



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**Implementación Monitoreo de Condiciones en Línea en Faena Minera:**

**Estación de Bombeo PLS y Bombas Booster**

**Proyecto para optar al Título de:**

**INGENIERO CIVIL MECÁNICO**

**ALUMNO: Alexis Gaete Riquelme**

**PROFESORES GUÍAS: Orlando Duran A. / Jorge Bornscheuer P.**

**2017**

**A mis Padres,**

**Por el apoyo incondicional y en especial a mi hermosa Madre por su ayuda en los momentos difíciles.**

## Índice de Contenidos

1	Introducción	1
2	Problemática.	5
3	Objetivo	6
3.1	Objetivo General.	6
3.2	Objetivo Específico.	6
4	Reseña de la actividad de la Compañía.	7
5	Marco Teórico	12
5.1	Parámetros de Evaluación económica.	12
5.2	Criterios de selección de Equipos críticos para la implementación del sistema.	12
5.3	Técnicas aplicadas al monitoreo de condiciones en Faena El Abra.	14
5.4	Metodología para la aplicación del Monitoreo de Condiciones.	15
5.5	Disponibilidad de Activos.	16
6	Implementación y Evaluación Monitoreo de Condiciones Online.	17
6.1	Beneficios del monitoreo continuo en línea.	17
6.2	Selección del sistema de monitoreo continuo "On line".	19
6.3	Monitoreo Continuo de condiciones "On Line"	21
6.4	Generalidades del Análisis Online.	24
6.5	Proyecto Online Estación de Bombeo PLS.	30
6.6	Proyecto Online Sistema de Bombeo Ascotán: Recursos Hídricos a Faena.	47
6.7	Evaluación Económica Proyecto Monitoreo Online: Sistema Bombeo PLS y Bombas Booster.	69

7 Conclusiones y Recomendaciones. _____	76
8 Referencias Bibliográficas. _____	77
9 Anexos. _____	78

## Índice de Tablas

TABLA 1 CÓDIGOS DE UBICACIÓN SENSORES. ....	29
TABLA 2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS BOMBA Y MOTOR ELÉCTRICO. ....	33
TABLA 3 TIPO DE CONFIGURACIÓN DE EQUIPOS ESTUDIADOS: CONJUNTO BOMBEO PLS. ....	34
TABLA 4 GRADO DE CRITICIDAD: CONJUNTO DE BOMBEO PLS .....	34
TABLA 5 VARIABLES EVALUADAS Y ASIGNACIÓN DE CRITICIDAD: CONJUNTO BOMBEO PLS .....	35
TABLA 6 POSICIONAMIENTO SENSORES EN CONJUNTO DE BOMBEO.....	39
TABLA 7 REQUERIMIENTOS MATERIALES Y SERVICIOS DE PROYECTO PLS.....	40
TABLA 8 EVALUACIÓN CONSOLIDADA PROYECTO ONLINE PLS .....	41
TABLA 9 ESTIMACIÓN DEL GASTO DE DETENCIÓN POR TIPO DE FALLA EN CONJUNTO BOMBEO PLS: MANTENIMIENTO.....	42
TABLA 10 ESTIMACIÓN DEL GASTO DE DETENCIÓN POR TIPO DE FALLA EN CONJUNTO BOMBEO PLS: OPERACIONES.....	42
TABLA 11 NÚMERO HISTÓRICO DE HALLAZGOS PREDICTIVOS Y PROYECCIÓN CON MONITOREO ONLINE EN SISTEMA DE BOMBEO PLS .....	43
TABLA 12 MODOS DE FALLAS Y REPETITIVIDAD SISTEMA DE BOMBEO PLS .....	44
TABLA 13 ESTIMACIÓN DE GASTOS MANTENIMIENTO CON Y SIN SISTEMA MONITOREO ONLINE	45
TABLA 14 ESTIMACIÓN DE GASTOS EN MANTENIMIENTO CON Y SIN SISTEMA ONLINE + CU DEJADO DE PRODUCIR.....	45
TABLA 15 ESTIMACIÓN GASTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO MONITOREO ONLINE PLS. .....	46
TABLA 16 ESTIMACIÓN DE GASTOS TOTALES SISTEMA MANUAL DE MONITOREO PLS.....	46
TABLA 17 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS BOMBA BOOSTER .....	51
TABLA 18 TIPO DE CONFIGURACIÓN DE EQUIPOS ESTUDIADOS: BOMBAS BOOSTER ASCOTÁN	52
TABLA 19 GRADO DE CRITICIDAD: BOMBAS BOOSTER ASCOTÁN .....	52

TABLA 20 VARIABLES EVALUADAS Y ASIGNACIÓN DE CRITICIDAD: BOMBAS BOOSTER ASCOTÁN .....	53
TABLA 21 ORIENTACIÓN SENSORES CONJUNTO BOMBEO BOOSTER.....	57
TABLA 22 REQUERIMIENTOS TOTALES CONJUNTO BOMBEO BOOSTER .....	59
TABLA 23 EVALUACIÓN GASTOS MATERIALES Y SERVICIOS PROYECTO ONLINE ESTACIÓN DE BOMBEO BOOSTER.....	62
TABLA 24 ESTIMACIÓN GASTOS DETENCIÓN CONJUNTO BOMBEO BOOSTER: MANTENIMIENTO. .....	62
TABLA 25 NÚMERO DE HALLAZGOS PREDICTIVOS Y PROYECCIÓN: CONJUNTO BOMBEO BOOSTER.....	63
TABLA 26 MODOS DE FALLA: CONJUNTO BOMBEO BOOSTER .....	64
TABLA 27 CUADRO DE GASTOS: CON Y SIN MONITOREO ONLINE BOMBAS BOOSTER .....	65
TABLA 28 ESTIMACIÓN GASTO EVITADO: CONJUNTO BOMBEO BOOSTER.....	65
TABLA 29 ESTIMACIÓN COSTO ANUAL MONITOREO ONLINE BOMBAS BOOSTER.....	66
TABLA 30 ESTIMACIÓN GASTOS TOTALES MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN ONLINE BOMBAS BOOSTER.....	66
TABLA 31 ESTIMACIÓN COSTO ANUAL MONITOREO MANUAL CONJUNTO BOMBEO BOOSTER..	67
TABLA 32 CUADRO ESTIMACIÓN DE COSTOS MANT. MONITOREO MANUAL BOMBAS BOOSTER. .....	67
TABLA 33 DISPONIBILIDADES CASO ACTUAL Y CASO PROPUESTO.....	68
TABLA 34 ESTIMACIÓN DE GASTOS CASO BASE.....	70
TABLA 35 ESTIMACIÓN DE GASTOS CASO PROPUESTO.....	71
TABLA 36 RESUMEN VARIABLES ECONÓMICAS DEL PROYECTO .....	72
TABLA 37 SENSIBILIZACIÓN DEL PROYECTO MONITOREO ONLINE BOMBAS PLS Y BOOSTER ..	74

## Índice de Figuras

FIGURA 1 ESQUEMA ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO Y SUS CLASIFICACIONES.....	2
FIGURA 2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA FAENA MINERA. ....	7
FIGURA 3 RAJO MINA: MINERA EL ABRA.....	8
FIGURA 4 ESQUEMA DEL FLUJO OPERACIONAL DEL PROCESO DE OBTENCIÓN DE COBRE.....	11
FIGURA 5 CLASIFICACIÓN DE LOS TIEMPOS DE UN ACTIVO. ....	16
FIGURA 6 MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y SUS MODALIDADES. ....	17
FIGURA 7 DIAGRAMA TOPOLÓGICO SISTEMA ON LINE .....	20
FIGURA 8 ACCELERÓMETRO DE USO GENERAL .....	26
FIGURA 9 ACCELERÓMETRO DUAL. ....	27
FIGURA 10 CONVENCION DE PUNTOS DE MUESTREO CONJUNTO DE BOMBEO VERTICAL.....	28
FIGURA 11 CONVENCION DE PUNTOS DE MUESTREO CONJUNTO DE BOMBEO VERTICAL.....	29
FIGURA 12 ESTACION DE BOMBEO PLS Y ESTANQUE. ....	31
FIGURA 13 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO. ESTACION DE BOMBEO PLS. ....	32
FIGURA 14 ARBOL DE FALLAS – CONJUNTO BOMBEO PLS.....	36
FIGURA 15 ESQUEMA DE INSTALACION MONITOREO ONLINE CONJUNTO DE BOMBEO PLS. ....	37
FIGURA 16 TOPOLOGIA CONJUNTO DE BOMBEO. ....	38
FIGURA 17 UBICACION ACCELEROMETROS. ....	FIGURA 18 INSTALACION: BOMBA PLS
39	
FIGURA 19 RED DE POZOS SALAR DE ASCOTÁN – BOMBAS BOOSTER. ....	48
FIGURA 20 ELEVACION VS DISTANCIA, BOMBAS BOOSTER – FAENA.....	49
FIGURA 21 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO. ABASTECIMIENTO DE RECURSOS HIDRICOS..	50
FIGURA 22 ARBOL DE FALLAS BOMBAS BOOSTER.....	54
FIGURA 23 DIAGRAMA ESQUEMATICO PRINCIPAL DE BOMBAS ASCOTÁN. ....	55
FIGURA 24 TRAZADO ESTACION DE BOMBEO ASCOTÁN. ....	56
FIGURA 25 UBICACION ACCELEROMETROS CONJUNTO DE BOMBEO BOOSTER.....	57
FIGURA 26 UBICACION PUNTOS DE MEDICION CONJUNTO BOOSTER.....	58
FIGURA 27 DETALLE OMH (LADO LIBRE)	FIGURA 28 DETALLE OMH (LADO CARGA)
FIGURA 29 DETALLE PIH LADO CARGA AXIAL Y RADIAL.	FIGURA 30 DETALLE POH/POA
ACEL.AXIAL Y RADIAL. ....	59

## Índice de Gráficas

GRAFICA 1 HISTÓRICO DE HALLAZGOS PREDICTIVOS SISTEMA BOMBEO PLS .....	43
GRAFICA 2 80 – 20 HALLAZGOS DE FALLA SISTEMA DE BOMBEO PLS .....	44
GRAFICA 3 HALLAZGOS PREDICTIVOS Y PROMEDIOS .....	63
GRAFICA 4 PARETO DE MODOS DE FALLA EN CONJUNTO DE BOMBEO BOOSTER .....	64
GRAFICA 5 ESTIMACIÓN DE GASTOS CASO BASE VS CASO PROPUESTO .....	71
GRAFICA 6 VALOR PRESENTE NETO: 10%; 12%; 15%; 41% (TIR) .....	72
GRAFICA 7 SENSIBILIZACIÓN PROYECTO MONITOREO ONLINE BOMBAS PLS Y BOOSTER.....	75

## Índice Anexos

ANEXO 1 IDENTIFICACIÓN DETENCIONES FRECUENTES ÁREA PLS .....	78
ANEXO 2 HISTÓRICO DE GASTOS MANTENIMIENTO: ÁREA PLS .....	79
ANEXO 3 ORDENES DE MANTENIMIENTO MÁS FRECUENTES ÁREA PLS .....	80
ANEXO 4 HISTÓRICO MODOS DE DETENCIÓN EQUIPOS DE BOMBEO HÍDRICO. ....	81
ANEXO 5 HISTÓRICO GASTOS DE MANTENIMIENTO EQUIPOS DE BOMBEO HÍDRICO.....	82
ANEXO 6 ESTIMACIÓN DEL GASTO DE REPARACIÓN, TIEMPOS DE MANTENIMIENTO SEGÚN ACTIVIDAD DE CONJUNTO BOMBEO PLS. ....	83
ANEXO 7 DETERMINACIÓN DEL COSTO DE DETENCIÓN EN UN CONJUNTO DE BOMBEO PLS. ....	85
ANEXO 8 GASTOS DE OPERACIÓN SISTEMA ONLINE Y SISTEMA MANUAL. ....	86
ANEXO 9 EVALUACIÓN GASTO DE LA REPARACIÓN DE CONJUNTO BOMBEO BOOSTER. ....	87
ANEXO 10 EVALUACIÓN DEL COSTO DE LA DETENCIÓN DE FAENA. ....	89
ANEXO 11 CONFIGURACIÓN DE EQUIPOS O SISTEMAS. ....	90
ANEXO 12 TÉCNICAS PREDICTIVAS.....	93
ANEXO 13 RESULTADOS DEL ANÁLISIS INCREMENTAL: PROYECTO ON LINE: BOMBAS PLS Y BOOSTER.....	104
ANEXO 14 PIB CHILE, ANUARIO COCHILCO, 2016 .....	105
ANEXO 15 PRODUCCIÓN MINERA EN CHILE X REGIONES.....	106

## 1 Introducción

Chile es uno de los principales productores de cobre del mundo alcanzando el año 2016 una participación mundial del 26.9% con 5.6 millones de toneladas (Anexo 14 Producción Minera en Chile por Regiones). La participación de la minería del cobre en el Producto Interno Bruto representa el 7.3 % (Anexo 15 PIB Anuario Cochilco; 2016).

En la Gran Minería del cobre, como en todo proceso productivo, se tienen actividades de mantenimiento como también actividades de implementación de proyectos de inversión, tendientes a soportar la producción.

El proceso productivo es apoyado a nivel de disponibilidad de activos o equipos, por la gestión de mantenimiento. Las estrategias para mantener las disponibilidades que requieren los planes de producción son esenciales, para cumplir con los pronósticos de producción que establece cada empresa.

Las estrategias de mantenimiento utilizadas por la mayoría de las empresas son esencialmente de dos tipos. El primero de ellos es la Estrategia Mantenimiento Correctivo, donde el activo o sistema no es relevante desde la perspectiva de disponibilidad dentro del proceso de producción o está respaldado por un equipo redundante o es de muy fácil reemplazo, luego se acepta la falla. El segundo de ellos es la Estrategia de Mantenimiento Preventivo, que persigue evitar la falla a través del reemplazo de partes o piezas, los cuales tienen una vida útil determinada. En ocasiones este tipo de mantenimiento no utiliza el total de la vida útil del componente, quedando con vida remanente; o también sucede que falla antes de cumplir la vida supuesta, ocasionando una serie de inconvenientes al proceso, pues no se tiene previsto.

Una herramienta que ha surgido dentro del mantenimiento preventivo es el uso del monitoreo de condiciones o mantenimiento predictivo de los equipos, componentes o sistema, el cual permite visualizar los signos vitales o salud de las máquinas a través del tiempo, evitándose así el colapso de la producción. Con esta herramienta es posible utilizar los componentes a su máxima vida útil o actuar de forma anticipada frente a una falla incipiente, producto de un mal montaje, mala reparación, etc.

La medición o seguimiento puede ser puntual, es decir, realizarse cada cierto periodo de tiempo, o puede ser frecuente y en tiempo real, por medio de la revisión en línea “on line”, lo que permite visualizar en tiempo real los signos vitales o salud del componente. El tipo de seguimiento es definido de acuerdo a la criticidad que tiene el equipo o componente dentro del proceso productivo. La Figura 1 muestra esquemáticamente las estrategias mencionadas. Destacando el mantenimiento predictivo, ya que será analizado a lo largo de este trabajo.

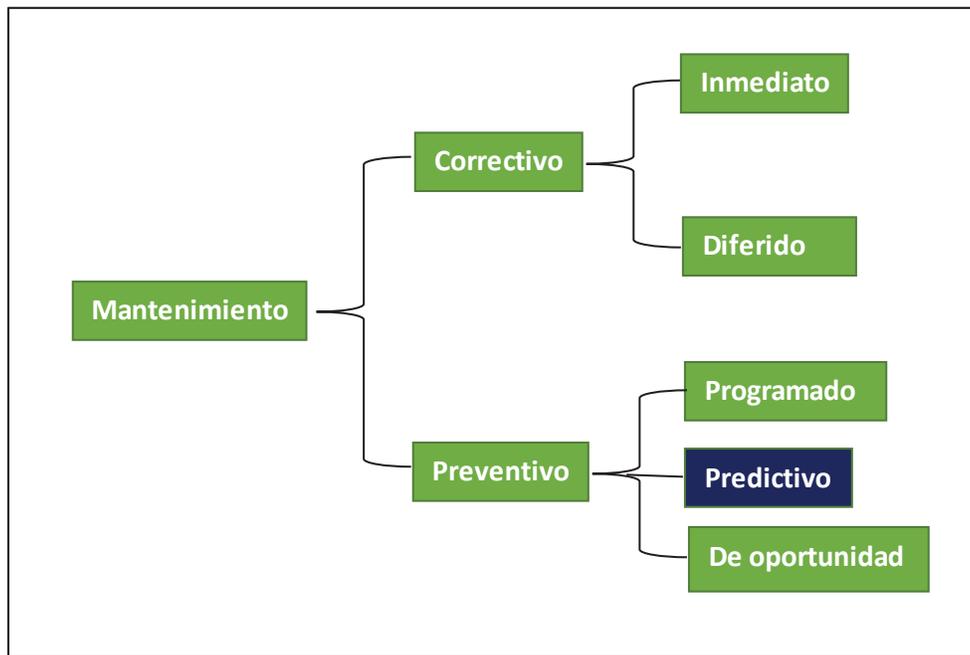


Figura 1 Esquema estrategias de mantenimiento y sus clasificaciones.

El Mantenimiento Predictivo o basado en condición evalúa el estado mecánico y eléctrico del equipo monitoreado y como esta condición evoluciona en el tiempo, esto se logra a través de las diversas sintomatologías que los equipos o máquinas muestran cuando están funcionando en régimen de trabajo (vibraciones y temperatura).

Algunas ventajas que se visualizan en el Mantenimiento basado en condición o Predictivo son:

- a) Sólo se detiene el equipo cuando es necesario, con esto se evitan pérdidas de producción por este concepto, ya que la planificación en base a los sistemas permite programar la detención teniendo los repuestos necesarios para las actividades de mantenimiento.
- b) Se extienden los intervalos de mantenimiento de una forma segura, ya que el síntoma en su etapa inicial entrega la señal para la planificación del Mantenimiento por condición.

En Freeport-McMoran el Mantenimiento Predictivo es un tema transversal, que se aplica a todas las áreas de Operación y Servicios de sus faenas en Latino América, Norte América y Asia. La conciencia del ahorro al evitar fallas asociadas al uso del monitoreo de condiciones, se evidencia y se ve reflejado en los gastos evitados al prevenirlas, los días de detención, la mano de obra de mantenimiento, la mano de obra de producción, lo dejado de ganar por menor producción, lo que se traduce en gastos importantes de dinero, que finalmente afectan negativamente el costo de operación.

La estrategia de mantenimiento que posiciona a los planes predictivos como fuente importante de información, de seguimiento y de historia de comportamiento de los equipos y sistemas eleva a esta rama y le da un carácter relevante frente al clásico mantenimiento programado.

La implementación de los sistemas de monitoreo requiere de inversiones iniciales, las cuales tienen una justificación económica.

SCMEA filial de Freeport McMoran, tiene varios sistemas considerados críticos dentro de su operación, siendo los más críticos, el sistema de bombeo de PLS (Pregnant Leach Solution) y Bombeo remoto de agua industrial desde el Salar Ascotán o también llamado Sistema Booster, distante 75 km de la planta, de ahí que fueran implementados prioritariamente.

El presente trabajo expone de forma descriptiva la incorporación de tecnologías a las estrategias de mantenimiento preventivo dentro de una Faena Minera. Se podrá visualizar el proceso completo de implementación, partiendo por las necesidades detectadas, la selección de los sistemas en donde se implementaron prioritariamente, los parámetros de control y las técnicas que se requieren para su control, como también la justificación de la inversión para el dueño.

## 2 Problemática.

La problemática se enfoca en las fallas de los equipos o sistemas que no son detectadas por los sistemas predictivos basados en rutas establecidas. Estos equipos o sistemas requieren de una atención especial por su criticidad para la operación, la seguridad y el medio ambiente.

Antes de este Proyecto en Minera El Abra el Mantenimiento Preventivo se aplicaba en sus dos ramas:

- Mantenimiento Programado; Basado en programa de reemplazo de piezas y partes, actividades de ajuste, reemplazo de lubricantes, etc., de acuerdo al tiempo establecido de duración.
- Mantenimiento Predictivo; Aplicado a equipos en base a rutas de monitoreo, establecidas con frecuencias fijas.

### **3 Objetivo**

#### **3.1 Objetivo General.**

El objetivo general de este trabajo es evidenciar los beneficios que tiene para SCMEA el uso, dentro de las estrategias de Mantenimiento Preventivo, de técnicas predictivas con información en línea o “On Line”. El uso de estas técnicas afecta de manera positiva los siguientes aspectos:

- Uso del Activo por mejora en la Disponibilidad
- Gastos de Mantenimiento

#### **3.2 Objetivo Específico.**

- Dar a conocer el proceso de Implementación del monitoreo de condiciones en Línea “On Line” en dos sistemas de una Faena minera:
  - Estación de Bombeo PLS
  - Estación de Bombeo Booster (agua Industrial)
- Mostrar la selección del sistema a utilizar y sus ventajas respecto a otros existentes en el mercado.
- Criterios para la selección de equipos críticos del proyecto.
- Evaluar económicamente el caso actual versus el caso propuesto.

#### 4 Reseña de la actividad de la Compañía.

Sociedad Contractual Minera El Abra se encuentra ubicada en la II región de Chile. Provincia el Loa, es una minera que pertenece a la gran minería del Cobre, El Abra está ubicada a unos 75 km al noreste de la ciudad de Calama, y el yacimiento se encuentra a una altura entre 3.900 y 4.100 m.s.n.m.



Figura 2 Ubicación Geográfica Faena Minera.

Sociedad Contractual Minera el Abra (S.C.M El Abra) es operada por la Estadounidense Freeport-McMoRan Inc (51%) y por Codelco (49%). Freeport- McMoran Inc (FMI) es una compañía internacional dedicada a la extracción de recursos minerales y la producción industrial. Con sede en Phoenix, Arizona, FMI es la principal empresa productora de cobre cotizada en la bolsa a escala mundial, además, de ser el mayor productor mundial de molibdeno.



Figura 3 Rajo Mina: Minera El Abra

El Abra es un yacimiento tipo pórfido cuprífero, de un largo aproximado de 2 Km en dirección este-oeste con un ancho de 1,5 Km en dirección norte-sur, controla un total de 44.624 hectáreas en patentes, cubriendo rajo, botaderos, planta procesos y sector de pozos de agua. Posee 9.833 hectáreas en servidumbres para las áreas de Mina, planta e instalaciones.

Los recursos corresponden en su mayoría a óxidos, principalmente del tipo crisocola y pseudomalaquita, ubicados sobre un gran cuerpo de sulfuros, los cuales son tratados mediante lixiviación en una Pila Permanente y una Planta de extracción por solventes y electro-obtención, con capacidad de producir hasta 225.000 toneladas métricas anuales de cátodo de cobre.

En área Mina, la explotación del yacimiento se realiza mediante prácticas convencionales en la operación de un rajo a cielo abierto, perforación, tronadura, carguío y transporte, en bancos de 15 m de altura, donde diariamente se mueven 220.000 t de material, los cuales son enviados a tres destinos principales: Chancador primario, ROM (lixiviación de mineral de baja ley en botaderos) y botaderos de estéril. La Gerencia Mina está compuesta por las siguientes áreas:

- Perforación y Tronadura.
- Carguío y Transporte.

El Abra mueve anualmente un promedio de 78,6 millones de toneladas de material, de los cuales 41,7 millones de toneladas son enviadas al Chancador Primario (Promedio de 114.000 t/d), 36,6 millones de toneladas (Promedio de 100 t/d) de mineral de baja ley es enviado al ROM, y/o,2 millones de toneladas son enviadas a botaderos de lastre.

