaciones al usar el sensor ultrasónico de nivel solo.

Se recomienda medición por área velocidad sin contacto:

- Mide la velocidad del flujo en varios puntos
- Mide la altura del flujo.

***Permite un calculo del flujo con excelente precisión en estructuras irregulares.***



## TECNOLOGÍAS

### ↪ Medición de Sólidos Suspendidos

Sensor óptico con sistema de limpieza automática:

- Calibración en el efluente por correlación con peso seco
- Sin desviación de la lectura
- Sin mantenimiento
- Rango de medición 0 a 3500 mg/L



# TECNOLOGÍAS

## P400xi, Sistema de Control

Sistema de datalogging y control:

- Supervisión por navegador WEB embebido
- Protección por usuarios y claves
- Acceso a historiales
- Controles Manuales / Auto
- Escalable



Botón para modificar estado

Id	Nombre	Unidad	Valor	Unidad
11	RESERVA CONTROL AUTOMATICO	ON		Booleano
12	RESERVA CONTROL AUTOMATICO	ON	1.000000	
13	RESERVA CONTROL AUTOMATICO	ON	1.000000	
14	RESERVA CONTROL AUTOMATICO	ON	1.000000	
15	RESERVA CONTROL AUTOMATICO	ON	1.000000	
16	RESERVA CONTROL AUTOMATICO	ON	1.000000	
17	RESERVA CONTROL AUTOMATICO	ON	1.000000	
18	RESERVA CONTROL AUTOMATICO	ON	1.000000	
19	RESERVA CONTROL AUTOMATICO	ON	1.000000	
20	RESERVA CONTROL AUTOMATICO	ON	1.000000	
21	RESERVA CONTROL AUTOMATICO	ON	1.000000	
22	RESERVA CONTROL AUTOMATICO	ON	1.000000	
23	RESERVA CONTROL AUTOMATICO	ON	1.000000	
24	RESERVA CONTROL AUTOMATICO	ON	1.000000	
25	RESERVA CONTROL AUTOMATICO	ON	1.000000	
26	RESERVA CONTROL AUTOMATICO	ON	1.000000	
27	RESERVA CONTROL AUTOMATICO	ON	1.000000	
28	RESERVA CONTROL AUTOMATICO	ON	1.000000	
29	RESERVA CONTROL AUTOMATICO	ON	1.000000	
30	RESERVA CONTROL AUTOMATICO	ON	1.000000	

Numero de canal y acceso al comando

Selección del estado para validación

Comande TOR:  
Manual  
Manual  
Auto  
Return options

Botón de acceso a curvas históricas

- Curvas históricas autorizan la visualización de la evolución de los valores medidos en el tiempo.

Id	Nombre	Unidad	Valor	Unidad
120	PISCINA2 Velocidad Auto / Manual	ON		Booleano
121	PISCINA2 Oxigeno Disuelto	ON	2.13	mg/L
122	PISCINA2 Temperatura	ON	25.38	C
124	PISCINA2 CN Alarma Nivel Alto	ON		Booleano

Ejemplo de curva histórica



## CONCLUSIÓN

**Adecuada toma en cuenta de la medición de:**

- pH
- SST
- Caudal



**Datalogging y control:**

- supervisión
- Controles automáticos y manuales
- Flexibilidad y reactividad

**Solución confiable, sencilla y comprobada**

## MEMORIA DE CALCULO

### Calculo de la velocidad

Velocidad mínima de la lechada de cal : 1.4 m/s

Diámetro de tubería principal de distribución: 3"