El área Planta subdivide en dos sub-áreas importantes que se denominan Planta de Beneficios y Planta de Procesos. La primera de éstas tiene como objetivos principales la conminución del material proveniente de la Mina y su depósito en la Pila permanente de lixiviación. Por su parte, la Planta de Procesos tiene como tareas principales, la lixiviación del mineral depositado en la Pila permanente y la extracción por solventes y electro-obtención.

En La Planta de Beneficios, como se señaló, se realiza la conminución del material proveniente de la Mina y su apilamiento en la Pila Permanente. El Chancador Primario consta de un Chancador de cono con una capacidad máxima de 160.000 t/d. El material chancado es transportado a través de correas unos 15 Km hacia los chancadores secundarios (tres chancadores de cono, de capacidad 2.750 t/h cada uno) y luego a los terciarios (seis chancadores de cono, con capacidad 1.300 t/h), desde los cuales pasa al proceso de aglomeración para ser depositado en Pila Permanente de lixiviación.

En la Planta de Procesos, se reúnen las tres últimas etapas del proceso productivo de cobre en SCM El Abra, éstas corresponden a lixiviación, extracción por solventes y electro-obtención.

En la etapa de lixiviación, el mineral es transportado desde los tambores de aglomerado a un apilador (por medio de un conjunto de cintas transportadoras), el cual forma la Pila Permanente en un área de 1.800 m de largo por 1.800 m de ancho y 8 m de altura promedio. La pila se divide en 14 celdas de 134 m de ancho por 1.800 m de largo, cada celda contiene 12 módulos, cada uno de 134 m de ancho por 148 m de largo. Luego de aproximadamente 900 días de riego, con un proceso de lixiviación continuo y luego intermitente, se obtiene la solución rica en cobre o PLS (concentración 0.8-5 g/l), la cual se une con el PLS proveniente desde los botaderos ROM, para ser enviada a la siguiente etapa del proceso, extracción por solventes. El consumo de ácido para esta etapa es de 8 a 9 kg /TMS para curado, más 6 a 8 g/l para refinado.

Una vez apiladas las 14 celdas, se comienza a cargar el segundo nivel sobre el material anteriormente apilado.

En la Extracción por Solventes, las soluciones ricas en cobre, corresponden a un flujo total de 10.000 m<sup>3</sup>/h de PLS, proveniente del proceso de lixiviación de la Pila Permanente y de los botaderos del ROM. Son mezcladas y enviadas a la planta de Extracción por Solventes, este proceso permite separar el cobre contenido en la solución rica en otros minerales e impurezas, para luego transferirlo hacia la Planta de Electro-Obtención.

En la Planta de Electro-Obtención se realiza la producción de cátodos de cobre, a través de cuatro secciones (bancos) con 170 celdas cada uno, lo que da un total de 680 celdas. Cada celda tiene 6,6 m de largo por 1,3 m de ancho y 1,4 m de profundidad. Posee 66 cátodos y 67 ánodos.

Los cátodos son cosechados en ciclos de seis días, mediante la operación de cuatro puentes grúas y tres máquinas despegadoras, las que son responsables de separar el cobre desde la placa de acero.

La Planta en SCM El Abra trabaja los 365 días del año, las 24 horas del día, para cumplir su objetivo de 160.000 t/año en cátodos de cobre.

En la Figura 4 se muestra el proceso completo de obtención de cobre.

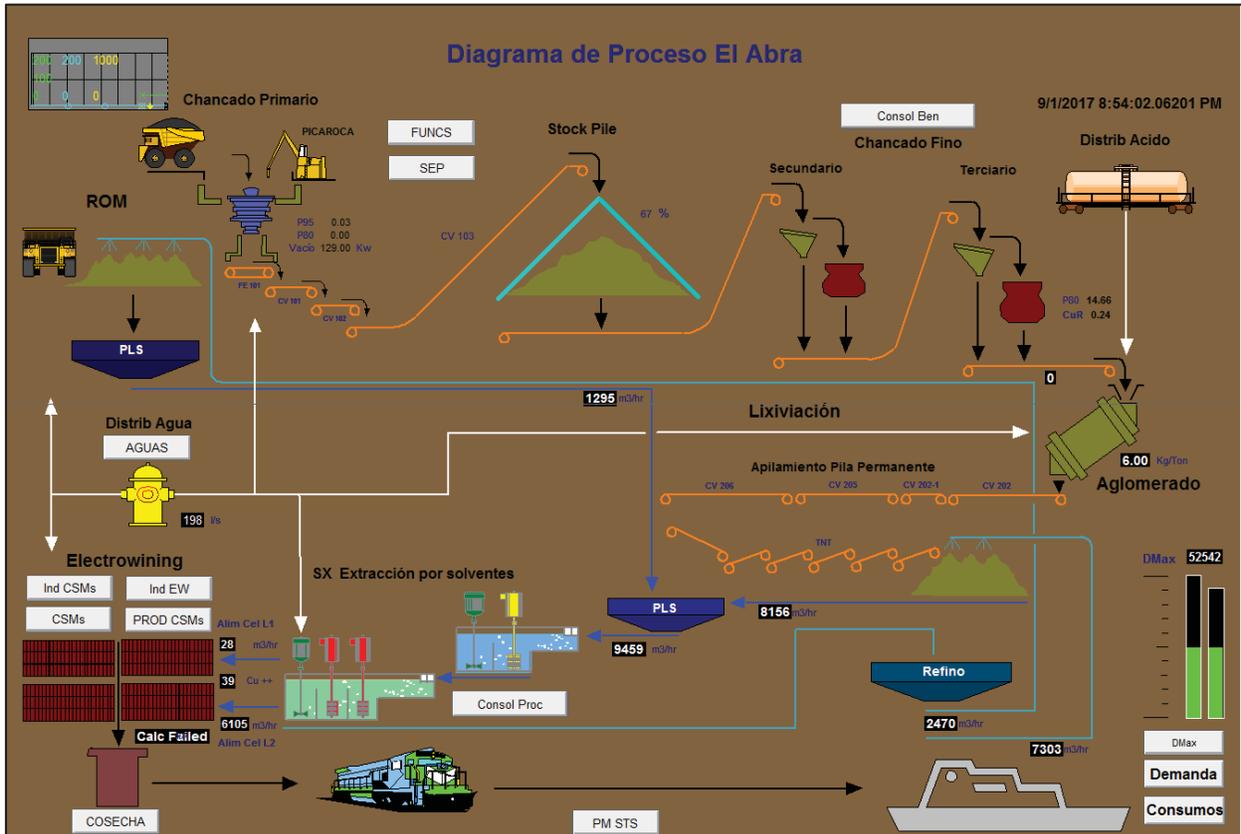


Figura 4 Esquema del Flujo Operacional del Proceso de obtención de cobre.

## **5 Marco Teórico**

### **5.1 Parámetros de Evaluación económica.**

- La evaluación económica del Proyecto se basa en el Análisis Incremental de flujos, determinado por el Caso Base y el Caso Propuesto, se calculan las medidas de contribución del Proyecto:
  - Valor Presente Neto (VPN).
  - Tasa Interna de Retorno (TIR).
  - Periodo de Pago.
  
- La inversión del Proyecto se realiza en el año “0”.
- La depreciación utilizada es lineal.
- La Tasa de Descuento utilizada es el 12%, se realizan cálculos también con 10% y 15%.
- La vida útil del proyecto se estima en 5 años.

### **5.2 Criterios de selección de Equipos críticos para la implementación del sistema.**

#### **5.2.1 Generalidades Selección.**

Se utilizan criterios de selección de equipos críticos, propios de Freeport McMoran, los cuales están basados en condiciones de operación definidas como estratégicas para el funcionamiento del proceso productivo y el tipo de configuración de los sistemas o equipos en la línea de producción.

## 5.2.2 Evaluación Cuantitativa.

### Niveles de criticidad de un sistema

A través de los niveles de criticidad se jerarquizan los sistemas de acuerdo al impacto en la operación, seguridad y medio ambiente que genera una detención de estos. Las variables a evaluar, son las siguientes:

- **Impacto en la Operación:** se define como el porcentaje de detención del sistema productivo, en caso de falla del equipo. Por ejemplo, 100% (0 % producción); 33% (66% de producción), 16% (84% de producción) de la operación asignando grados de impacto proporcional a su grado de incidencia de acuerdo al tipo de configuración que tiene un equipo o sistema, dentro del proceso de producción, por ejemplo, serial paralelo, redundante etc., según el esquematizado del tipo de proceso productivo, y el concepto RBD (Reliability Block Diagram) el cual asigna un grado porcentual según el impacto que la configuración tiene en la operación. Detalles en Anexo 11.
- **Estrategia de Reemplazo:** se define como la estrategia de reemplazo que tiene una pieza, componente o sistema. Este tipo de calificación de resultar con máxima puntuación tiene carácter definitorio como equipo crítico.
- **Posición Geográfica:** se define como la ubicación geográfica de un sistema y la parametriza. Éste está en línea con la logística que se requiere para la toma de datos (dificultad en la toma de datos predictivos). Este tipo de calificación de resultar con máxima puntuación tiene carácter definitorio de equipo crítico.
- **Valor del Activo.**
- **Seguridad y Medio Ambiente:** define el impacto que podría generar una falla en Seguridad y Medio Ambiente, por ejemplo, Derrames, infiltración de soluciones en napas freáticas, generación de potenciales de fatalidad. Este punto tiene carácter definitorio de crítico en el caso de alcanzar máxima puntuación.

### **5.3 Técnicas aplicadas al monitoreo de condiciones en Faena El Abra.**

Para la detección condiciones de los equipos o sistemas, se requiere del uso de técnicas de monitoreo, tales como tribología, vibraciones, termografía, ultrasonido, análisis estáticos y dinámicos de parámetros eléctricos (motores eléctricos) etc., La aplicación de estas técnicas requiere de equipos y personal debidamente capacitado para la recolección, interpretación y análisis de datos, lo que permitirá realizar buenos diagnósticos de la salud de los equipos, información relevante para la programación de intervenciones de mantenimiento basado en estos síntomas.

La detección temprana de desgastes o de condiciones anormales de funcionamiento conducentes a fallos prematuros en equipos rotatorios, busca maximizar la disponibilidad mientras se minimiza el costo de mantenimiento, esto se logra monitoreando la necesidad de mantenimiento, y eliminando el mantenimiento innecesario.

Para la obtención de los mejores resultados en el monitoreo de condiciones de equipos rotativos o fijos se recomienda la combinación de tecnologías para asociación de síntomas de los equipos, de las técnicas mencionadas anteriormente.

En Anexo 12 se describen de manera general las técnicas predictivas y algunos ejemplos de aplicación en Faena.

Se aclara que para efectos de esta investigación se considera que las técnicas que considera la implementación on line que hace referencia este trabajo, se basa esencialmente en medición de temperatura de contacto y vibraciones.

#### **5.4 Metodología para la aplicación del Monitoreo de Condiciones.**

El monitoreo de condiciones en Faena considera las técnicas anteriormente mencionadas en Programas de Mantenimiento (PM), ordenadas y distribuidas en las distintas áreas productivas de la Faena como con Mina, Beneficios, Procesos y Servicios.

Los hallazgos encontrados en las rutas son analizados a través del software de cada técnica. Estas condiciones irregulares en los equipos son registradas en un informe estándar en donde se indica claramente el análisis y su brecha, evidenciando a través de imágenes esta condición y la recomendación para resolver la anomalía. Posteriormente es creada la orden de mantenimiento al centro responsable y esta información es difundida vía correo electrónico a los distintos niveles de la organización.

El monitoreo de condiciones en Faena posee dos modalidades ya antes explicadas:

Monitoreo Online – vibraciones; Temperatura, y Monitoreo basado en frecuencia, aplicado a las técnicas de - Vibraciones; Termografía; Ultrasonido; Tribología y análisis estático y dinámico de motores eléctricos.

### 5.5 Disponibilidad de Activos.

La disponibilidad se define como la relación que existe entre el tiempo disponible de los equipos con buen funcionamiento y el tiempo de mantenimiento. A mayor disponibilidad se obtendrá mayor tiempo para producir es por eso que para el mantenimiento este índice es de importancia.

En Figura 5 se esquematiza el tiempo total y su relación con los demás tiempos que involucran un proceso productivo.



Figura 5 Clasificación de los tiempos de un activo.

El proyecto expuesto busca disminuir los tiempos de mantenimiento por imprevisto o tiempos extras de mantenimiento aumentando la disponibilidad del equipo o sistema y disminuyendo los gastos por mantenimientos extras.

## 6 Implementación y Evaluación Monitoreo de Condiciones Online.

### 6.1 Beneficios del monitoreo continuo en línea.

Resulta evidente que lo esperado en un modelo de negocio moderno es la optimización de los recursos y sin duda el mantenimiento predictivo o también llamado por condición, genera impactos positivos al disminuir los gastos de mantenimiento.

En Faena alternan distintos modelos de mantenimiento:

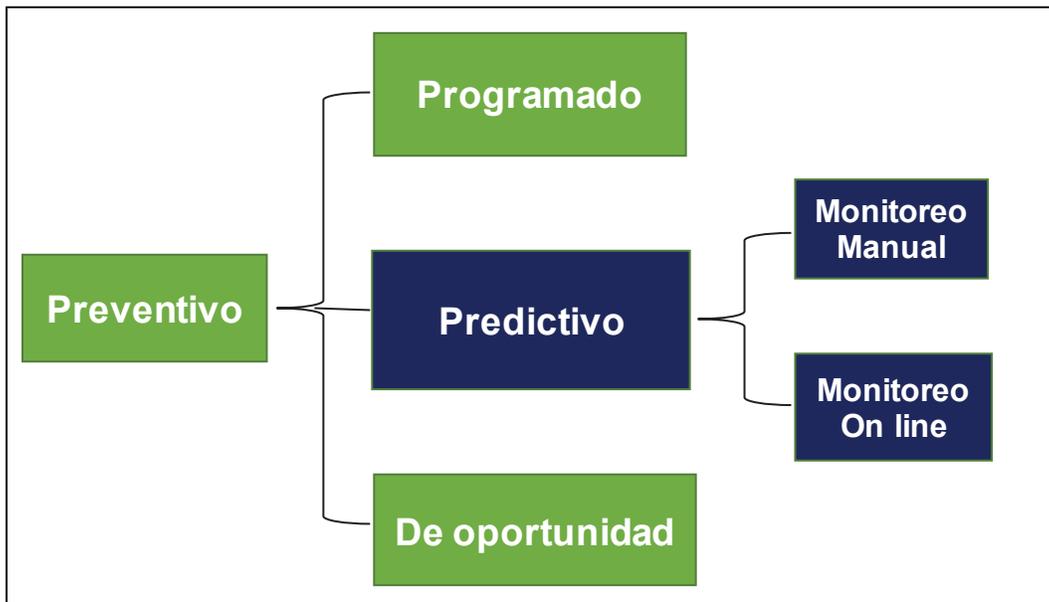


Figura 6 Mantenimiento Preventivo y sus modalidades.

Dentro del Mantenimiento Predictivo tenemos dos modelos de trabajo:

El mantenimiento Predictivo, basado en frecuencia de inspección, en donde los datos son recolectados directamente in situ, por personal especialista, para posteriormente ser cargados manualmente en un Software, donde son procesados los datos.

El mantenimiento Predictivo On line, el cual se basa en la recolección de datos en tiempo real, visualiza las variables monitoreadas en todo momento, luego frente a una anomalía genera las alarmas para esta sub-condición. Simplificadamente la topología es la siguiente:

- Sensor instalado en el equipo, para medición de la variable (vibración; temperatura)
- Conexionado a PLC local dedicado.
- PLC maneja In/Out.
- Introducción de datos a red de negocios de SCMEA.
- Recepción y almacenamiento de Datos en Servidor Especializado.
- Servidor a través de Software procesa y analiza datos.
- Alarma en caso de condiciones anormales en equipo.

## 6.2 Selección del sistema de monitoreo continuo “On line”.

En el mercado existen algunos sistemas de monitoreo en línea, como son:

- SKF Condition Monitoring.
- Bently Nevada Condition Management.
- Machinery Condition Management (MCM2000).
- CSI Emerson Process Management RBMware. Etc.

En SCMEA hace unos años atrás trabajó con sistemas SKF para aplicaciones en harneros secundarios (vibraciones y temperatura), el cual dejó de operar por decisión interna. Posteriormente y como una decisión corporativa, apuntada a la estandarización de estos sistemas, Freeport McMoran decidió trabajar con tecnología de Emerson, pues generó un acuerdo global, para atender todos sus sitios en América del norte, América del Sur, África, Indonesia, que considera mejores condiciones en soporte técnico, como son: repuestos, software etc. Y por supuesto mejores precios en los equipos. Esta decisión a su vez fue avalada por la buena experiencia respecto a la calidad de estos sistemas. Luego se deben seguir los lineamientos corporativos, pues existen a su vez acuerdo de fidelidad con el proveedor.

A continuación, se destacan algunas ventajas del sistema on line utilizando frente al más próximo competidor:

- Proveedor del sistema utilizado posee portafolio con especialidad en redes inalámbricas. Próximo competidor aprovecha ser una compañía de rodamientos para vender sistemas y servicios.
- Simple de utilizar para el análisis de severidad (Peakvue, análisis en alta frecuencia). Próximo competidor posee detecciones de alta frecuencia con deficiencia.
- Mayor resolución (F max / Líneas), el sistema utilizado: 40 Khz / 6400; 2 Khz transciente / 51200). Próximo competidor 20 KHz / 800.

En resumen, para la elección de un buen sistema de monitoreo on line se deben conjugar dos variables:

- Facilidad y precisión en la detección de fallas incipientes.
- Soporte técnico.

La Figura 7 muestra esquemáticamente la topología de un sistema de monitoreo online,

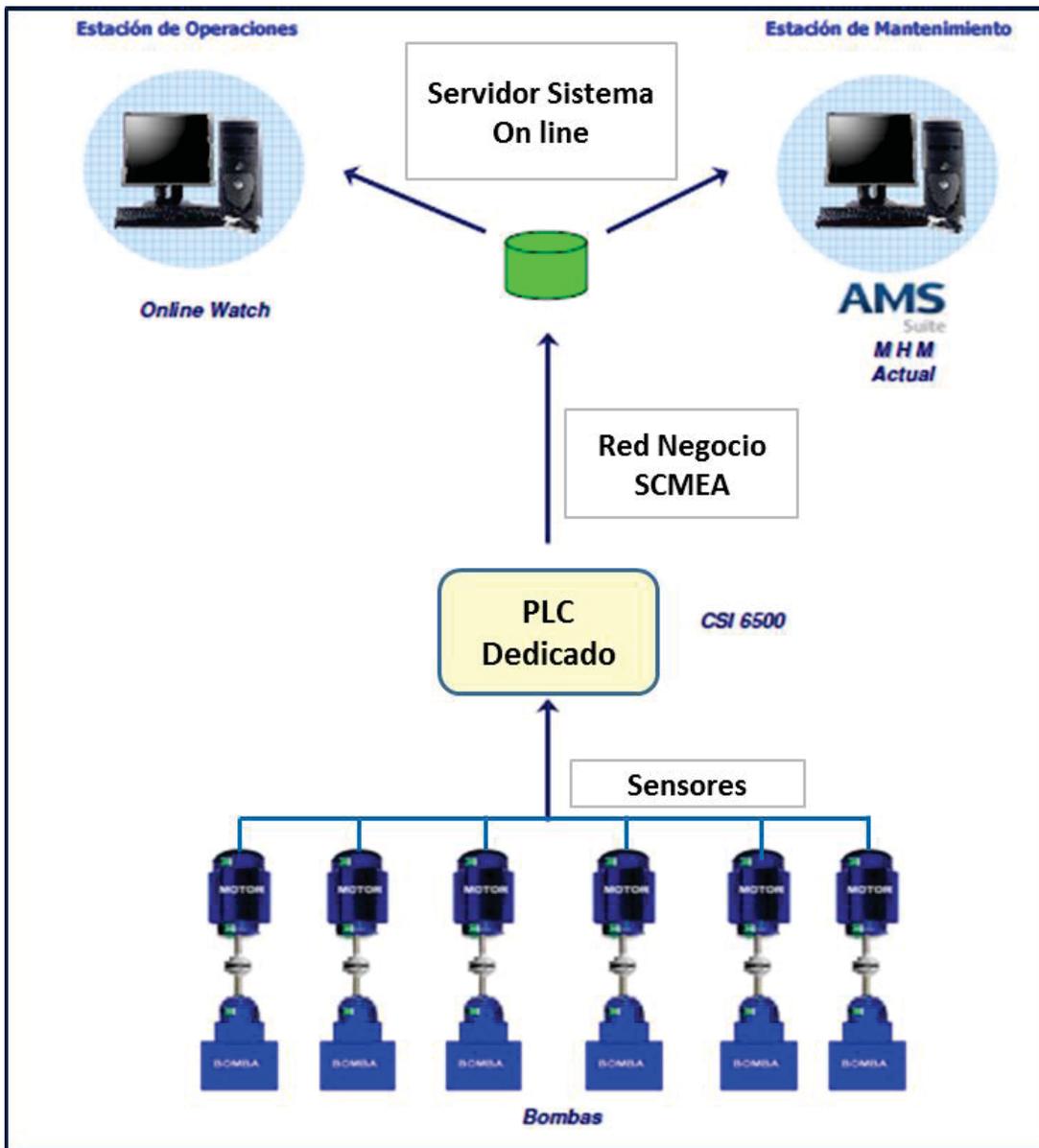


Figura 7 Diagrama Topológico Sistema On Line

### **6.3 Monitoreo Continuo de condiciones “On Line”**

A continuación, se realiza una breve introducción del sistema de monitoreo de vibraciones Online proyectados e instalados en SCMEA:

Los sistemas de monitoreo tradicionales basados en inspecciones periódicas in situ están diseñados para operaciones en condiciones estables del proceso, pero los activos físicos difícilmente operan en condiciones estables, ya que existen distintas variables físicas como la carga, presiones, temperatura y vibraciones que cambian rápidamente durante la operación de las máquinas, lo cual reduce la vida útil del activo con un consecuente incremento en los costos de mantenimiento.

En relación a lo anterior todos los puntos de rotación considerados críticos requieren ser monitoreados continuamente y ser comparados con una línea de referencia que nos ayudará a identificar situaciones peligrosas con suficiente anticipación permitiendo tomar decisiones efectivas antes que estas anomalías afecten al proceso.

El monitoreo de vibraciones en línea es la respuesta a este modo de operación que requiere un nivel avanzado en la recolección de datos, un alto nivel de procesamiento y especialistas bien capacitados para garantizar el buen estado en el funcionamiento de las máquinas en los momentos en que varíen las condiciones de exigencias. Todo ello para cumplir el objetivo de minimizar las detenciones imprevistas y manteniendo el proceso en condiciones óptimas.

El monitoreo de condiciones basado en eventos, relaciona no solo la variable de vibraciones con el proceso, sino que también a otros sistemas de monitoreo como el incremento de la carga a modo de incremento en la vibración, ya que, al existir valores de alarmas demasiado altos, se pueden producir falsas alarmas, que podrían llevar a eventos catastróficos cuando la falla presente es real y no es detectada. En relación a eventos predeterminados el equipo utilizado adapta su monitoreo para el reporte de

alarmas solo cuando el índice de integridad de la máquina cambia y no cuando el valor de carga se incrementa.

La estrategia adaptativa implica ajustar niveles de alarmas, el tipo y la frecuencia del análisis, así como también a la adaptación automática, bajo ciertas circunstancias predeterminadas.

En circunstancias en que la carga dinámica de los equipos cambie, con estas nuevas condiciones se podría realizar un estudio más detallado sobre los efectos que producirían estos cambios en los equipos. En este contexto, el monitor cambia automáticamente su estrategia de análisis realizando, por ejemplo, un cambio automático en los niveles de alarma, realizando un seguimiento más exhaustivo sobre ciertas bandas de frecuencias y una recolección de datos con mayor definición sobre estas.

El monitor de integridad de máquinas al estar integrado a la plataforma de gerenciamiento, provee la última tecnología de predicción para realizar mantenimiento basado en confiabilidad, permitiendo la retroalimentación del estado de la máquina en tiempo real tanto para operaciones como para mantenimiento. Este monitor puede proveer integración entre diferentes tipos de técnicas de mantenimiento predictivo como análisis de vibraciones por medio de colectores portátiles o equipos en línea, análisis de aceites, termografías, ultrasonido, análisis de motores de inducción, balanceo y alineación.

El funcionamiento del monitor es un proceso basado en excepción, que colecta y distribuye información al usuario correcto solamente cuando un cambio en la integridad de la máquina cambia. No solo monitorea de manera continua la integridad de la máquina, sino que también envía alertas o nuevos valores de tendencias cuando un cambio en el valor de integridad se produce.

La inteligencia se encuentra a nivel de campo. Adicionalmente la velocidad en la captura y procesamiento de datos en forma simultánea y con intervalos menores a un segundo garantiza que no haya pérdidas de eventos.

El reporte basado en excepción muestra alertas específicas como por ejemplo las de alineación, balanceo, solturas, entre otras; disminuyendo así la cantidad de datos requeridos para analizar cuando es el momento de verificar un problema. Utilizando el monitor, el tiempo de verificación se ve reducido hasta en un 90%.

El mantenimiento tradicional presenta en su desarrollo diversas interrogantes que deben ser abordadas por la organización, con una mala estrategia de mantenimiento, cabe cuestionar:

- ¿Cuándo se producirá la fallará de mi equipo?
- ¿Cuál será la causa de esta falla?
- ¿La falla provocará pérdidas en el proceso?

El objetivo es no aceptar sorpresas causantes de detenciones del proceso relacionadas con el mantenimiento.

La propuesta es la implementación del Mantenimiento Predictivo basado en el monitoreo de condiciones de los equipos o sistemas, ya que las ventajas son evidentes mencionándose a continuación:

- Planificación, siendo de mayor utilidad.
- Coordinación con Clientes.
- Adquisición de repuestos a tiempo.
- Necesidades de mantenimiento identificadas.
- Mantenedores se encuentran bien direccionado.

Los cumplimientos de los puntos antes descritos mejorarán sin lugar a dudas la gestión del mantenimiento haciendo más competitiva a la organización.

No tomar este camino hará caer en incertidumbre a la actividad tanto productiva como de mantenimiento e incurrirá en:

- Gastos extras por repuestos.
- Mantenimiento ineficiente.
- Fallas sorpresivas de los equipos o sistemas.

#### **6.4 Generalidades del Análisis Online. Software y Hardware.**

La plataforma de software utilizada permite integrar datos desde diferentes tecnologías de mantenimiento predictivo como vibraciones en línea, vibraciones por equipos portátiles en ruta, ultrasonido, termografías infrarrojas, análisis de lubricantes, análisis de motores eléctricos de inducción y mantenimiento correctivo como balanceo y alineación por métodos láser. El encargado de realizar estas tareas son los monitores de vibraciones CSI 6500 CPU, los cuales procesan datos provenientes de sensores a instalar en monitoreo Online.

#### **Colector de Datos.**

Para la toma de datos manuales en terreno de requieren de equipos diferentes para las distintas técnicas, estos deben estar alineados con las actualizaciones de software, la obsolescencia por tiempo, las calibraciones y ajustes de estos de manera periódica.

#### **Acelerómetros.**

Es la primera etapa de la cadena de medición (Etapa transductora: Sensores o transductores de vibración), lo sigue la etapa de medición y/o procesamiento y la etapa de registro.

Un transductor o sensor es un dispositivo electrónico que capta una magnitud física, siendo estas: vibración, temperatura o presión, convirtiéndola en una señal de voltaje (eléctrica) la cual es proporcional a la medida de voltaje. Un dato importante que se debe tener en cuenta es la sensibilidad del sensor, esta se define según el uso que se le dará.

La sensibilidad está dada por la razón entre el valor de la señal eléctrica de salida del sensor y el valor de la magnitud física medida (vibración, temperatura o presión).

La sensibilidad habitual en un sensor de aceleración o acelerómetro es de 100 (mV/g), esto quiere decir que, si la aceleración en un punto de medición es 1 g, el voltaje de salida del acelerómetro será de 100 mV.

Los sensores de vibración utilizados hoy son:

- Sensores de desplazamiento relativo sin contacto.
- Sensores de aceleración o acelerómetros.

Los sensores de desplazamiento relativo sin contacto miden la distancia entre la punta del sensor y la superficie a medir. Existen de tres tipos: Capacitivos; Inductivos y de corrientes parásitas, siendo este último el más utilizado.

Los sensores de aceleración o acelerómetros son los más usados, son de tipo piezo-cerámicos. Estos materiales tienen una distribución asimétrica de carga interna, de tal manera que al aplicarles una fuerza externa en la dirección de su polarización se desarrolla una carga eléctrica entre su superficie. La carga eléctrica generada es proporcional a la fuerza aplicada sobre el elemento piezoeléctrico, es decir, a la aceleración.

Para este trabajo se utilizan dos tipos de acelerómetros, uno de uso general (603C01), Figura 7, el cual solo capta señales de vibraciones; y otro de tipo dual el cual capta señales de vibraciones y temperatura (TO603C01), Figura 8. El montaje de estos sensores se efectúa con un perno epóxico en superficie de máquinas, estos transmiten datos de vibración, vibración y temperatura, respectivamente a un sistema de monitoreo Online.

Acelerómetros, de uso general vibraciones (603C01)

- Sensitivity: ( $\pm 10\%$ ) 100 mV/g ( $10.2 \text{ mV}/(\text{m}/\text{s}^2)$ )
- Frequency Range: ( $\pm 3\text{dB}$ ) 30 to 600000 cpm (0.5 to 10000 Hz)
- Sensing Element: Ceramic
- Measurement Range:  $\pm 50 \text{ g}$  ( $\pm 490 \text{ m}/\text{s}^2$ )
- Weight: 1.8 oz (51 gm)

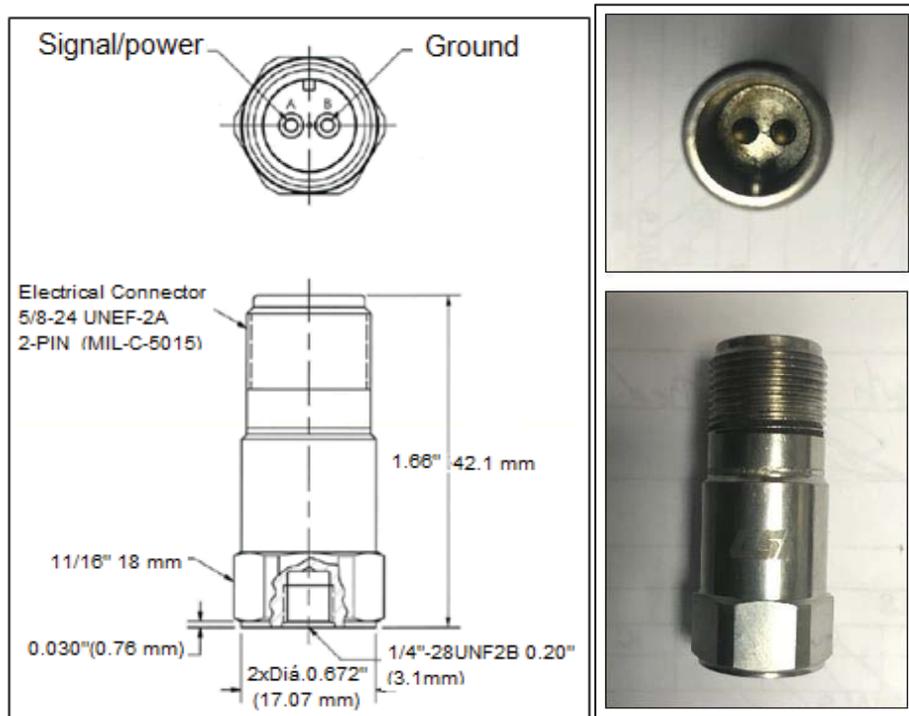


Figura 8 Acelerómetro de uso general

Acelerómetro dual, vibraciones y temperatura (TO603C01).

- Sensitivity ( $\pm 10\%$ ) 100 mV/g (10.2 mV/(m/s<sup>2</sup>))
- Measurement Range  $\pm 50$  g ( $\pm 490$  m/s<sup>2</sup>)
- Frequency Range ( $\pm 3$  dB) 30 to 600000 cpm (0.5 to 10000 Hz)
- Resonant Frequency 1500 kcpm (25 kHz)
- Broadband Resolution (1 to 10000 Hz) 350  $\mu$ g (3434  $\mu$ m/sec<sup>2</sup>)
- Non-Linearity  $\pm 1\%$  ( $\pm 1\%$ )
- Transverse Sensitivity  $\leq 7$  percentage ( $\leq 7\%$ )

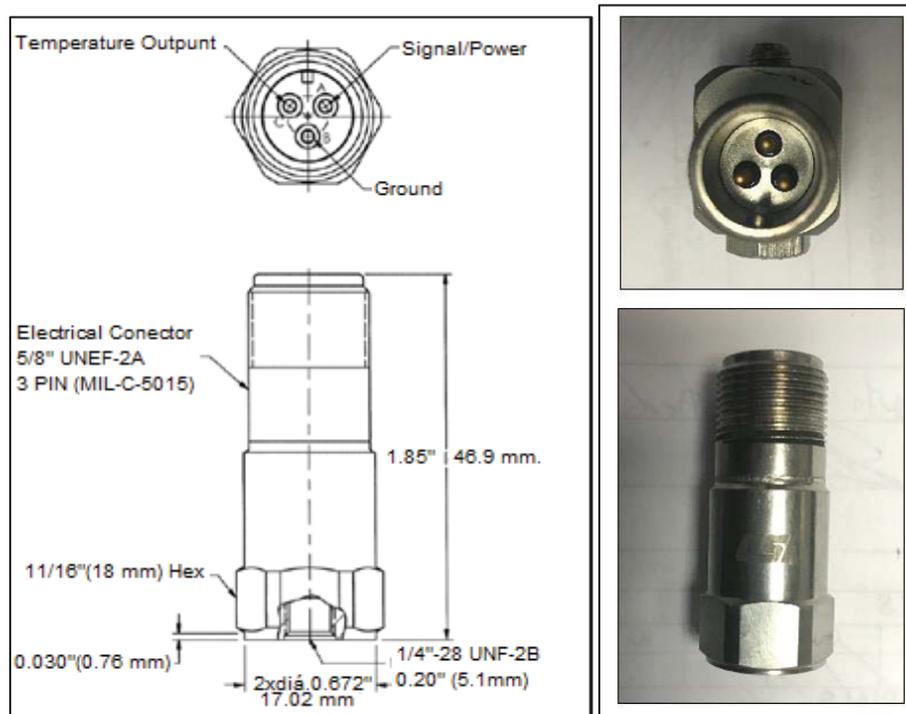


Figura 9 Acelerómetro dual.

### Convención de puntos de medición de vibraciones para equipos rotatorios.

Para evitar confusiones en la toma de datos de vibraciones en equipos con distintas configuraciones se definen los puntos comunes aplicados a los diversos sistemas existentes en faena.

La Figura 10 muestra las posiciones de los acelerómetros dentro de un conjunto vertical, la ubicación se encuentra normalizada para una efectiva discusión de datos entre los especialistas.

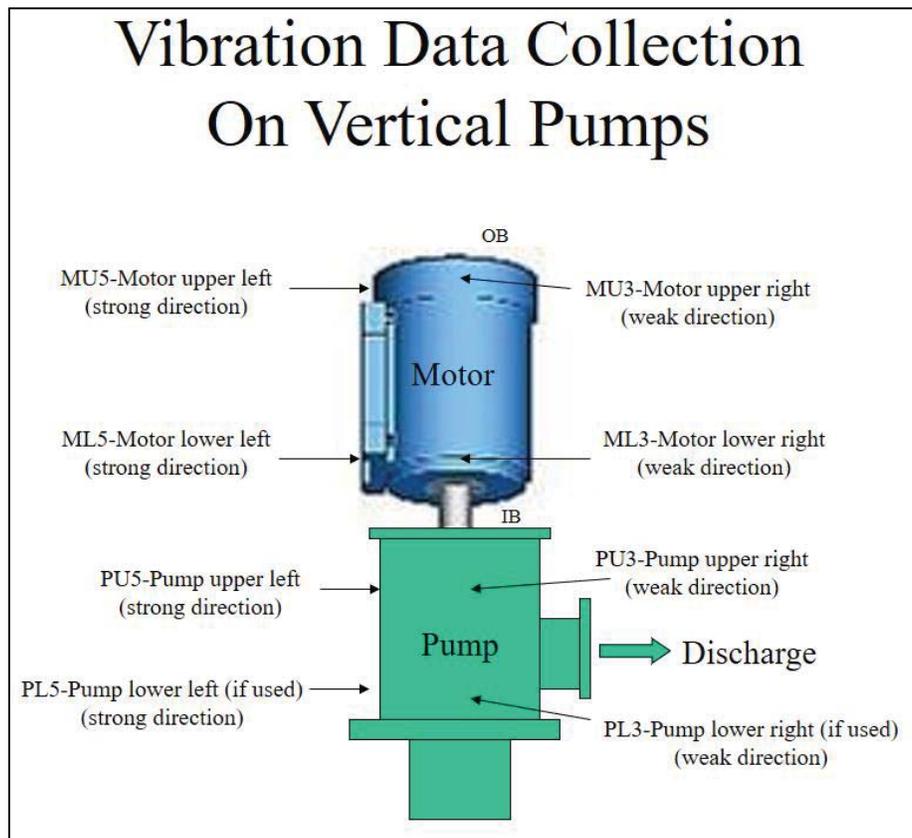


Figura 10 Convención de puntos de muestreo conjunto de bombeo vertical.

La Figura 11 muestra la configuración horizontal de un conjunto de bombeo, con el mismo objetivo de normalizar el posicionamiento de los puntos medidos en un equipo.

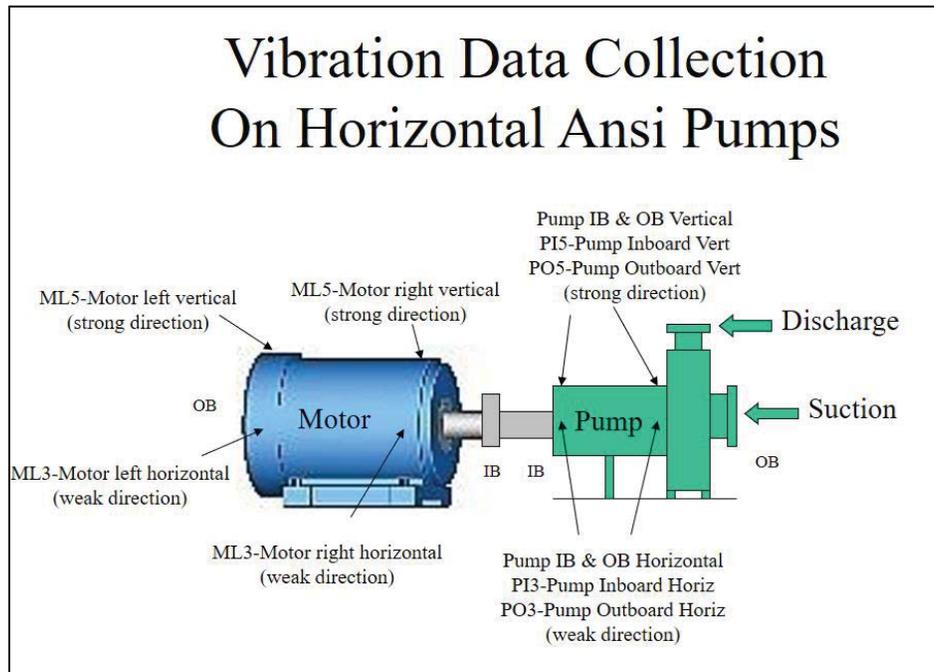


Figura 11 Convención de puntos de muestreo conjunto de bombeo vertical.

A continuación, se muestran ejemplos de puntos medidos con los códigos utilizados y su ubicación (Ver Tabla 1):

<u>First Field-Componente</u>	<u>Middle Field-Location</u>	<u>Last Field-Orientation</u>
Examples: M-Motor A-B-C-D- Multiple Motors P-Pump G-Gearbox I-Input Shaft 1-2-3-4-Multiple Shafts 1-Input Shaft 2-2nd Shaft 3-3rd Shaft L-Liquid	Examples: I-Inboard O-Outboard U-Upper L or 1-Lower or Left R or 2-Right S-Suction D-Discharge  Note: Left should always be in line in strong direction, with discharge pipe, etc. Right should always be 90° in either direction.	Examples: 1-Axial 2-Axial Peakvue 3-Horizontal/Right (weak Dir.) 4-Horizontal/Right Peakvue 5-Vertical/Left (Strong Dir.) 6-Vertical/Left Peakvue  <b>Point examples</b> MO3-Motor Outboard Horizontal MO4-Motor Outboard Horiz PV BI2-Motor B Inboard Axial PV  PU5-Pump Upper left PU1-Pump Upper Axial

Tabla 1 Códigos de ubicación sensores.

### **6.5 Proyecto Online Estación de Bombeo PLS. Generalidades del Proceso Productivo.**

En la etapa de lixiviación, el mineral es transportado desde los tambores de aglomerado a un apilador (a través de cintas transportadoras), el cual forma la Pila Permanente. Luego de aproximadamente 900 días de riego, con un proceso de lixiviación continuo y luego intermitente, se obtiene la solución rica en cobre o PLS (concentración 0.8-5 g/l), la cual se une con el PLS proveniente desde los botaderos ROM, para ser enviada a la siguiente etapa del proceso, extracción por solventes. En la Extracción por Solventes, las soluciones ricas en cobre, con un flujo total de 10.000 m<sup>3</sup>/h de PLS, permite separar el cobre contenido en la solución rica en otros minerales e impurezas, para luego transferirlo hacia la Planta de Electro-Obtención. Esta importante función de bombeo la debe realizar las Bombas de PLS, y es donde se centra la atención para la implementación del monitoreo continuo de vibraciones y temperatura, por ser considerado un subsistema de carácter estratégico, siendo este proceso un balance de flujos permanente, y de gran importancia medioambiental, ya que los derrames pueden llevar a la detención de las actividades de extracción minera (ver Figura 4).

En la Figura 12 se muestra conjunto de bombeo PLS junto a su estanque, este es uno de los sistemas en los cuales se implementa del monitoreo On line de condiciones.



Figura 12 Estación de Bombeo PLS y Estanque.

Características Estanque PLS.

Diámetro nominal: 26 m

Altura nominal: 8 m

Capacidad máxima: 4247 m<sup>3</sup>

Nivel de diseño de líquido: 6 m

Diseño de la gravedad específica del líquido: 1.1 t/m<sup>3</sup>

Presión de diseño: Atmosférica.

Nº Especificación del material: S32205 (SS Alloy 2005)

La Figura 13 muestra el diagrama de bombeo PLS, ILS y ROM.

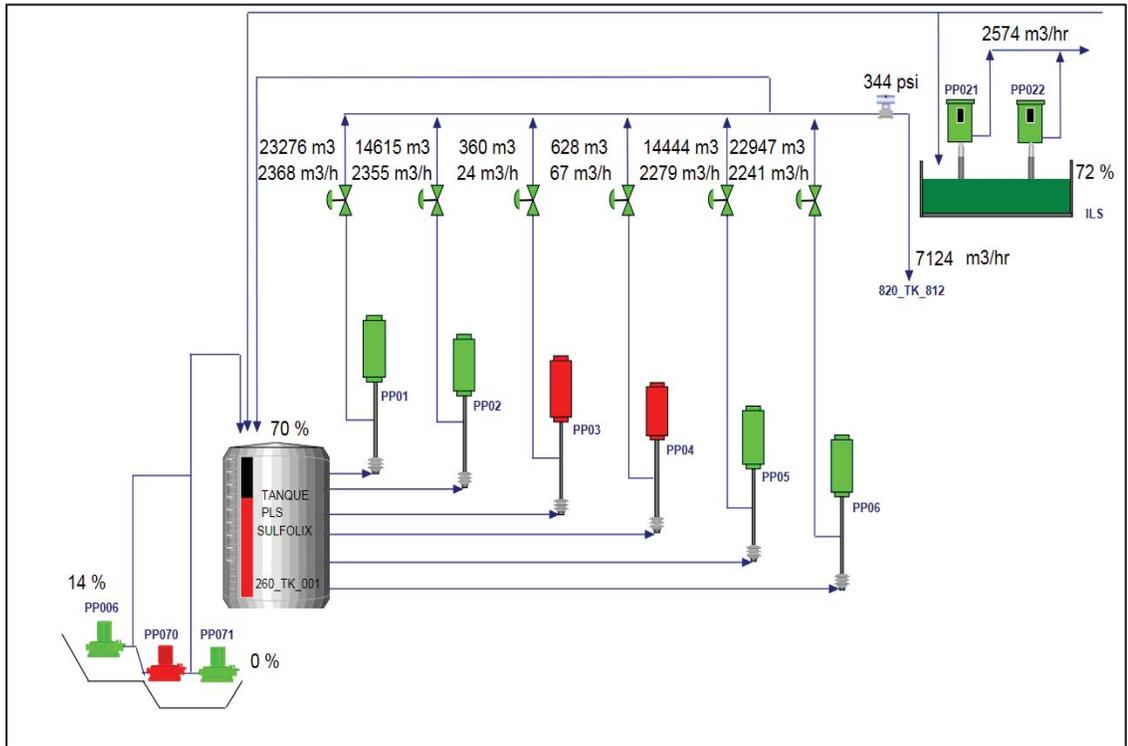


Figura 13 Diagrama de Flujo del proceso. Estación de Bombeo PLS.

### Características técnicas de los Equipos de bombeo de PLS.

La estación de Bombeo PLS consta en la actualidad de 6 bombas verticales Ensival de 4 etapas acopladas a motores WEG de 2 MW, en Tabla 2 se muestran algunas características de la bomba y motor eléctrico utilizados.

Technical Data Sheet	
Equipment Name	Sulfolix PLS Pumps
Type	Can type Vertical Turbine Pump
Service	Pregnant Leach Solution (PLS)
Flow Maximum (m <sup>3</sup> /hr)	2500
Flow Design (m <sup>3</sup> /hr)	2250
Flow Nominal (m <sup>3</sup> /hr)	1836
Tot Dynamic Head at design flow, PLS(m)	220
Tot Dynamic Head at design flow, PLS(m)	220
NPSH available (m)	Flooded suction
H2SO4 (g/l)	0.5 to 1.0
Specific gravity	1,1
Viscosity (cSt)	2,5
Vapour pressure (kPa) - water @ 30°C	4,23
Material Pump	Duplex SS Alloy 2507 wrought steel and 254 SMO casting
Material Bearing housing support	Duplex SS
Material Motor support lower flange	Duplex SS
Material Can	Duplex SS
Rated TDH, m	220
Brake Horse Power at design point (kW)	1832
Brake Horse Power at 2000 m <sup>3</sup> /h (kW)	1790
Brake Horse Power at 1836m <sup>3</sup> /h (kW)	1753
Brake Horse Power at 1500m <sup>3</sup> /h (kW)	1664

Tabla 2 Características técnicas bomba y motor eléctrico.