Diámetro interior: 66.4 mm

Caudal a 1.4 m/s en tubería de 3" : 18 m<sup>3</sup>/h

**Caudal de diseño: 20 m<sup>3</sup>/h**

**Velocidad a caudal de diseño: 1.6 m/s**

### 1.Calculo de perdida de carga en tubería

2.Longitud de tubería de circulación: 310 m

Velocidad en tubería: 1.6 m/s

Fluido: lechada de cal a 20°C

Perdida de carga lineal calculada: 1.6 bar

Factor por pérdidas de cargas singulares: 1.5

Perdida de carga por altura: 0.4 bar

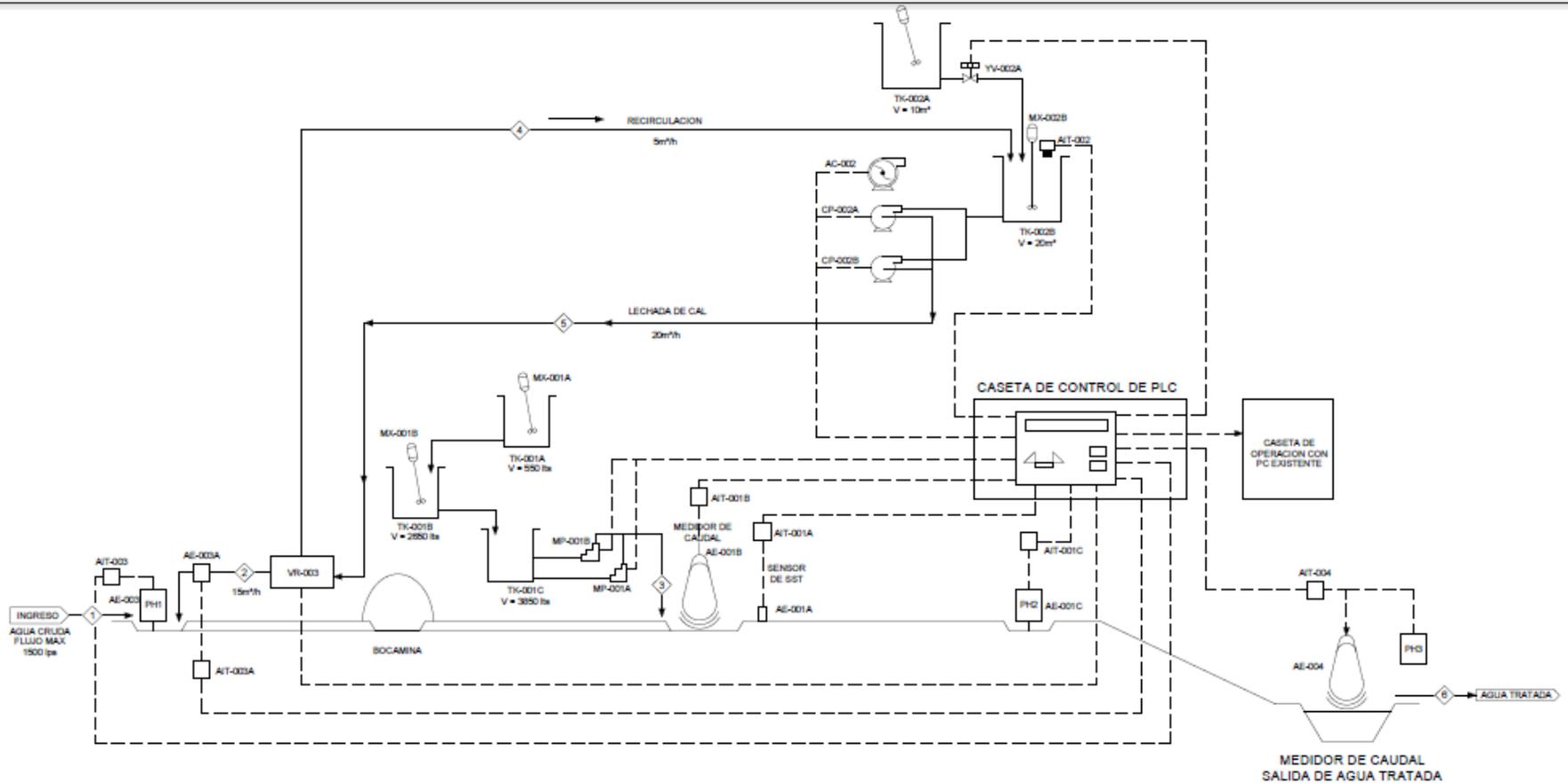
**Perdida de carga total para diseño: 3 bares**

Dosis de floculante a inyectar : 50 a 150 mL/s

Viscosidad del floculante : 500 cps

Caudal máximo a inyectar : 648 l/h

Frecuencia máxima de motor para alta viscosidad :200golpes/min



B	FIS 18	Plano AS-BUILT	M.S.	P.S.
A	NOV 11	Entido para revisión	M.S.	P.S.
Rev. N°	Fecha	Descripción	Revisó	Aprobó
		<b>PAN AMERICAN SILVER HUARON SA</b>		
Planta de Tratamiento de Agua de Mina "San José" San Antonio, Huaruro, Puno				

## AHORRO EN REACTIVOS

	ENERO (US\$)	FEBRERO(US\$)	TOTAL (US\$)
<b>SIN AUTOMATIZACION</b>	13,162	14,328	27,490
<b>CON AUTOMATIZACION</b>	9,752	10,174	19,926
<b>AHORRO EN US\$</b>			7,564
<b>AHORRO PROYECTADO EN EL 2016 (US\$): 42000</b>			

	Cu(mg/L)	Pb(mg/L)	Zn(mg/L)	Fe(mg/L)	Mn(mg/L)
Antes del Tratamiento	<b>0.296</b>	<b>0.52</b>	<b>4.702</b>	<b>2.514</b>	<b>42.322</b>
Después del Tratamiento	<0.002	<0.002	0.144	<0.002	0.02
LMP ; DS 010-2010-MINAM	0.5	0.2	1.5	2	NA
D. S. N° 015-2015-MINAM	NA	NA	NA	NA	0.2

## FOTOGRAFIAS



SISITEMA DE DOSIFICACION DE FLOCULANTE

## FOTOGRAFIAS



VALVULA DE CONTROL DE LECHADA DE CAL

## FOTOGRAFIAS



TABLEROS ELECTRICOS Y DE MANDO

# FOTOGRAFIAS



TABLEROS ELECTRICOS

## FOTOGRAFIAS



BOMBA DE LECHADA DE CAL



***MUCHAS GRACIAS***