### Cálculo de Nivel de Criticidad: Conjunto Bombeo PLS.

A continuación, se realiza el cálculo de criticidad para el conjunto de Bombeo PLS, como ya fue señalado esta selección se realiza según criterios internos de la Faena

Paso 1: Según la configuración del equipo o sistema en la línea de producción se asigna un grado porcentual, la Tabla 3 muestra las distintas posibilidades de clasificación y la elección de Configuración correspondiente (Fraccionamiento 50%).

En Anexo 11 se muestran detalles de Configuración de equipos.

#	Impacto en la Operación	%
1	Serie	100%
2	Paralelo	50%
3	Fraccionamiento	50%
4	Stand By	0%
5	Redundancia Parcial	0%

Tabla 3 Tipo de Configuración de Equipos Estudiados: Conjunto Bombeo PLS.

Paso 2: Asignación del grado de criticidad según la configuración y la variable operativa (Tabla 4), esto permite establecer el grado de criticidad en bases al porcentaje calculado 69% clasificando en Grado 2, esta información se muestra en Tabla 4.

Grado	Relación Porcentual
1	86 % - 100 %
2	61 % - 85%
3	36 % - 60 %
4	0 % - 35 %

Tabla 4 Grado de Criticidad: Conjunto de bombeo PLS

Paso 3: Reasignación del grado de criticidad en base al carácter definitorio de la variable operativa, en el caso analizado la estrategia de reemplazo de los equipos involucrados, la seguridad y el medio ambiente, definen la criticidad como Grado 1, Tabla 5 expone el resumen de los pasos antes mencionados con la definición de criticidad del equipo o sistema analizado.

#	Variable Operativa:	%	Grado Definitorio
1	Impacto en la Operación	50%	
2	Estrategia de reemplazo	100%	Si
3	Posición Geográfica	0%	
4	Valor del Activo	100%	
6	Seguridad y medio ambiente	100%	Si
Asignación Porcentual de Criticidad		<b>70%</b>	
Asignación Grado de Criticidad		<b>2</b>	
Recalificación x Grado definitorio asignado			
Estrategia de Reemplazo; Seguridad y medio ambiente.			
Re-asignación Porcentual de criticidad		<b>100%</b>	
Re-asignación Grado de Criticidad		<b>1</b>	

\*\* Elección de Configuración de equipos según equipos estudiados

Tabla 5 Variables evaluadas y asignación de Criticidad: Conjunto Bombeo PLS

Árbol de falla de sistema de bombeo PLS.

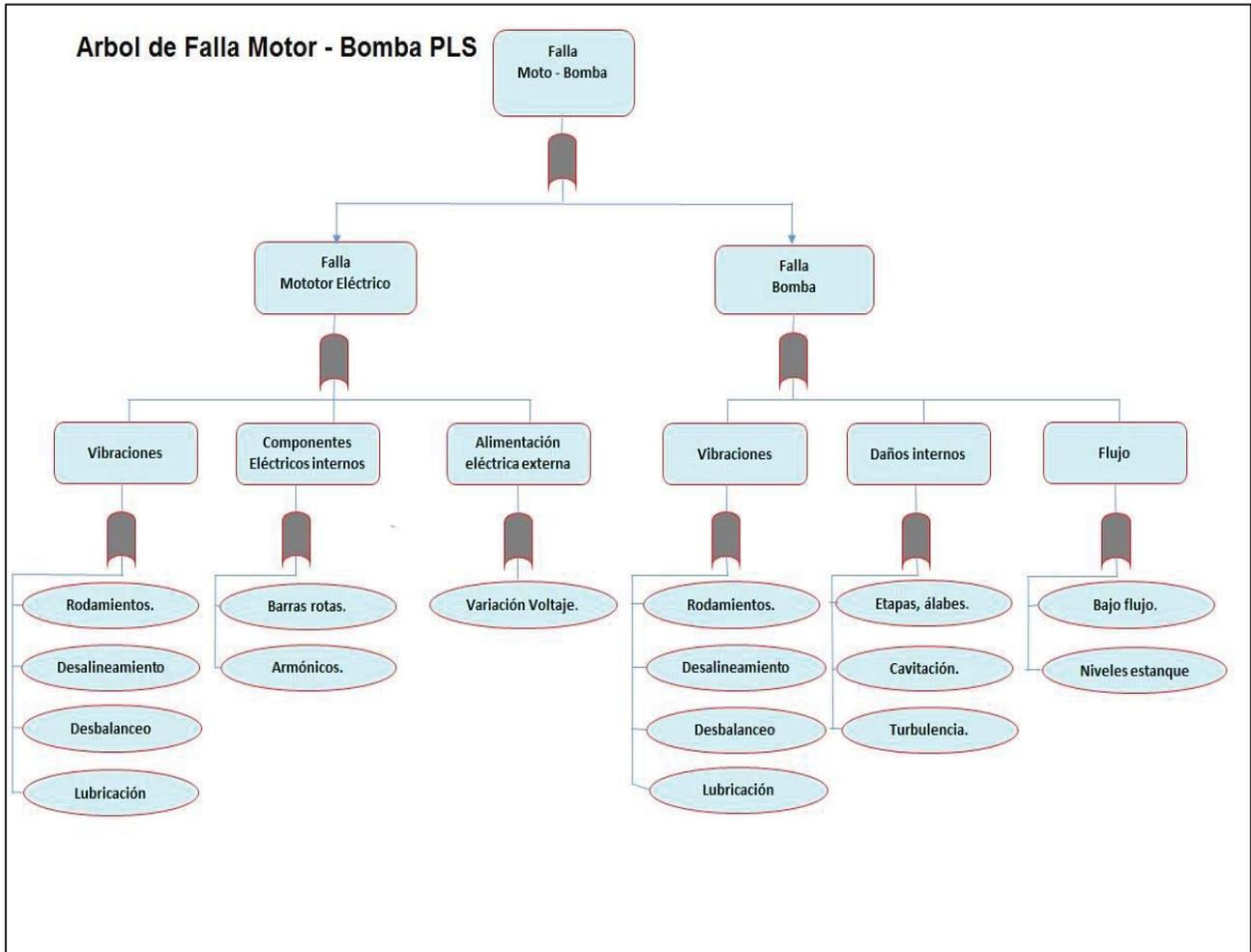


Figura 14 Árbol de Fallas – Conjunto Bombeo PLS

### Instalación y trazados.

La Figura 15 presenta la topología a nivel general del sistema Online en estación de bombeo PLS, identificando: trazado de cables, cajas de derivación, procesador 6500, datos relevantes para el trabajo de dimensionamiento de materiales.

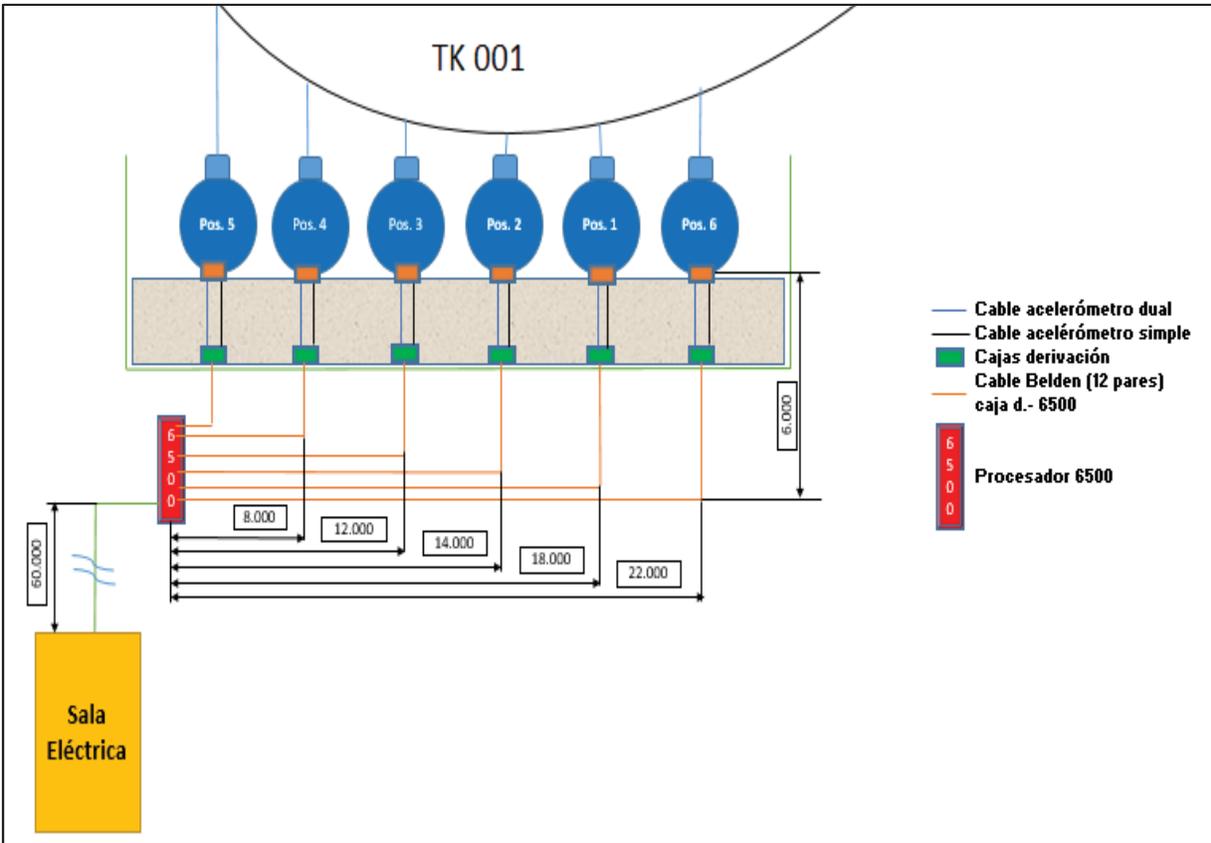


Figura 15 Esquema de instalación Monitoreo Online conjunto de Bombeo PLS.

Figura 16 muestra la topología de conjunto Bombeo PLS a nivel de señales y procesamiento.

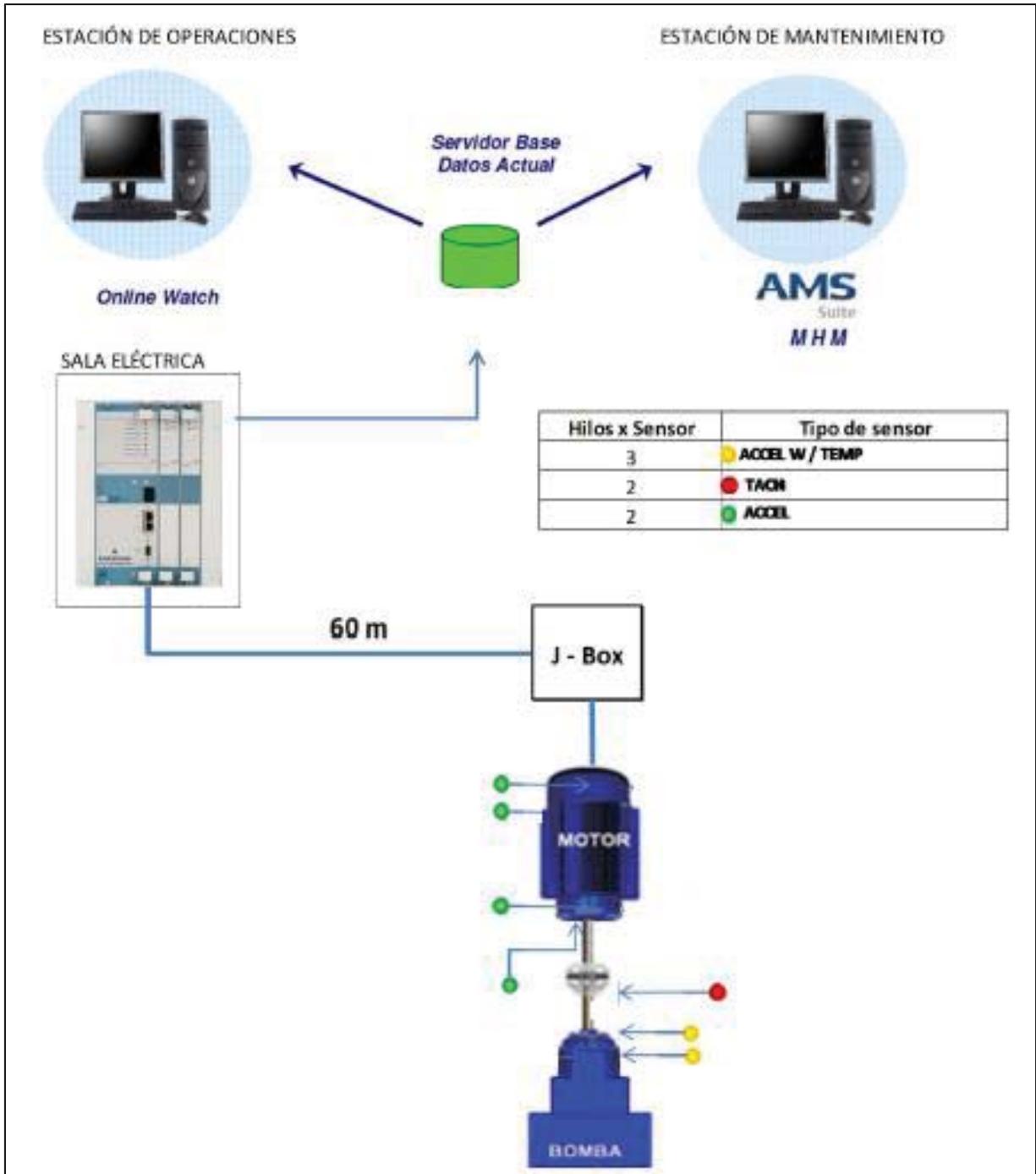


Figura 16 Topología conjunto de bombeo.

Ubicación de acelerómetros y sensores duales en Conjunto Bombeo PLS.

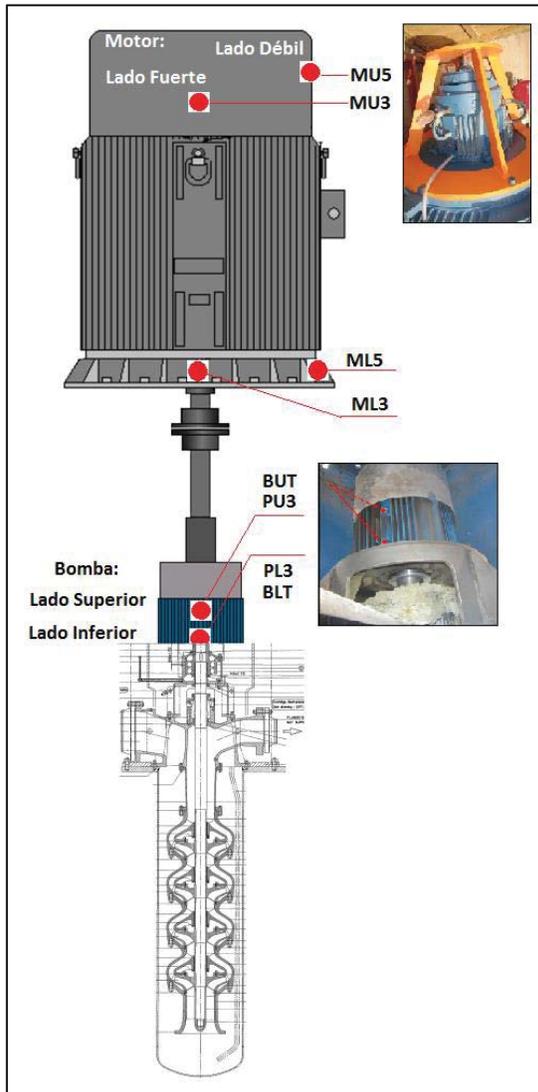


Figura 17 Ubicación Acelerómetros.

Figura 18 Instalación: Bomba PLS

Ubicación sensores en Conjunto de Bombeo: PLS

Equipo	Orientación	Nomenclatura
Conjunto Bombeo Motor - Bomba (Configuración vertical)	Motor lado libre fuerte	MU3
	Motor lado libre débil	MU5
	Motor lado acople fuerte	ML3
	Motor lado acople débil	ML5
	Bomba lado superior	PU3
	Bomba lado inferior	PL3
	Bomba Temp. superior	BUT
	Bomba Temp. inferior	BLT

Tabla 6 Posicionamiento sensores en conjunto de bombeo.

## Materiales Requeridos Proyecto PLS.

A continuación, Tabla 7, se listan los componentes requeridos y servicios a contratar para la implementación del Proyecto.

### Requerimientos del Proyecto

#	Códigos	Descripción Materiales	Cantidad
1	A6500MR-48	CSI 6500	1
2	A476514	Analizador Peakvue	2
3	A6500SENCL-WDCSCI	Gabinete Completo CSI 6500	1
4	T0602D01	Sensor dual Vibr. Y Temp.	16
5	056DS030BZ	Cable de sensor dual	16
6	602D01	Sensor simple Vibraciones	42
7	053AE030BZ	Cable sensor simple	42
8	A108CHNFSS	Cajas Stainless J Boxes	6
9	A10P8	Placa de fondo	6
10	S/C	Toma a tierra	6
11	S/C	Terminales Varios	Proyecto
12	9732-9	Cable Belden	500 Ft.
13	S/C	Fiber Optic	350
14	S/C	conduit & Fittings	Proyecto

#	Código	Descripción Actividad	Cantidad
1	S/C	Servicio de canalización de sensores empresa externa (4 semanas)	1

Tabla 7 Requerimientos materiales y servicios de Proyecto PLS.

**Programación de Actividades: Proyecto Monitoreo Online Conjunto de Bombeo PLS.**

A continuación, se resume las actividades en las distintas etapas del proyecto de manera secuencial, la extensión total es de 34 días.

Proyecto Monitoreo Online Bombas PLS	Etapa 1															Etapa 2							Etapa 3						Etapa 4													
# Actividades	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37					
1 Aprobación de AFE	■	■	■																																							
2 Adquisición de equipos y servicios				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																											
3 Instalación y canalización de cables, hardware, software, cabinas.																■	■	■	■																							
4 Instalación y canalización de sensores.																			■	■																						
5 Puesta en marcha. Configuración de los niveles de alarmas, alertas y avisos.																					■																					
6 Capacitación.																							■																			
7 Optimización del sistema.																								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
8 Entrega y recepción del cliente.																																							■	■	■	
9 Activación																																								■	■	■

**Evaluación y Gastos del Proyecto: Monitoreo Online Estación de Bombeo PLS.**

**Alcance de la Inversión: Monitoreo Online Estación de Bombeo PLS.**

En Tabla 8 se resumen las evaluaciones entregadas por colaboradores externos para la puesta en marcha del proyecto de monitoreo en el área.

<b>Estimación de la Inversión Total (Hardware; Software; materiales; Servicios)</b>	<b>Total (KUS\$)</b>
Materiales Online PLS Total Oferta	65
Servicios Externos Total Oferta	60
Imprevistos	25
<b>Total Inversión KUS\$</b>	<b>150</b>

Tabla 8 Evaluación consolidada Proyecto Online PLS

En Tabla 9 se muestra el gasto que involucra una detención planificada y sin planificar en conjunto Bombeo PLS, según tipo de falla y gastos asociados a esta. (Detalles en Anexo 6).

#	Componente	Descripción Mantenimiento	Tiempo est. Detención (Hr.)	Valor Rep. KUS\$	HH Técnicos y Supervisor Mant.	KUS\$	Equipos Izaje	Gasto KUS\$	Gasto Detención (KUS\$)
1	Motor 2 mw	Cambio con Plan. (Online) / Rep. media.	3.00	31.79	Técnicos y Supervisor (4)	0.34	Grúa	6.10	<b>38.23</b>
2		Cambio <b>sin</b> Plan. / Reparación mayor.	9.00	79.46		1.03		6.87	<b>87.36</b>
3		Cambio <b>sin</b> Plan.	9.00	126.82		1.03		6.87	<b>134.72</b>
4	Bomba 4 etapas	Cambio Impulsor con Plan (Online)	6.00	25.43		0.69		6.10	<b>32.22</b>
5		Cambio <b>con</b> Plan. (Online) / Rep. media.	6.00	90.00		0.69		6.10	<b>96.79</b>
6		Cambio sin Plan / rep. mayor	12.00	130.00		1.37		9.15	<b>140.53</b>
7		Cambio <b>sin</b> Plan.	12.00	427.19		1.37		9.15	<b>437.72</b>

Tabla 9 Estimación del gasto de detención por tipo de falla en conjunto Bombeo PLS: Mantenimiento

Tabla 10 expone lo que representa para el negocio en KUS\$ la detención de un conjunto de bombeo en el área PLS, en Anexo 7 se presentan detalles del cálculo de costo operativo de la detención.

#	Componente	Tipo de Falla	Tiempo est. Detención	Valor det. x hr.	Valor dejado de ganar x tipo de detención. (KUS\$)
1	Motor 2 mw	Cambio con Plan. (Online) / Rep. media.	3.00	2.46	7.38
2		Cambio <b>sin</b> Plan. / Reparación mayor.	9.00	2.46	22.10
3		Cambio <b>sin</b> Plan.	9.00	2.46	22.10
4	Bomba 4 etapas	Cambio Impulsor con Plan (Online)	6.00	2.46	14.74
5		Cambio <b>con</b> Plan. (Online) / Rep. media.	6.00	2.46	14.74
6		Cambio sin Plan / rep. mayor	12.00	2.46	29.47
7		Cambio <b>sin</b> Plan.	12.00	2.46	29.47

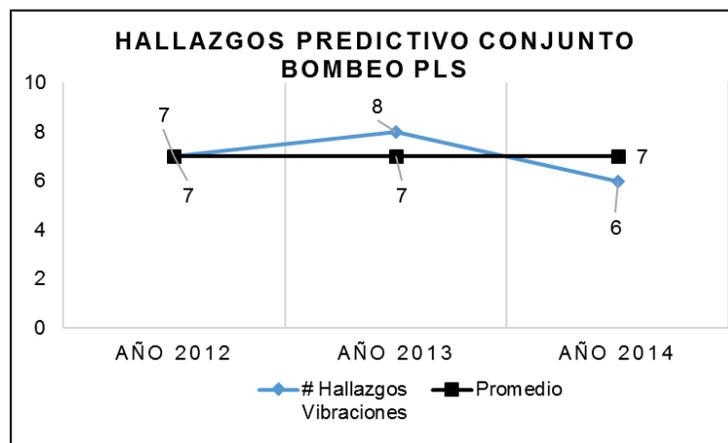
Tabla 10 Estimación del gasto de detención por tipo de falla en conjunto Bombeo PLS: Operaciones

### Hallazgos predictivos Conjunto Bombeo PLS: 2012 – 2013 – 2014

En Tabla 11 se presentan los hallazgos predictivos relacionados con vibraciones en conjuntos rotatorios en sistema de bombeo PLS, se calcula el promedio de detenciones por año y se utiliza este valor para proyectar el incremento en la detección de fallas al que contribuirá el sistema Online proyectado. Estas fallas son potenciales de detención de un conjunto de bombeo.

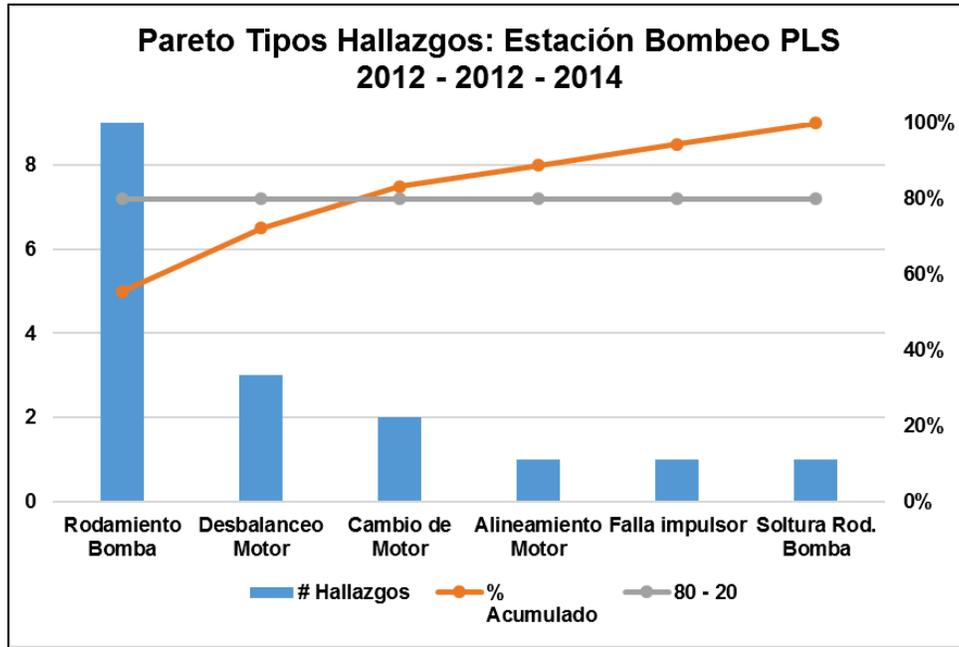
Año	# Hallazgos Vibraciones
Año 2012	7
Año 2013	8
Año 2014	6
Promedio Hallazgos	7
<b>Proyección Incremento detección hallazgos (40%) con On line x año</b>	3
<b>Total Hallazgos Predictivos On line</b>	<b>10</b>

Tabla 11 Número Histórico de hallazgos predictivos y proyección con monitoreo Online en Sistema de Bombeo PLS



Grafica 1 Histórico de Hallazgos Predictivos Sistema Bombeo PLS

La Gráfica 2 muestra cuales son los principales modos de falla en Conjunto Bombeo PLS en periodo 2012 al 2014.



Gráfica 280 – 20 Hallazgos de Falla Sistema de Bombeo PLS

En Tabla 12 se muestra las principales fallas en el área que representan el 80% de nuestros problemas.

Modo Hallazgo	# Hallazgos	% Acumulado
<b>Rodamiento Bomba</b>	<b>10</b>	<b>56%</b>
<b>Desbalanceo Motor</b>	<b>3</b>	<b>72%</b>
<b>Cambio de Motor</b>	<b>2</b>	<b>83%</b>
Alineamiento Motor	1	89%
Falla impulsor	1	94%
Soltura Rod. Bomba	1	100%
<b>Total</b>	<b>18</b>	

Tabla 12 Modos de fallas y repetitividad Sistema de Bombeo PLS

La Tabla 13 muestra los gastos de mantenimiento según tipo de falla – con y sin aplicación Sistema Online, se evalúa el supuesto según estimaciones anteriores y se proyectan la detección de 3 fallas más con sistema online de monitoreo. Este dato se evalúa como gasto evitado más adelante.

Hallazgo	# Hallazgos Vibraciones	Modos	Gastos Mantenimiento (KUS\$)		
			Caso Base Sin Online Reparación mayor	Caso Base Sin Online Pérdida componente	Caso Propuesto Con Online
<b>Rodamiento Bomba</b>	1.7	2	281	875	194
<b>Desbalanceo Motor</b>	0.5	1	87	135	38
<b>Cambio de Motor</b>	0.3	0	0		
Alineamiento Motor	0.2	0			
Falla impulsor	0.2	0			
Soltura Rod. Bomba	0.2	0			
<b>Total KUS\$</b>			<b>368</b>	<b>1,010</b>	<b>232</b>

Tabla 13 Estimación de Gastos Mantenimiento con y sin sistema monitoreo Online

Tabla 14 muestra el Gasto evitado de Mantenimiento + Cu dejado de Producir x detención no programada, asociado a una reparación mayor, o un cambio de componente por destrucción de esta, en ambos casos sin la aplicación de sistema online de monitoreo para conjunto de bombeo PLS.

Descripción Gasto Mantenimiento	Gasto (KUS\$)	Gasto evitado (KUS\$)	Cu dejado de producir (lb)	Evaluación de lo dejado de producir (KUS\$)	Consolidado Gastos mant. Evitados + lo dejado de producir x detención (KUS\$)
Caso Propuesto (Con Online y planificación)	232	0	0	0	0
Caso Base Reparación Mayor s/planificación	368	137	156,579	102.9	240
Caso Base (cambio de componente por destrucción s/planificación)	1,010	778	156,579	102.9	881

Tabla 14 Estimación de gastos en Mantenimiento con y sin Sistema Online + Cu dejado de Producir

### Gastos Sistema Monitoreo Online y Sistema Manual Estación de Bombeo PLS.

A Continuación, se resumen los gastos de mantenimiento, operación y gastos extras de mantenimiento según sea el caso y su proyección durante los 5 años de vida del proyecto con un incremento estimado de un 3 % anual (IPC). Detalles en Anexo 6; 7 y 8.

### Gastos Totales Caso Propuesto: Monitoreo Online Conjunto Bombeo PLS.

Años	0	1	2	3	4	5
	0	2014	2015	2016	2017	2018
Gastos en Mantenimiento (KUS\$)	0	11.3	11.7	12.0	12.4	12.8
Gastos en Operación (KUS\$)	0	6.7	6.9	7.1	7.3	7.5
Gastos Mant. + Oper. (KUS\$)	0	18.0	18.6	19.1	19.7	20.3

Tabla 15 Estimación Gastos de Operación y Mantenimiento monitoreo Online PLS.

### Gastos Totales Sistema Manual Monitoreo Bombas PLS.

Años	0	1	2	3	4	5
	0	2014	2015	2016	2017	2018
Gastos en Mantenimiento (KUS\$)	0	5.7	5.8	6.0	6.2	6.4
Gastos Mantenimiento Extra (KUS\$)	0	136.0	140.1	144.3	148.6	153.1
Gastos en Operación (KUS\$)	0	3.7	3.8	3.9	4.0	4.2
Gastos Mant. + Oper. (KUS\$)	0	145.4	149.7	154.2	158.8	163.7

Tabla 16 Estimación de Gastos Totales Sistema Manual de monitoreo PLS

## **6.6 Proyecto Online Sistema de Bombeo Ascotán: Recursos Hídricos a Faena. Generalidades Del Proceso**

El sistema de abastecimiento de agua en El Abra desde el Salar de Ascotán se compone de:

- 5 bombas de pozo profundo (elevación media de 3.770 m)
- 3 bombas de refuerzo horizontal.
- 9.9 km, 20 en diámetro, tubería para el estanque de agua cruda en el punto más alto del terreno entre el Salar de Ascotán y la mina El Abra.
- El estanque de concreto del agua cruda está a 3.964m de altitud.
- Una tubería de 20 pulgadas de diámetro en gravedad hasta el estanque de almacenamiento de agua Minas El Abra.

El gran estanque de almacenamiento en la mina apoyará en la gestión del suministro de agua y al mismo tiempo permitirá llevar a cabo paradas de mantenimiento y otras interrupciones de suministro.

Las bombas de los pozos de agua y las bombas Booster tendrán motores de velocidad fija y un circuito de control de flujo que consiste en un medidor de flujo magnético y válvulas de regulación. Un transmisor de presión se acoplará con el regulador de caudal cuando este registre una señal de baja presión. Un monitoreo del estado del motor y el control de flujo se llevará a cabo de forma remota desde la sala de control central ubicada en Faena, por medio del enlace de transmisión de radio.

Figura 19 Grafica la red de pozos dentro del Salar de Ascotán, estos alimentan el sistema de bombeo Booster que suministran de agua industrial al proceso de extracción de mineral.



Figura 19 Red de pozos Salar de Ascotán – Bombas Booster.

En Figura 20 se muestra el perfil de elevación, Bombas Booster (Ascotán) y El Abra.

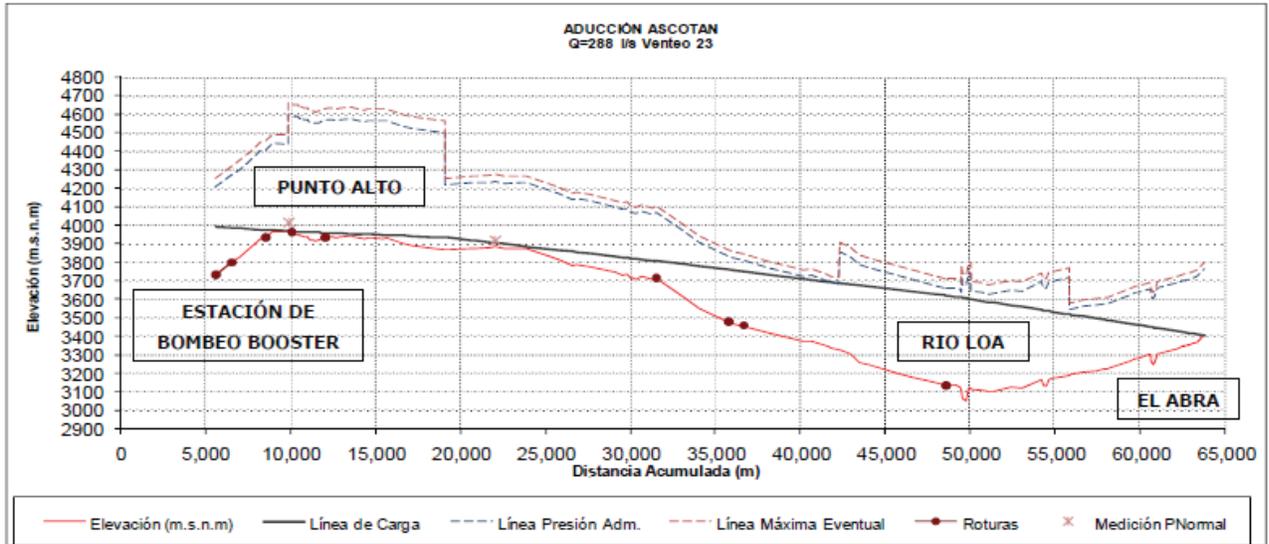


Figura 20 Elevación VS distancia, Bombas Booster – Faena.

En Figura 21 se muestra la red de alimentación de agua industrial proveniente desde el salar de Ascotán y sus distintos clientes en Faena.

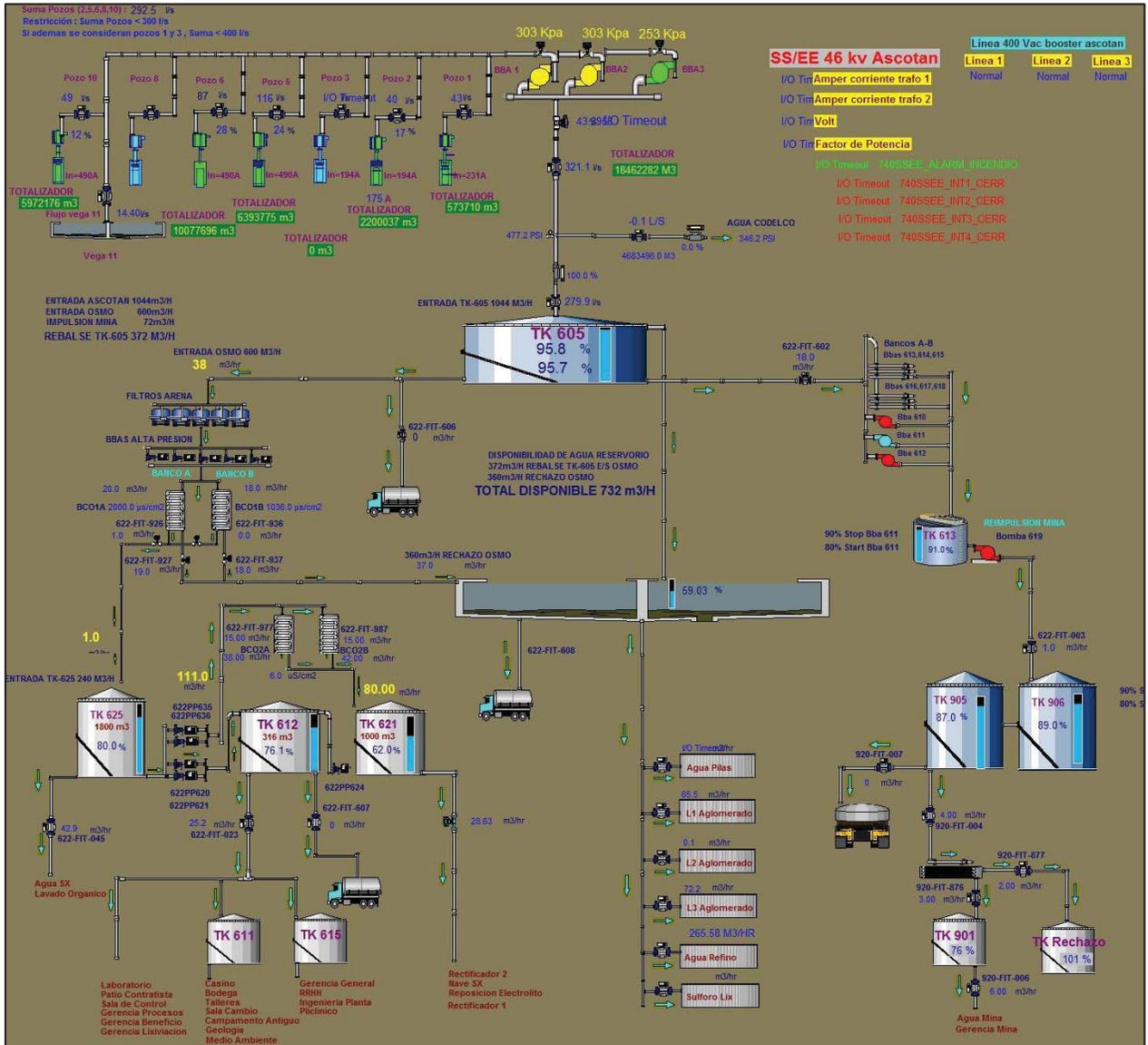


Figura 21 Diagrama de Flujo del proceso. Abastecimiento de recursos Hídricos.

### Características técnicas de los Equipos de bombeo Hídrico.

La estación de Bombeo Ascotán consta en la actualidad de tres Bombas IDP Centrífugas Horizontal Worthington UZDL.

Las Bombas UZDL son de dos fases, de partidura axial, doble succión en la primera fase, doble enroscado entre los soportes cerca del montaje central. Están especialmente diseñadas para tuberías de agua, servicios de transferencias, apagar incendios y labores de alta presión donde la máxima confiabilidad es requerida. En Tabla 17 se presentan algunas características de este conjunto.

Hoja Técnica	
Marca	WORTHINGTON
Tipo de Bomba	Bomba centrífuga de dos fases
Modelo	10 UZDL 28
N° Serie	D-53742-3
R.P.M	1480
Diámetro nominal descarga	10 pulg.
Diámetro Impulsor	28 pulg.
Vibraciones	Velocidad mm/s
Normal ( <b>N</b> )	≤ 5
Alarma ( <b>N</b> x1.25)	≤ 6.2
Shutdown trip ( <b>N</b> x2)	≤ 10

Tabla 17 Características técnicas Bomba Booster

**Cálculo de Nivel de Criticidad: Conjunto de Bombeo Booster Ascotán.**

A continuación, se calcula el nivel de criticidad del conjunto analizado, bajo los criterios internos antes mencionados. Más detalles sobre configuración de sistemas en Anexo 11.

Paso 1: Según la configuración del equipo o sistema en la línea de producción se asigna un grado porcentual, la Tabla 18 muestra las distintas posibilidades de clasificación y la elección de Configuración correspondiente (Stand By 0%, Tabla 18).

#	Impacto en la Operación	%
1	Serie	100%
2	Paralelo	50%
3	Fraccionamiento	50%
4	Stand By	0%
5	Redundancia Parcial	0%

Tabla 18 Tipo de Configuración de Equipos Estudiados: Bombas Booster Ascotán

Paso 2: Asignación del grado de criticidad según la configuración y la variable operativa (Tabla 19), esto permite establecer el grado de criticidad en bases al porcentaje calculado 75% clasificando en Grado 2.

Grado	Relación Porcentual
1	86 % - 100 %
2	61 % - 85%
3	36 % - 60 %
4	0 % - 35 %

Tabla 19 Grado de Criticidad: Bombas Booster Ascotán

Paso 3: Reasignación del grado de criticidad en base al carácter definitorio de la variable operativa, en el caso analizado el Grado dado por la estrategia de reemplazo de los equipos involucrados, la seguridad y medio ambiente, se agrega la posición geográfica, definen la criticidad como Grado 1, Tabla 20 expone el resumen de los pasos antes mencionados con la definición de criticidad del equipo o sistema analizado.

#	Variable Operativa Evaluada	%	Grado Definitorio
1	Impacto en la Operación	0%	
2	Estrategia de reemplazo	100%	Si
3	Posición Geográfica	100%	Si
4	Valor del Activo	50%	
6	Seguridad y medio ambiente	100%	Si
Asignación Porcentual de criticidad		<b>70%</b>	
Asignación Grado de Criticidad		<b>2</b>	
Recalificación x Grado definitorio asignado a evaluación:			
Estrategia de Reemplazo; Posición Geográfica; Seguridad y Medio Ambiente.			
Re - asignación Porcentual de criticidad		<b>100%</b>	
Re - asignación Grado de Criticidad		<b>1</b>	

\*\* Elección de Configuración de equipos según equipos estudiados

Tabla 20 Variables evaluadas y asignación de Criticidad: Bombas Booster Ascotán

### Árbol de Fallas Bombas Booster.

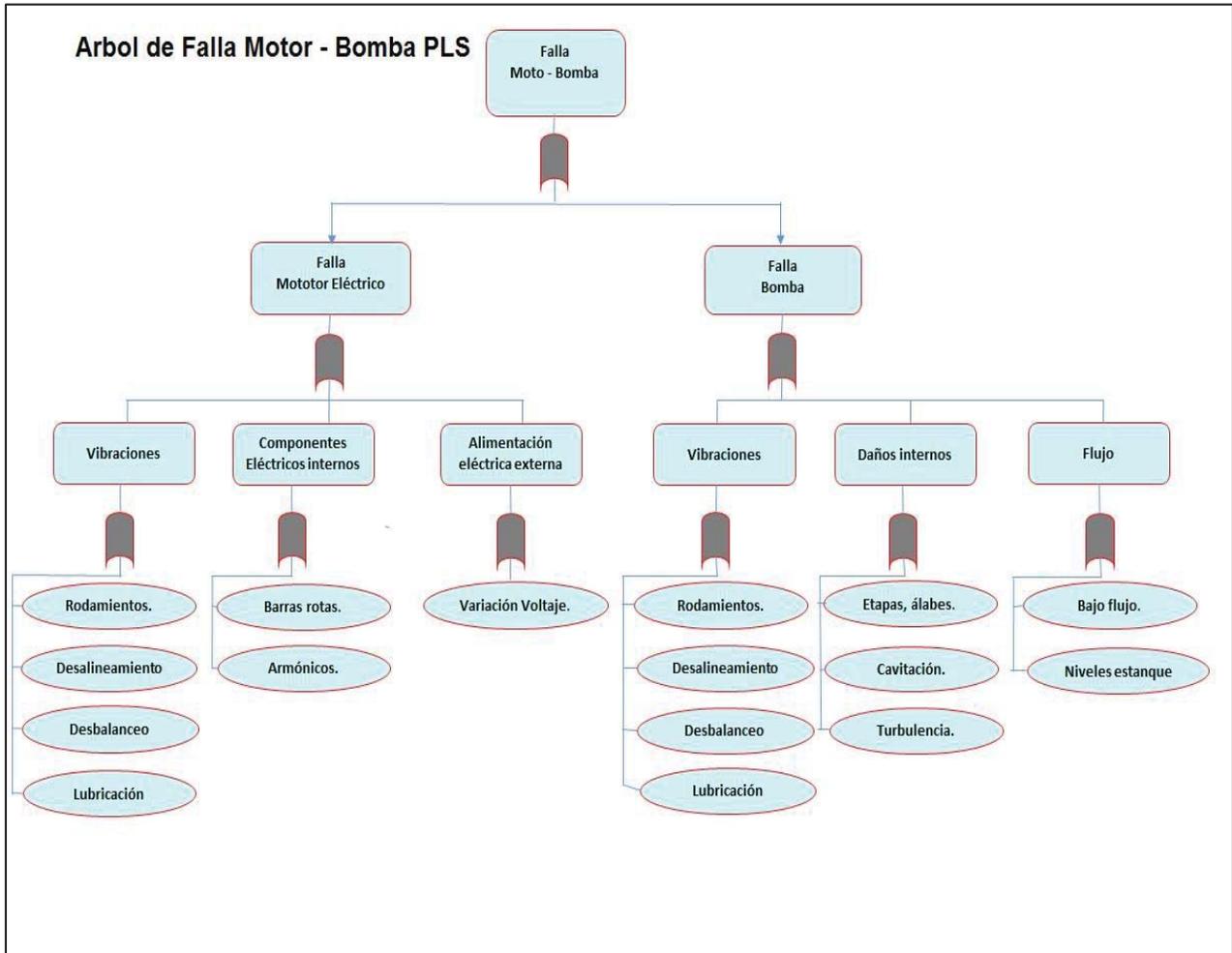


Figura 22 Árbol de Fallas Bombas Booster.

Instalación y trazados. Conjunto Booster Ascotán.



Figura 23 Diagrama Esquemático Principal de Bombas Ascotán.

En Figura 24 presenta topología general del trazado que agrupan distancias, ubicación de cajas, procesados y servidor.

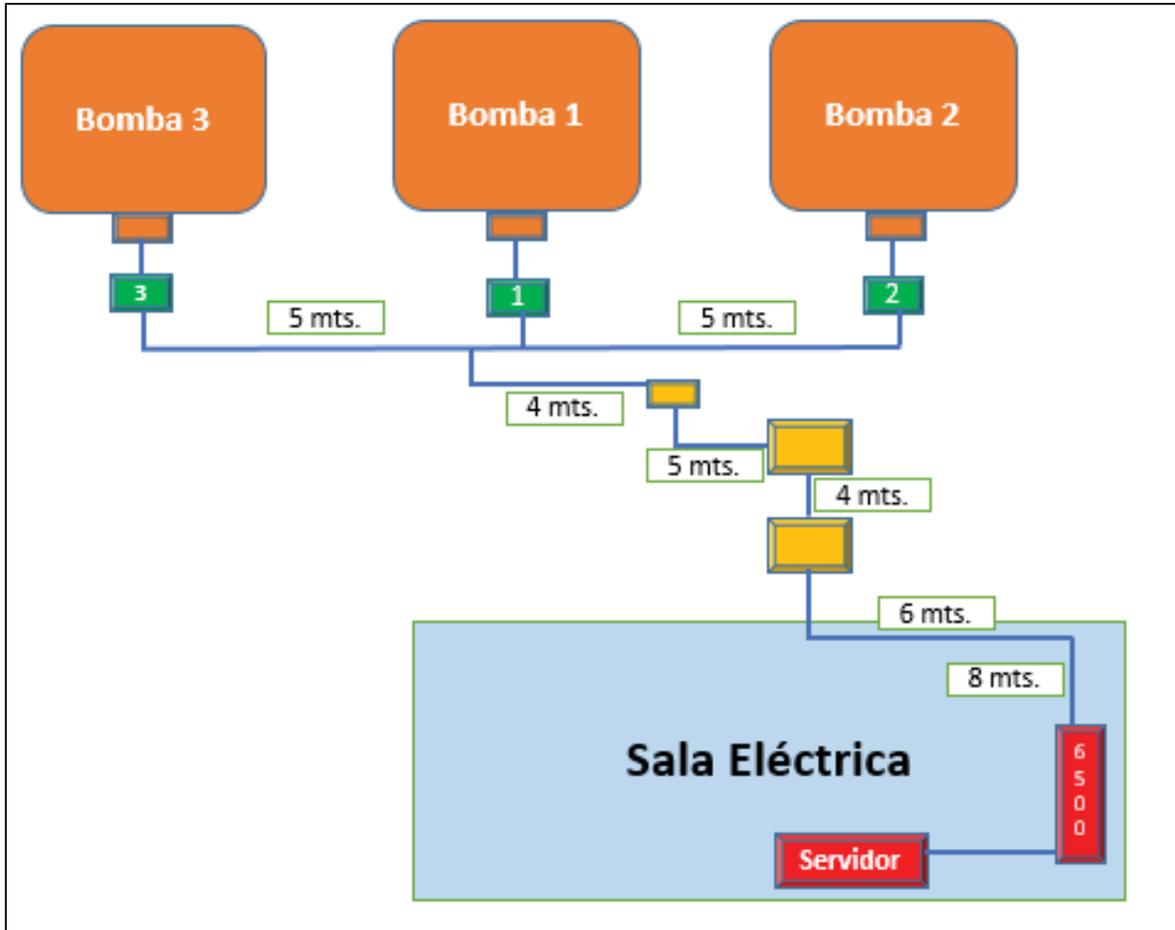


Figura 24 Trazado Estación de Bombeo Ascotán.

**Ubicación de acelerómetros y sensores duales en Bomba Booster.**

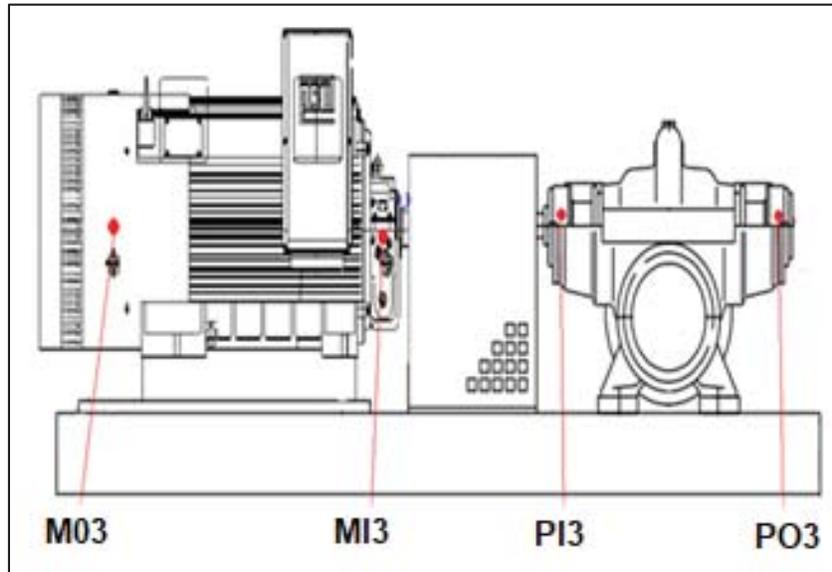


Figura 25 Ubicación Acelerómetros conjunto de Bombeo Booster.

Ubicación sensores en Conjunto de Bombeo: Booster		
Equipo	Orientación	Nomenclatura
Conjunto Bombeo Motor - Bomba Configuración Horizontal	Motor lado libre fuerte vertical	MO5
	Motor lado libre débil horizontal	MO3
	Motor lado acople fuerte vertical	MI5
	Motor lado acople débil horizontal	MI3
	Motor lado acople axial	MI1
	Bomba lado libre axial	PO1
	Bomba lado acople fuerte vertical	PI5
	Bomba lado acople débil horizontal	PI3
	Bomba lado libre fuerte vertical	PO5
	Bomba lado libre débil horizontal	PO3

Tabla 21 Orientación sensores conjunto bombeo Booster.

A continuación, se presentan los equipos pertenecientes al conjunto de bombeo Booster, sus dimensiones y ubicación de acelerómetros.

Bomba #1

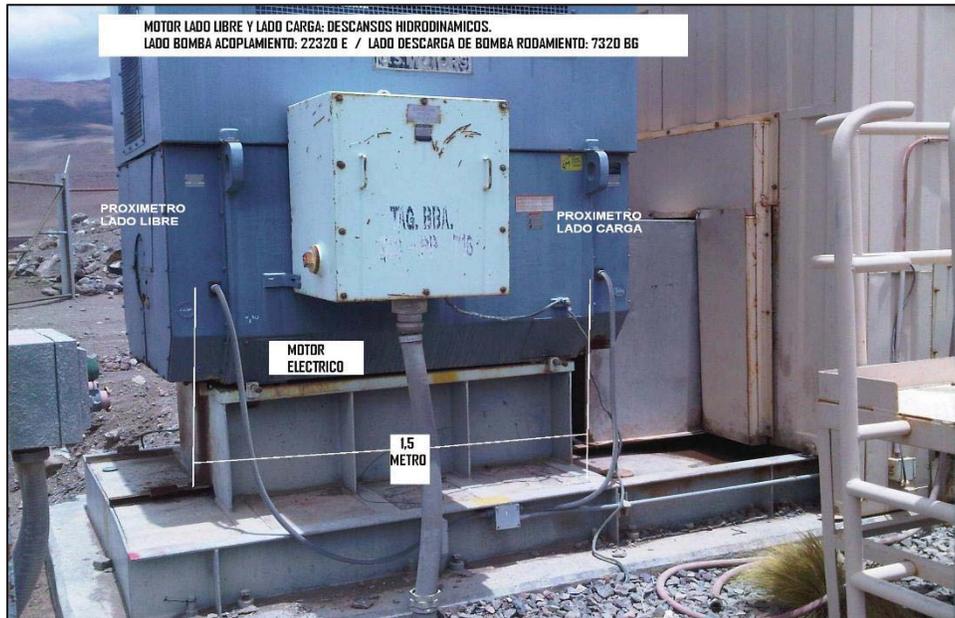


Figura 26 Ubicación puntos de medición conjunto Booster.

Ubicación de Sensores: Proxímetros A y B.

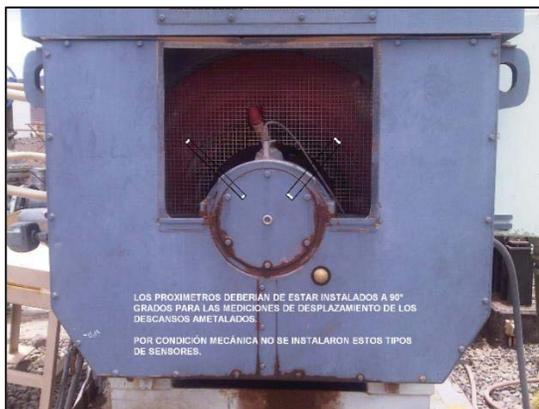


Figura 27 Detalle OMH (lado Libre)



Figura 28 Detalle OMH (lado carga)



Figura 29 Detalle PIH lado Carga Axial y Radial. Acel.Axial y Radial.



Figura 30 Detalle POH/POA Acel.Axial y Radial.

**Materiales Requeridos Proyecto Monitoreo Online Bombas Booster.**

A continuación, se listan los materiales que se requieren para la implementación del monitoreo Online en conjunto bombas Booster en salar de Ascotán.

#	Código		Cantidad
1	CON021/912-015	Convertidor de señales de corriente	12
2	BOX030	Caja eléctrica	2
3	A0322RA-2	Acelerómetro giratorio.	20
4	V425	Soporte y conexión.	4
5	V707	Caja de conexiones fibra óptica	1
6	602D01	Acelerómetro giratorio.	21
7	056DS030BZ	Cable de vibracion y temperatura	2
8	T0603C01 SN 252645	Acelerómetro dual	2
9	A6500MR-48	CSI 6500	1
10	A476514	Peakvue	2
11	A6500SSENCL-WDCSCI	Gabinete	1
12	056DS030BZ	Cable de sensor dual	16
13	053AE030BZ	Cable sensor simple	42
14	9732-9	Cable Belden	1

#	Código		Cantidad
1	S/C	Servicio de canalización de sensores empres externa.	1

Tabla 22 Requerimientos totales Conjunto Bombeo Booster



**Estimación de Gastos, Disponibilidad y Evaluación Económica de los Proyectos:  
Caso Actual y Caso Propuesto.**

La evaluación efectuada involucra dos proyectos, el área Estación de Bombeo PLS (seis conjuntos) y en el área Bombas Suministros Hídricos en el Salar de Ascotán (tres conjuntos). Estos dos sistemas estarán monitoreados en vibración y temperatura de forma permanente, lo que permitirá evaluar el estado de funcionamiento en tiempo real, en caso de anomalías estas son alarmadas e informadas al área con recomendaciones que involucran tiempos definidos como límites para efectuar las reparaciones. La información entregada por el sistema y su análisis es fundamental para evitar gastos extras de mantenimiento, evitar detenciones inesperadas del proceso productivo junto a las pérdidas económicas que provocan las fallas inesperadas a la Compañía.

A continuación, serán evaluados los gastos de implementación, gastos en mantenimiento y operación del sistema y los gastos extras de mantenimiento por fallas inesperadas. El ejercicio será realizado para ambos proyectos simulados en el Caso Base y el Caso Propuesto, esta información será utilizada para la evaluación económica de ambos proyectos de forma conjunta.

Los proyectos expuestos constan de software, hardware, instrumentos y servicios evaluados los cuales se encuentran en el mercado nacional, teniendo plazos de entrega no superiores a las 12 semanas.

Ambos proyectos se alinean con la estrategia de capital y operación, con una categorización en “ahorro de costos”.

**Evaluación y Gastos del Proyecto: Monitoreo Online Estación de Bombeo Booster en Salar de Ascotán.**

**Alcance de la Inversión:**

En tabla 23 se resumen las evaluaciones entregadas por colaboradores externos para la puesta en marcha del proyecto de monitoreo en el área.

<b>Estimación de la Inversión Total (Software; Hardware; materiales; Servicios)</b>	<b>Total (KUS\$)</b>
Materiales Online Bombas Booster Total Oferta	59
Servicios Externos Total Oferta	49
Imprevistos US\$	22
<b>Total Inversión KUS\$</b>	<b>129</b>

Tabla 23 Evaluación gastos materiales y servicios Proyecto Online Estación de Bombeo Booster

En cuadro se agrupan la estimación de tiempos de detención ante una falla, el gasto en esta detención en mano de obra y equipos, más detalles se encuentran en Anexo 9 y 10.

**Evaluación del gasto en mantenimiento en conjunto bombeo Booster**

#	Componente	Descripción Mantenimiento	Tiempo est. Detención (Hr.)	KUS\$	HH Técnicos y Supervisor Mant.	KUS\$	Equipos Izaje	KUS\$	Gasto Detención (KUS\$)
1	Bomba	Cambio <b>con</b> Plan. (Online)/Rep. media.	8	22	Técnicos y Supervisor (3)	0.72	Grúa	3.39	<b>26</b>
2		Cambio <b>sin</b> Plan./Reparación mayor.	12	37		1.08		5.09	<b>43</b>
3		Cambio <b>sin</b> Plan.	12	78		1.08		5.09	<b>84</b>
7		Cambio sello/Reparación menor.	6	3		0.54	-----	2.54	<b>6</b>
4	Motor	Cambio <b>con</b> Plan (Online)/Rep. media	8	11		0.72	Grúa	3.39	<b>15</b>
5		Cambio sin Plan./Reparación mayor.	12	21		1.08		3.39	<b>25</b>
6		Cambio sin Plan.	12	44		1.08		5.09	<b>50</b>

Tabla 24 Estimación Gastos Detención Conjunto Bombeo Booster: Mantenimiento.

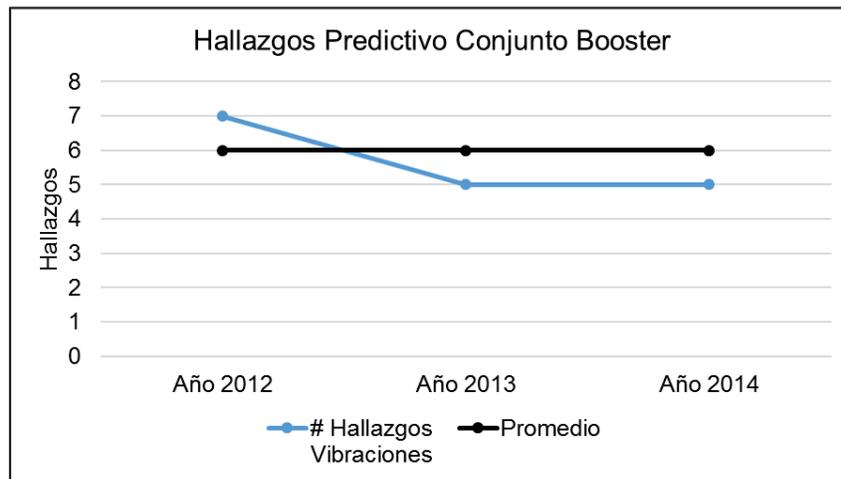
### Número de hallazgos predictivos y proyección: 2012 – 2013 – 2014

En Tabla 25 se muestra estadística de hallazgos predictivos manuales reales obtenidos los años 2012; 2013 y 2014, esta información es utilizada para proyectar los mayores hallazgos a obtener con monitoreo Online de condiciones. Esta evaluación es la base del proyecto, ya que estas fallas en su primera etapa agregan valor a la actividad predictiva.

Año	# Hallazgos Vibraciones
Año 2012	7
Año 2013	5
Año 2014	5
Promedio de Hallazgos	6
<b>Proyección incremento detección hallazgos (40%) con Online x año</b>	2
<b>Total Hallazgos Predictivos On line</b>	8

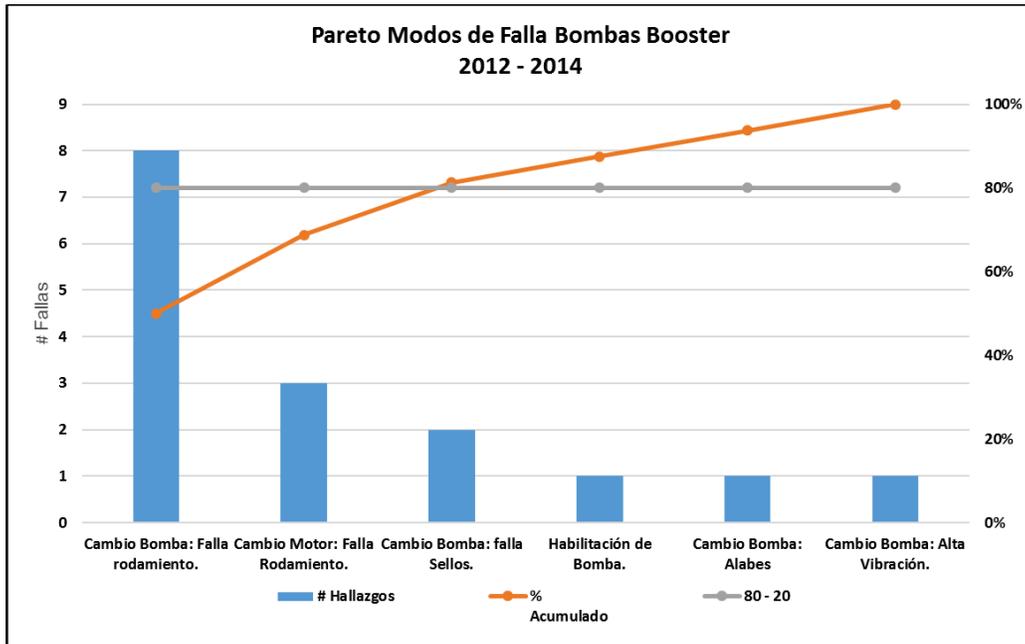
Tabla 25 Número de Hallazgos Predictivos y Proyección: Conjunto Bombeo Booster

En Gráfica 3 se muestran los hallazgos y promedios.



Gráfica 3 Hallazgos Predictivos y Promedios

En Gráfica 4 se muestra el Pareto de modos de falla en sistema de bombeo Booster, esta información es relevante para clasificar fallas, proyectar su ocurrencia y evaluar el costo.



Grafica 4 Pareto de modos de falla en Conjunto de Bombeo Booster

Modo Hallazgo	# Hallazgos	% Acumulado	Ratio
Cambio Bomba: Falla rodamiento.	8	50%	50%
Cambio Motor: Falla Rodamiento.	3	69%	19%
Cambio Bomba: falla Sellos.	2	81%	13%
Habilitación de Bomba.	1	88%	6%
Cambio Bomba: Alabes	1	94%	6%
Cambio Bomba: Alta Vibración.	1	100%	6%

Tabla 26 Modos de Falla: Conjunto Bombeo Booster

Con datos antes calculados en proyección de fallas para años futuros (Tabla 25) y en Gastos de detención (Tabla 24) se obtienen datos para Tabla 27.

Gastos de Mantenimiento según tipo de Hallazgo – con y sin aplicación Sistema Online Bombas Booster

Hallazgo	# Hallazgos Vibraciones	Modos	Gastos de mantenimiento (KUS\$)		
			Caso Base Sin Online Rep. Mayor	Caso Base Sin Online (Pérdida del componente)	Caso Propuesto Con Online
Rodamiento Bomba	1.0	1	43	84	26
Cambio Motor: Falla Rodamiento.	0.4	1	25	50	15
Cambio Bomba: falla Sellos.	0.3	0	0	0	0
Habilitación de Bomba.	0.1	0			
Cambio Bomba: Alabes	0.1	0			
Cambio Bomba: Alta Vibración.	0.1	0			
<b>Total KUS\$</b>			<b>69</b>	<b>134</b>	<b>41</b>

Tabla 27 Cuadro de Gastos: Con y sin monitoreo Online Bombas Booster

Estimación Gasto Evitado de Mantenimiento, según Caso Base con reparación mayor y pérdida del componente y el Caso Propuesto con monitoreo Online.

Condición	Descripción Gasto	Gasto (KUS\$)	Gasto evitado (KUS\$)
Caso Propuesto	Mantenimiento c/Online y planificación	41	0
Caso Base	Mantenimiento Reparación Mayor s/planificación	69	27
Caso Base	Mantenimiento cambio de componente por destrucción s/planificación	134	93

Tabla 28 Estimación Gasto Evitado: Conjunto Bombeo Booster.

**Gastos de Operación y Mantenimiento Sistema Online Bombas Booster.**

**Estimación Costos de Operación.**

Esta estimación considera el tiempo efectivo de monitoreo y análisis de variables por especialista desde su centro de operación, el periodo de medición de variables del equipo es diario.

Descripción	Unidad	Valor
Horas de monitoreo diario	Hr.	0.5
Días x semana	Días	5
Semanas por año	Semana	52
<b>Total Costo Mano de Obra monitoreo Online</b>	<b>KUS\$/año</b>	<b>3.1</b>

Tabla 29 Estimación Costo Anual Monitoreo Online Bombas Booster.

En Tabla 30 se resumen los gastos de operación y mantenimiento necesarios para el manejo de sistema Online en conjunto Bombeo Booster, y su proyección para los 5 años de vida del proyecto, se estima un incremento anual de un 3% (IPC).

**Estimación Gastos Totales: Mantenimiento y Operación Sistema Online Booster**

Años	0	1	2	3	4	5
	0	2014	2015	2016	2017	2018
Gastos en Mantenimiento (KUS\$)	0	6.3	6.5	6.7	6.9	7.1
Gastos en Operación (KUS\$)	0	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
Gastos Mant. + Oper. (KUS\$)	0	9.4	9.7	10.0	10.3	10.6

Tabla 30 Estimación Gastos Totales Mantenimiento y Operación Online Bombas Booster

**Casos Base, Sistema de Monitoreo Manual: Gastos de Operación y Mantenimiento Bombas Booster.**

**Estimación Gastos de Operación Monitoreo Manual Bombas Booster**

Esta estimación de gasto considera el tiempo en cada intervención, este es un monitoreo In Situ, lo que significa traslados al punto de medición del especialista, y como se observa el periodo entre mediciones se extiende a 14 días.

Descripción	Unidad	Valor
Horas (monitoreo + Traslados)	Hr.	4.5
Una vez cada 14 días	Mes	2
Semanas por año	Semana	52
Total Costo Mano de Obra monitoreo Online	KUS\$/año	3.64

Tabla 31 Estimación Costo anual Monitoreo Manual Conjunto Bombeo Booster.

**Gastos Totales Sistema Manual Monitoreo Bombas Booster.**

En Tabla 32 se agrupan como se muestra los gastos en mantenimiento, operación del sistema y mantenimiento extra, este corresponde a lo no detectado por el monitoreo manual debido a la amplitud del periodo de mediciones mayor.

Años	0	1	2	3	4	5
	0	2014	2015	2016	2017	2018
<b>Gastos en Mantenimiento (KUS\$)</b>	0	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9
<b>Gastos Mantenimiento Extra (KUS\$)</b>	0	30.0	30.8	31.8	32.7	33.7
<b>Gastos en Operación (KUS\$)</b>	0	3.6	3.7	3.9	4.0	4.1
<b>Gastos Mant. + Oper. (KUS\$)</b>	0	36.1	37.1	38.4	39.5	40.7

Tabla 32 Cuadro Estimación de Costos Mant. Monitoreo Manual Bombas Booster.

**Disponibilidad de Equipos: Caso Base y Caso Propuesto.**

En Tabla 33 se muestra las disponibilidades en Caso Propuesto y Caso Base para proyectos On line Bombas PLS y Booster (2.8% - 2.1%, respectivamente), se observa un incremento en la disponibilidad en el caso propuesto para ambos proyectos el cual es importante en términos económicos y productivos.

Sistema de Bombeo	Disponibilidad %		
	Caso Base	Caso Propuesto	Var
<b>PLS</b>	84%	86.8%	2.8%
<b>Booster</b>	79%	81.1%	2.1%

Tabla 33 Disponibilidades Caso Actual y Caso Propuesto.

## **6.7 Evaluación Económica Proyecto Monitoreo Online: Sistema Bombeo PLS y Bombas Booster.**

### **Resumen ejecutivo.**

La evaluación se efectúa a los dos proyectos propuestos, uno en el área Estación de Bombeo PLS (seis conjuntos de bombeo) y el otro en el área de suministros hídrico, Bombas Booster en el Salar de Ascotán (tres conjuntos de bombeo).

Estos dos sistemas estarán monitoreados en vibración y temperatura de forma permanente, lo que permitirá evaluar el estado de funcionamiento en tiempo real. En caso de anomalías estas son alarmadas e informadas al área con recomendaciones que involucran tiempos definidos como límites para efectuar las reparaciones. La información entregada por el sistema y su análisis es fundamental para evitar gastos extras de mantenimiento, evitar detenciones inesperadas del proceso productivo junto a las pérdidas económicas que provocan las fallas inesperadas a la Compañía.

### **Riesgos del Proyecto.**

Los proyectos expuestos son sensibilizados utilizando dos variables como lo son el aumento o disminución en el mercado de los gastos en materiales (Software, hardware y materiales) y la estimación de gastos en mantenimiento históricos proyectados en el caso propuesto.

### Depreciación, impuestos y valor residual del Proyecto.

El tipo de depreciación elegida es la lineal, ya que es la que más se ajusta al proyecto, en donde el valor del activo al fin del proyecto es 0 KUS\$, y una depreciación de 54 KUS\$ x cada año de vida del proyecto.

Los impuestos corresponden a 17%, impuestos a la renta primera categoría, y un 18% por remesa al exterior o salida de capitales, por tratarse de Compañía extranjera que envía sus utilidades al país de origen.

El valor residual o valor de salvamento del proyecto es cero, considerando que son utilizados software, hardware, sensores y comunicaciones que no tienen valor de reventa.

### Caso Económico.

#### Estimación de Gastos Caso Base.

Monitoreo Manual Conjunto Bombas PLS y Booster (Ascotán), es la condición actual de monitoreo predictivo, son considerados para ambos sistemas los gastos estimados de:

- Operación equipos de monitoreo.
- Mantenimiento de equipos de monitoreo.
- Mantenimiento extra por no detección de fallas anticipadas.

<b>Gastos / Años</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Gastos Sistema Manual de Monitoreo PLS y Ascotan</b>	<b>0</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>
Inversión Inicial (KUS\$)	0	0	0	0	0	0
Mantenimiento (KUS\$)	0	174.2	179.3	184.8	190.3	196.1
Operación (KUS\$)	0	7.3	7.5	7.8	8.0	8.3
Mantenimiento y Operación (KUS\$) Caso Base	<b>0</b>	<b>181.5</b>	<b>186.8</b>	<b>192.6</b>	<b>198.3</b>	<b>204.4</b>

Tabla 34 Estimación de Gastos Caso Base.

### Estimación de Gastos Caso Propuesto.

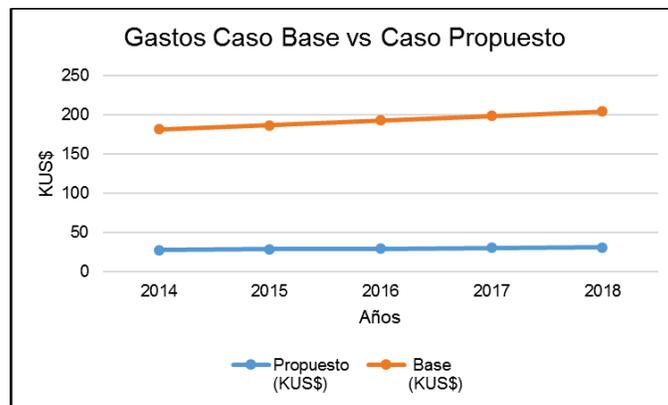
Monitoreo Online Conjunto Bombas PLS y Booster (Ascotán), es la condición propuesta de monitoreo predictivo (Online), son estimados:

- Inversión inicial para ambos Proyectos.
- Gastos de Operación equipos de monitoreo Online.
- Gastos de Mantenimiento de equipos de monitoreo Online.

Gastos / Años	0	1	2	3	4	5
	0	2014	2015	2016	2017	2018
Inversión Inicial (KUS\$)	279	0	0	0	0	0
Mantenimiento (KUS\$)	0	17.6	18.2	18.7	19.3	19.9
Operación (KUS\$)	0	9.8	10.1	10.4	10.7	11.0
Mantenimiento y Operación (KUS\$) Caso Propuesto	0	27.4	28.3	29.1	30	30.9

Tabla 35 Estimación de Gastos Caso Propuesto.

En Gráfica 5 se muestra la relación del gasto en ambos Casos, esta gran diferencia es debida a los gastos extras de mantenimiento provocado por fallas en los equipos no detectadas por el factor periodo de tiempo entre mediciones y alarmas que entrega el monitoreo continuo.



Gráfica 5 Estimación de Gastos Caso Base VS Caso Propuesto

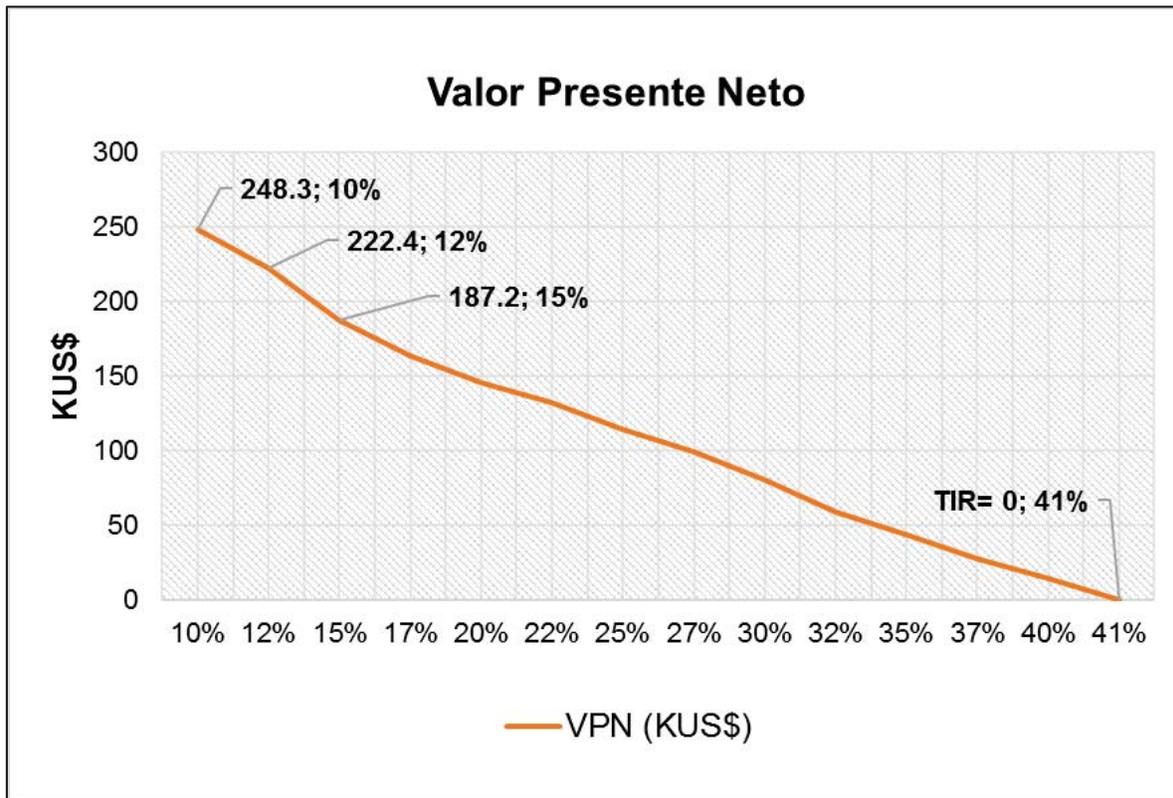
Evaluación Económica.

Variables Económicas Calculadas.

<b>VPN 12%</b>	222.4	KUS\$	(*)
<b>TIR</b>	41%		
<b>Ratio VPN 12%</b>	82%		
<b>Periodo de Pago Inversión</b>	2.0	Años	
<b>VPN 10%</b>	248.3	KUS\$	
<b>VPN 15%</b>	187.2	KUS\$	

(\*) Base exigida.

Tabla 36 Resumen Variables Económicas del Proyecto



Grafica 6 Valor Presente Neto: 10%; 12%; 15%; 41% (TIR)

### **Análisis de Variables Económicas.**

El Valor Actual Neto, es positivo y equivale al 82% de la inversión realizada en el proyecto.

La Tasa Interna de Retorno alcanza al 41%, esto significa 29 puntos por sobre la tasa de descuento exigida del Proyecto.

El retorno de la inversión es de dos años.

Desde el punto de vista económico es un proyecto atractivo, el plus es que contribuye a la confiabilidad operacional de los equipos o sistemas estudiados.

### Sensibilización del Proyecto.

Como se muestra en Tabla 37, el proyecto fue sensibilizado en las variables inversión y estimaciones de gastos en operación, en donde los gastos de mantenimiento son sensibilizados con un mayor o menor gastos evitados.

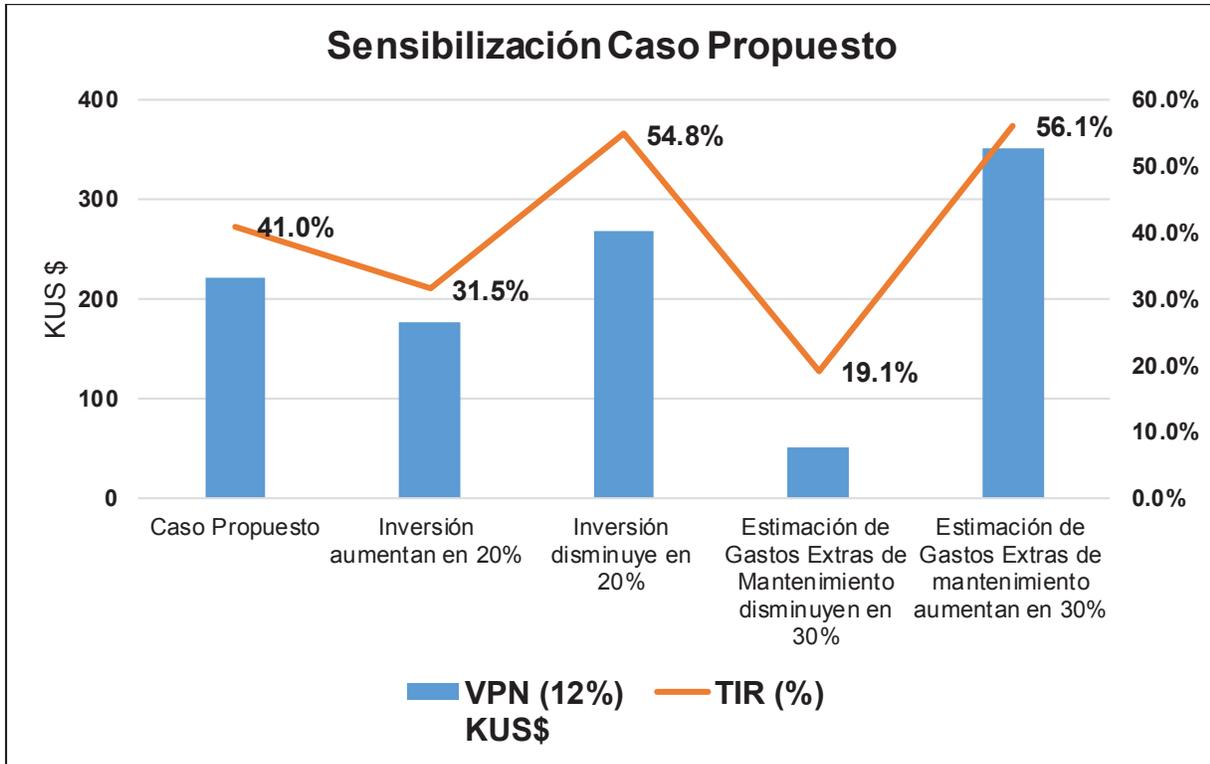
Se destaca que lo que más afecta al proyecto es que los gastos extras de mantenimiento disminuyeran en un 30%, esto significaría que lo estimado en la detección de fallas en el monitoreo Online se habría sobre estimado.

En términos generales y aún con la sensibilización más desventajosa el proyecto sigue siendo atractivo, el TIR se encuentra 7 puntos por encima de la tasa de descuento exigida al proyecto.

Casos	VPN (12%) KUS\$	TIR (%)	Periodo Pago (años)
Caso Propuesto	222	41.0%	2.0
Inversión aumenta <b>en 20%</b> Mayor precio de materiales.	176	31.5%	2.4
Inversión <b>disminuye en 20%</b> Menor Precio de materiales.	269	54.8%	1.6
Estimación de Gastos Extras de Mantenimiento <b>disminuyen en 30%</b>	50	19.1%	3.1
Estimación de Gastos Extras de Mantenimiento <b>aumentan en 30%</b>	352	56.1%	1.6

Tabla 37 Sensibilización del Proyecto Monitoreo Online Bombas PLS y Booster

En la Gráfica 7 se relaciona el Caso Propuesto con las variables sensibilizadas, el VAN y la TIR.



Gráfica 7 Sensibilización Proyecto Monitoreo Online Bombas PLS y Booster.

### Recomendación.

El caso propuesto es recomendado para inversión, debido a que las medidas de contribución financiera están sobre lo exigido haciendo que este proyecto sea atractivo para su implementación.

## **7 Conclusiones y Recomendaciones.**

Lo expuesto y desarrollado a lo largo de este trabajo permite afirmar lo siguiente:

a.- Se evidencia ventajas significativas entre el mantenimiento Predictivo, basado en monitoreo en línea y el mantenimiento Programado, enfocadas en el ahorro de costos por mantenimiento extra, provocadas por fallas inesperadas de los equipos o sistemas.

Estas fallas inesperadas son evaluadas económicamente y justifican la inversión en el proyecto.

b.- Existe una gran diferencia en ambos Casos evaluados y esta se relaciona con el periodo de toma de muestras de los signos vitales de los equipos o sistemas, mientras en el Caso Propuesto el monitoreo es en tiempo real. En el Caso Base el monitoreo es con frecuencias semanales o quincenales, lo que se traduce en una gran desventaja, puesto que es común encontrar fallas que no dieron signos de anormalidad en los periodos que fueron monitoreadas.

c.- La implementación y evaluación de los sistemas Online de monitoreo no son de gran complejidad, como se evidencia en trabajo expuesto, sin embargo, requieren de personal calificado para el manejo y análisis de las variables obtenidas. La recuperación de lo invertido es rápida, aportando a la disponibilidad de los equipos y a la seguridad de las personas.

Por tanto, técnica y económicamente el Proyecto es recomendado para su aplicación, la salud de las máquinas necesita de modernos sistemas y especialistas capacitados que contribuyan a la disponibilidad de los equipos o sistemas con un costo de inversión recuperado en un corto tiempo de aplicación.

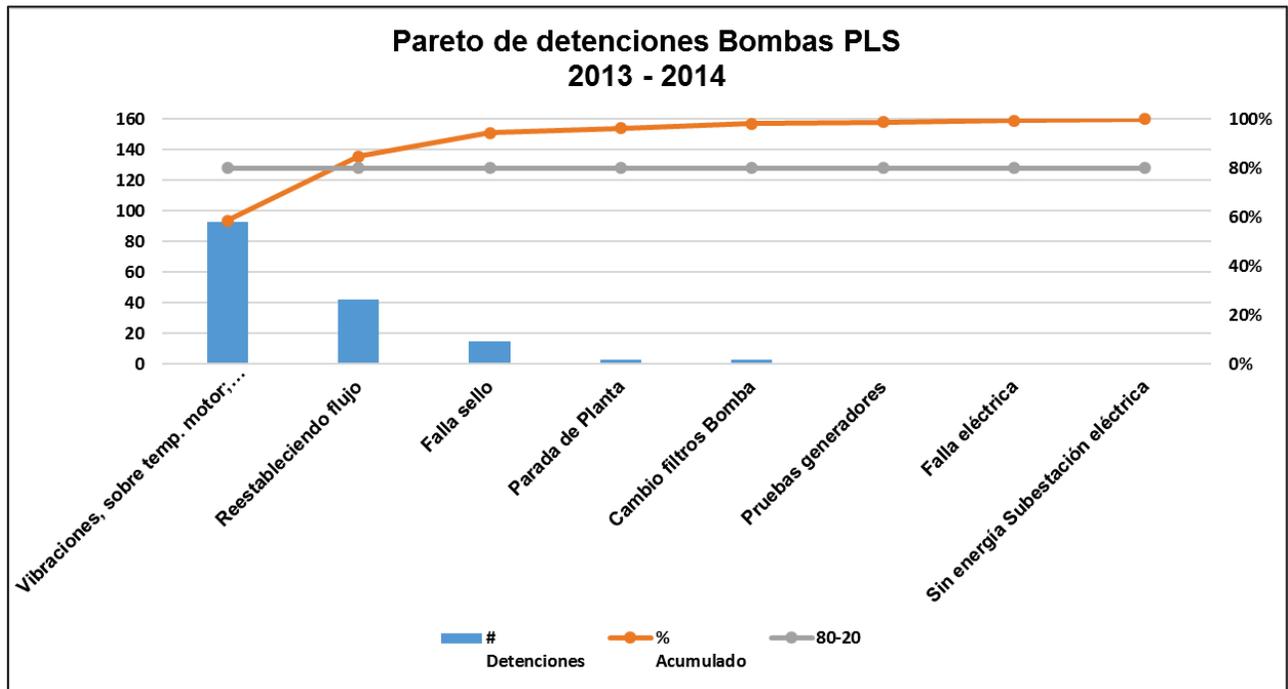
## 8 Referencias Bibliográficas.

- Anuario Cochilco, 2016.
- Emerson; Mejorando la disponibilidad mediante la detección y el monitoreo, 2003.
- Machinery Protección System ; API Standard 670 Cuarta Edición, , diciembre 2000.
- Ing. P. Saavedra; Análisis de vibraciones en las máquinas, 2017.
- Infrared Training Center; Termografía Infrarroja, 2015.
- CSI 6500 Machinery Health Monitor, Hardware, Rev. 8, junio 2014.
- Practical Machinery Vibration, Analysis & Predictive Maintenance, 1° Publicación 2004.

9 Anexos.

Anexo 1 Identificación detenciones Frecuentes área PLS.

El total de fallas en el área PLS son clasificadas en modos, Gráfica 1 y Tabla 1, visualizando la relevancia en las detenciones las referidas a vibraciones el conjunto y cambio de componentes, y a la variable operativa de restablecimiento de flujo.



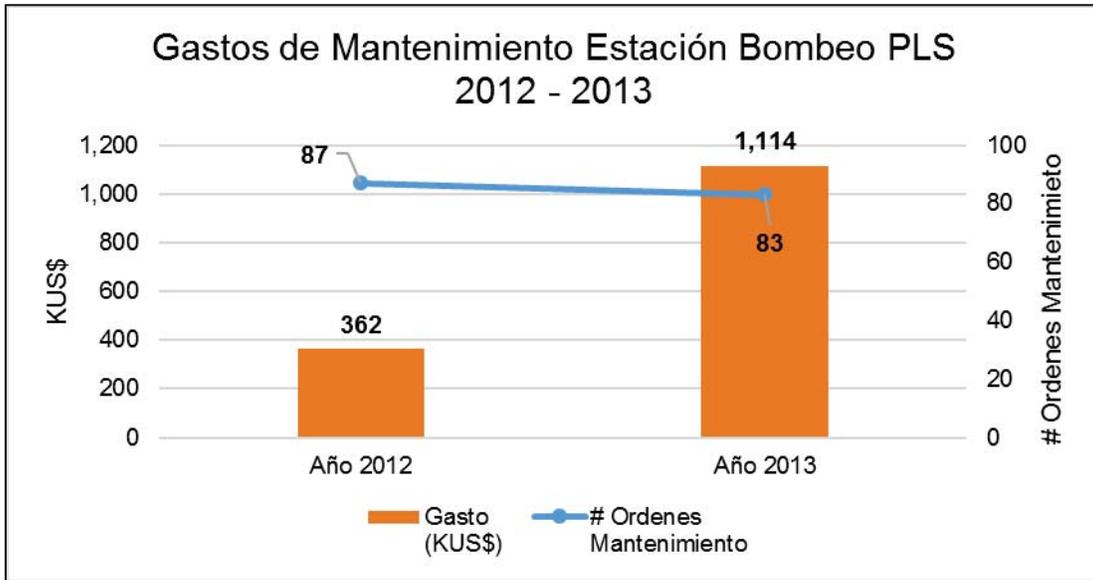
Anexos Gráfica 1 Pareto Modos de falla área PLS 2013 – 2014.

Descripción de la detención	# Detenciones	% Acumulado
Vibraciones, sobre temp. motor; Cambio Bomba; Cambio Impulsor; Cambio Rod.	93	58%
Reestableciendo flujo	42	85%
Falla sello	15	94%
Parada de Planta	3	96%
Cambio filtros Bomba	3	98%
Pruebas generadores	1	99%
Falla eléctrica	1	99%
Sin energía Subestación eléctrica	1	100%
	159	

Anexo Tabla 1 Tabla Modos de falla Conjunto PLS 2013 – 2014.

## Anexo 2 Histórico de Gastos Mantenimiento: Área PLS

En Gráfica 2 y Tabla 2 se muestra gasto en mantenimiento asociado a la cantidad de Ordenes de Mantenimiento generadas en nuestro sistema.



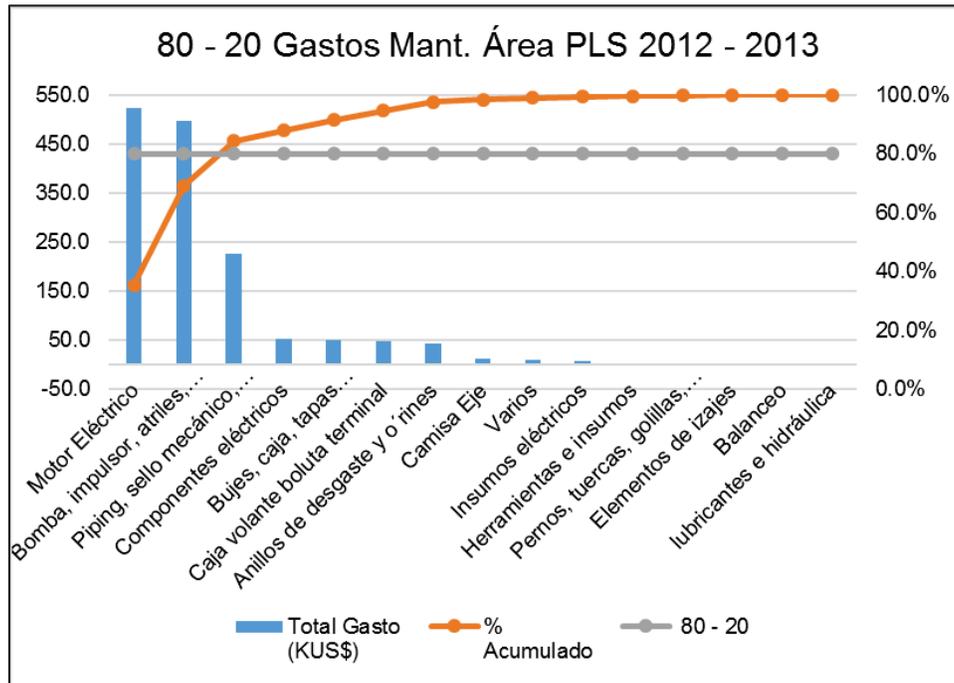
Anexos Gráfica 2 Gastos Históricos en Mantenimiento área PLS

Periodo	# Ordenes Mantenimiento	Gasto (KUS\$)
Año 2012	87	362
Año 2013	83	1,114
<b>Total</b>	<b>170</b>	<b>1,476</b>

Anexo Tabla 2 Histórico gastos área Estación de Bombeo PLS.

**Anexo 3 Ordenes de Mantenimiento más frecuentes área PLS.**

En Gráfica 3 y Tabla 3 se muestra el 80 – 20 de las Ordenes de mantenimiento generadas en el área vinculadas al gasto de mantenimiento

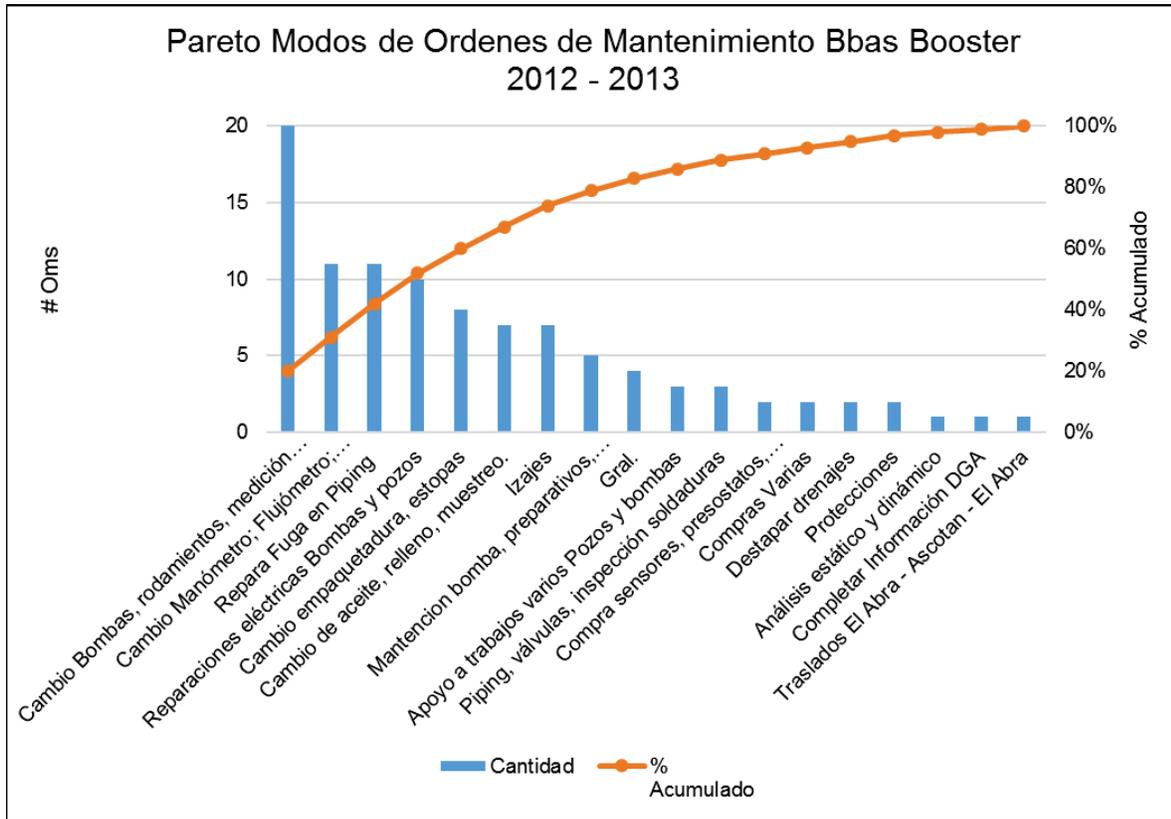


Anexos Gráfica 3 Pareto gastos de mantenimiento área PLS

Clasificación Material	Total Gasto (KUS\$)	% Acumulad
<b>Motor Eléctrico</b>	<b>523.4</b>	<b>35.5%</b>
<b>Bomba, impulsor, atriles, sellos, empaquetaduras, cambana de succión, reparaciones.</b>	<b>497.1</b>	<b>69.2%</b>
<b>Piping, sello mecánico, manómetro.</b>	<b>225.2</b>	<b>84.4%</b>
Componentes eléctricos	51.8	87.9%
Bujes, caja, tapas rod, amientos y anillos soporte rod.	51.4	91.4%
Caja volante boluta terminal	47.9	94.7%
Anillos de desgaste y o' rines	43.9	97.6%
Camisa Eje	11.3	98.4%
Varios	8.8	99.0%
Insumos eléctricos	6.6	99.5%
Herramientas e insumos	2.6	99.6%
Pernos, tuercas, golillas, adhesivos.	2.2	99.8%
Elementos de izajes	2.1	99.9%
Balanceo	1.0	100.0%
lubricantes e hidráulica	0.2	100.0%

Anexo Tabla 3 Gastos Mant. Área PLS 2012 - 2013 (80-20)

Anexo 4 Histórico Modos de Detención Equipos de bombeo Hídrico.

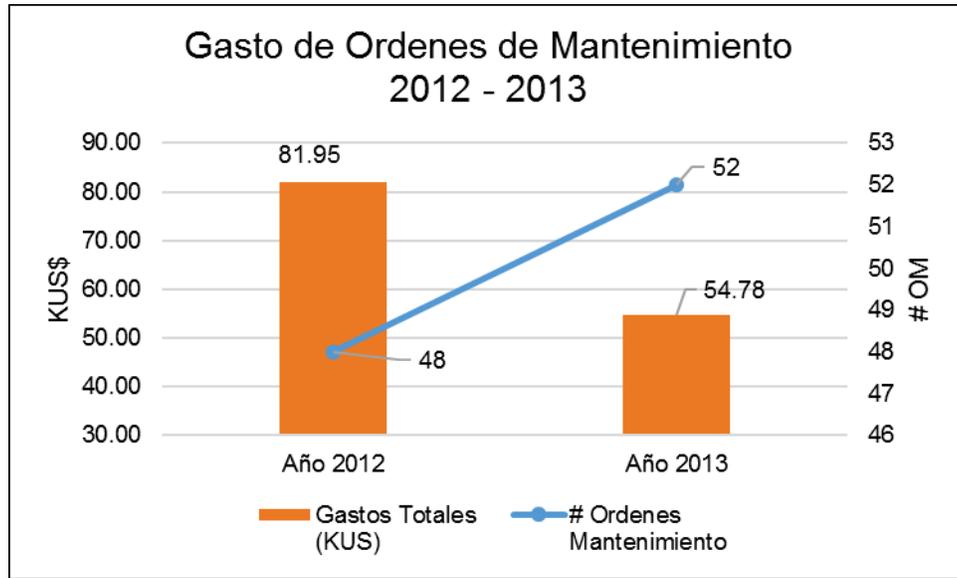


Anexos Gráfica 4 Pareto de Modos de detención Bombas Booster Ascotán.

Modo Orden Mantenimiento	Cantidad	% Acumulado
Cambio Bombas, rodamientos, medición vibraciones, termografía, ultrasonido.	20	20%
Cambio Manómetro; Flujoímetro; Sensores; Totalizador; Transmisor de Presión.	11	31%
Repara Fuga en Piping	11	42%
Reparaciones eléctricas Bombas y pozos	10	52%
Cambio empaquetadura, estopas	8	60%
Cambio de aceite, relleno, muestreo.	7	67%
Izajes	7	74%
Mantencion bomba, preparativos, puesta en servicio.	5	79%

Anexo Tabla 4 Modos de Falla Conjunto Booster.

**Anexo 5 Histórico Gastos de Mantenimiento Equipos de bombeo Hídrico.**



Anexos Gráfica 5 Gastos históricos en mantenimiento área Sistema de Bombeo Booster.

Periodo	# Ordenes Mantenimiento	Gastos Totales (KUS)
Año 2012	48	81.95
Año 2013	52	54.78
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>136.74</b>

Anexo Tabla 5 Gastos mantenimiento conjunto bombeo Booster.

**Anexo 6 Estimación del gasto de reparación, tiempos de mantenimiento según actividad de conjunto bombeo PLS.**

En tabla 6 se presentan evaluaciones referenciales del gasto que representan las reparaciones en distintos grados de componentes del conjunto de bombeo, como también los valores de reposición, datos importantes para la evaluación del proyecto.

#	Componente	Descripción del Gasto	Costo (KUS\$)
1	Motor 2mw	Reposición.	126.82
2		Reparación Mayor.	79.46
3		Reparación Media.	31.79
4	Bomba 4 etapas	Reposición.	427.19
5		Reparación Mayor.	130.00
6		Reparación Media.	90.00
7		Cambio Impulsor.	25.43

Anexo Tabla 6 Valores de reparaciones y reposición de componentes: Conjunto Bombeo PLS

En Tabla 7 se presenta el estudio de tiempos para cambio de componentes principales en nuestro sistema de bombeo, considerando la variable Planificación

#	Componente	Descripción Actividad	Tiempo (Hr)
1	Conjunto Bombeo	Cambio / Planificación	6.00
2		Cambio / sin Planificación	12.00
3	Motor 2mw	Cambio / Planificación	3.00
4		Cambio / sin Planificación	9.00
5	Bomba 4 etapas	Cambio / Planificación	6.00
6		Cambio / sin Planificación	12.00

Anexo Tabla 7 Estimación de tiempos de actividades de mantenimiento conjunto bombeo PLS.

En Tabla 8 se exponen los costos de mano de obra y arriendo de equipos para la ejecución de actividades de cambio de componentes en sistema de bombeo PLS.

#	Descripción Actividad de Mantenimiento	USD/(Hr)
1	Valor arriendo Grúa 350 Ton/hr	762.9
2	Valor HH técnico Mantenimiento N1 M	24.18
3	Valor HH técnico Mantenimiento N0 M	30.84
4	Valor HH Supervisor de Mantenimiento	35.23

Anexo Tabla 8 Valores por hora de servicios y Mano de Obra.

### Anexo 7 Determinación del costo de detención en un conjunto de Bombeo PLS.

En Tabla 9 se presentan los valores de variables operativas, costos para el cálculo del valor económico de una hora de funcionamiento de un conjunto de bombeo PLS.

#	Descripción	Unidad	Cantidad
1	Caudal Conjunto Bombeo PLS	m <sup>3</sup> /hr	1,800
2	Concentración de Cobre solución PLS	gr/lt	1
3	Cantidad de cobre x Hr de bombeo sin factor	libras/hr	3,947
4	Factor de Recuperación	(-)	0.85
5	Cantidad de cobre x Hr de bombeo con factor	libras/hr	3,355
6	Precio medio del cobre	US\$/libra	2.21
7	Cash Cost	US\$/libra	1.48
8	Full Cost	US\$/libra	2.19
9	Valor de la hora de detención de una Bomba PLS	KUS\$/hr	7.42
10	Valor de lo dejado de ganar en el periodo x 1hr de detención de una bomba. (Full Cost)	KUS\$/hr	0.074
11	Valor de lo dejado de ganar en el periodo x 1hr de detención de una bomba. (Cash Cost)	KUS\$/hr	2.46

Anexo Tabla 9 Costo de la detención de un conjunto de Bombeo PLS por una Hora.

**Anexo 8 Gastos de Operación Sistema Online y Sistema Manual.**

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Costo mano de obra anual x Trabajador (salario)	KSS\$	25.72
Costo mano de obra Empresa anual x Trabajador	KUSS\$	56.58
Horas Totales de Trabajos al Año	Hrs.	2,205
<b>Costo de Mano de Obra por Hora</b>	<b>US\$/Hr</b>	<b>25.66</b>

**Anexo Tabla 10 Costo HH x hr de Técnico Predictivo**

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Horas de monitoreo diario	Hr.	1
días semana	Días	5
Semanas por año	Semana	52
<b>Total Costo Mano de Obra monitoreo Online</b>	<b>KUS\$/año</b>	<b>6.67</b>

**Anexo Tabla 11 Costo anual Operación Sistema Online PLS**

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Horas de monitoreo	Hr.	3
Una vez cada 14 días	Mes	4
Semanas por año	Semana	52
<b>Total Costo Mano de Obra monitoreo Online</b>	<b>KUS\$/año</b>	<b>3.70</b>

**Anexo Tabla 12 Estimación de Costos Monitoreo Manual Bombas PLS**

### Anexo 9 Evaluación Gasto de la reparación de conjunto bombeo Booster.

En Tabla 13 se presentan evaluaciones referenciales del gasto que representan las reparaciones en distintos grados de componentes del conjunto de bombeo, como también los valores de reposición, datos importantes para la evaluación del proyecto.

#	Descripción del Gasto	Gasto KUS\$
1	Cambio de Bomba	78
2	Reparación Mayor Bomba	37
3	Reparación Media Bomba	22
4	Cambio Sellos Bomba	3
5	Motor	44
6	Reparación Mayor Motor	21
7	Reparación Media Motor	11

Anexo Tabla 13 Evaluación reposición y gastos de mantenimiento de distintas componentes en estación de bombeo Booster.

Tabla 14 muestra los tiempos involucrados en cambio de componentes en terreno según falla imprevista o mantenimiento planificado en conjunto de bombeo Booster.

#	Descripción Detención	Tiempo (Hr)
1	Cambio Bomba <b>con</b> Planificación	8.0
2	Cambio de Bomba <b>sin</b> Planificación	12.0
3	Cambio de Motor <b>con</b> Planificación	8.0
4	Cambio de Motor <b>sin</b> Planificación	12.0
5	Cambio Sellos Bomba	6.0

Anexo Tabla 14 Tiempos Estimados Reparaciones Bombas Booster

En Tabla 15 se exponen los costos de mano de obra y arriendo de equipos para la ejecución de actividades de cambio de componentes en sistema de bombeo Booster.

#	Descripción Actividad de Mantenimiento	USD/(Hr)
1	Valor arriendo Grúa	423.8
2	Valor HH técnico Mantenimiento N1 M	24.18
3	Valor HH técnico Mantenimiento N0 M	30.84
4	Valor HH Supervisor de Mantenimiento	35.23

Anexo Tabla 15 Valores por hora de servicios y Mano de Obra.

### Anexo 10 Evaluación del costo de la detención de Faena.

En Tabla 16 se resumen datos para la estimación de lo que significa en KUS\$ la detención del proceso por la falta del recurso Hídrico.

#	Descripción	Unidad	Cantidad
1	Cantidad de cobre Producida	libras/hr	25,457
2	Precio medio del cobre	US\$/libra	2.21
3	Cash Cost	US\$/libra	1.478
4	Full Cost	US\$/libra	2.188
5	Valor de la hora de detención de Faena	KUS\$/hr	56.26
6	Valor de lo dejado de ganar en el periodo x 1hr de detención de Faena. (Full Cost)	KUS\$/hr	0.560
7	Valor de lo dejado de ganar en el periodo x 1hr de detención de Faena. (Cash Cost)	KUS\$/hr	18.63

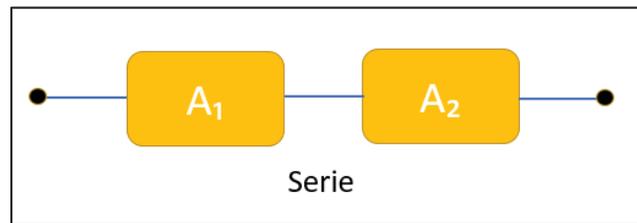
Anexo Tabla 16 Costo de la detención de la Faena por la detención de Bombeo de agua.

## Anexo 11 Configuración de Equipos o Sistemas.

La identificación de equipos críticos mediante la esquematización de estos y el tipo de configuración Reliability Block Diagram, permite esquematizar cualquier tipo de proceso identificando su impacto su impacto en la operación. Existen cinco tipos de configuraciones que a continuación se describen:

### i.- Serie.

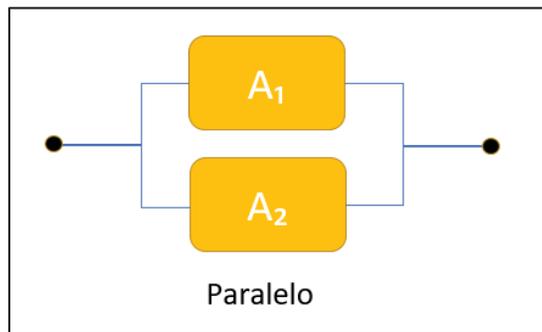
Este tipo de configuración implica que cualquier tipo de falla de uno de sus componentes,  $A_1$  o  $A_2$ , provocan la falla del sistema.



Anexos Figura 1 Diagrama de Bloques en Serie.

**ii.- Paralelo.**

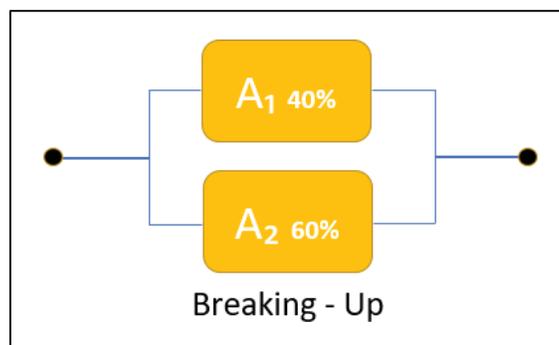
Este tipo de configuración involucra a más de un equipo, y en caso de falla de uno de ellos, el o los otros absorben los volúmenes de producción, los dos deben fallar,  $A_1$  y  $A_2$ , para provocar la falla del sistema.



Anexos Figura 2 Diagrama de Bloques en Paralelo.

**iii.- Fraccionamiento.**

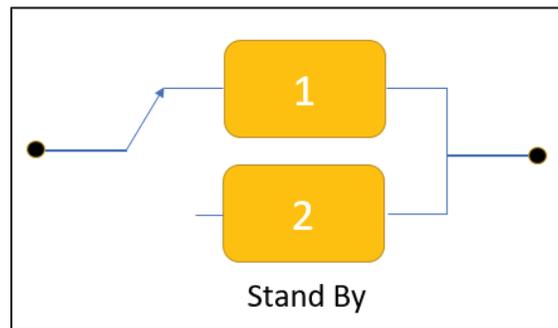
Este tipo de configuración involucra a más de dos equipos y asigna cargas porcentuales al volumen total de producción según su capacidad, la falla de uno de ellos penaliza en el porcentaje asignado al total de la producción.



Anexos Figura 3 Diagrama de Bloques en Fraccionamiento.

#### iv.- Stand By.

Esta configuración está compuesta de dos equipos, uno principal y el otro secundario (Stand By), el principal funciona hasta que falle (quiebre), y el secundario (Stand By) entra en operación cuando el principal cae en falla, con el mismo nivel de producción, en definitiva, la verdadera falla del sistema o subsistema se verifica cuando ambos equipos caen en Falla, de esta manera impactan a la operación.



Anexos Figura 4 Diagrama de Bloques en Stand By.

#### v.- Redundancia Parcial.

Este tipo de configuración considera la existencia de “n” equipos, los cuales poseen una fracción del proceso para la correcta operación, al ejemplificar con un subsistema de tres equipos, tenemos que al menos debe haber dos en funcionamiento para que el sistema tenga esta condición.

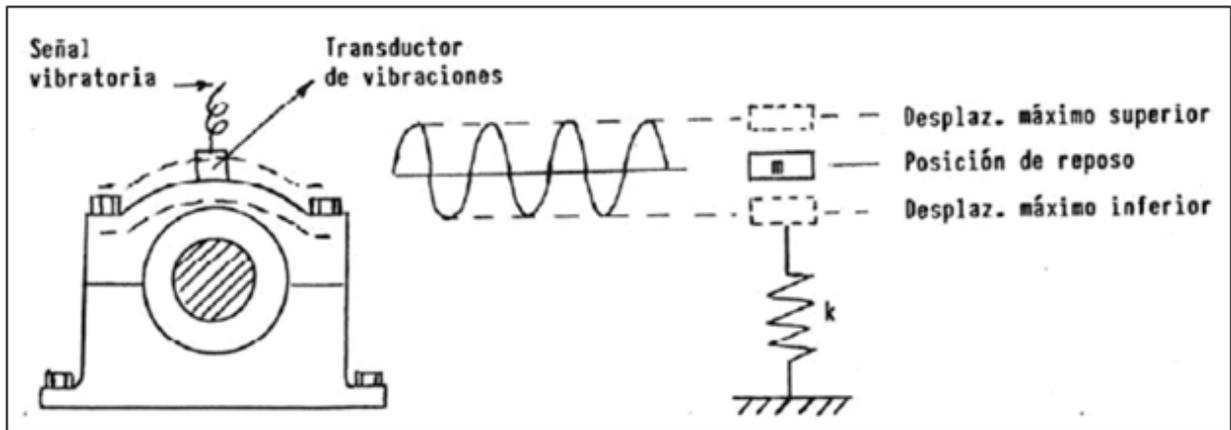
Toda la clasificación anterior permitirá jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos en función del impacto global con el fin de facilitar la toma de decisiones en cuanto a la frecuencia de inspección, tecnología aplicada al monitoreo, etc.

## Anexo 12 Técnicas Predictivas.

### Monitoreo de vibraciones

Es una tecnología muy efectiva, esta puede aplicarse de manera continua o esporádica. De manera muy simple la vibración puede ser considerado como el movimiento de una máquina o estructura, o de una parte de ellas, alrededor de su posición de reposo o de equilibrio.

La Figura 5 muestra una caja de rodamientos de una máquina la cual se encuentra vibrando verticalmente, para poder medir este movimiento se instala un sensor o transductor de vibraciones rígidamente unido a un punto externo y plano en la caja del rodamiento de la máquina, el transductor medirá el desplazamiento en este caso vertical. El movimiento del punto de medición puede ser cuantificado por el desplazamiento vibratorio, el cual se define según Figura 1 con la letra “d”, el cual se desplaza en un tiempo  $d(t)$ , es decir la distancia “d” está variando con el tiempo “t”.



Anexos Figura 5 Esquema medición vibraciones.

Este tipo de monitoreo está basado en la postura de sensores que son adosados al equipo rotatorio mediante distintos tipos de fijaciones, magnéticas o con pernos. La respuesta de frecuencia de un sensor de vibración está determinada por el peso de este y el tipo de montaje. Por ejemplo, los sensores más ligeros con fijaciones más rígidas

proporcionan mejores respuestas a la alta frecuencia. La respuesta a la alta frecuencia es de gran importancia, ya que una falla de rodamiento en etapa temprana produce ruido de muy alta frecuencia, su detección en esta etapa nos permite incurrir en un daño menor del equipo, tenemos tiempo mayor para pedir partes de reemplazo y prepararnos para el mantenimiento.

En relación a la vibración de una máquina, esta rara vez puede ser representada en una forma de onda armónica simple (onda sinusoidal), esta representa una onda muy limpia y nuestro sensor de vibraciones recibe simultáneamente vibraciones provenientes de diferentes fuentes, por lo cual este capta la suma de ellas. En relación a las formas de onda estas pueden ser: Armónica simple, periódica cualquiera, y aleatoria, estas junto a sus espectros delatan comportamientos en velocidad los cuales pueden ser interpretados como, por ejemplo, desbalanceo, desalineamiento, engrane, paso de álabes, cavitación, roce continuo, ruidos eléctricos, etc.

El campo de aplicación de esta técnica está en todos los elementos mecánicos rotatorios que se encuentran en la Faena como, por ejemplo: Chancadores, cintas Overland, equipos portables, Palas Eléctricas, Perforadoras, Bombas verticales, etc.

#### El análisis de aceite lubricante

Combina el análisis de partículas de desgaste, análisis químico y análisis de contaminación.

Con el análisis de partículas de desgaste se pueden detectar muchas condiciones de desgaste más temprano que el análisis de vibraciones, y dependiendo del tipo de material en el desgaste se puede aislar el problema del equipo a un rodamiento, engrane, etc.

Con el análisis químico podemos determinar si el aceite lubricante tiene las características correctas tales como la viscosidad para la aplicación. Un lubricante incorrecto puede provocar desgaste acelerado de partes y piezas, deterioro de sellos de

retención lo que puede llevar a fugas de lubricante y una posterior destrucción de nuestro equipo.

El análisis de contaminación encuentra contaminantes dañinos para el funcionamiento de los equipos como lo son la sílice, el agua, etc.

Esta técnica es aplicada a la mayoría de los equipos en faena como lo son, cajas reductoras de cintas transportadoras, sistemas de lubricación e hidráulicos de chancadores, en Palas Eléctricas, transmisiones Hoist, Swing, Propel, Crowd, etc., en Perforadoras, mandos finales, caja de engranajes PTO, sistema hidráulico, sistema de refrigeración, compresor. En bombas verticales en sus respectivas cajas de rodamientos, etc. Todas estas inspecciones tribológicas nos entregan valiosa información de desgaste, contaminación y propiedades químicas del lubricante.

Este servicio es el único externalizado, de acuerdo a su importancia en la detección prematura de los síntomas de falla en un futuro cercano se proyecta la creación de un laboratorio de tribología propio.

#### Termografía Infrarroja.

Es la ciencia de adquisición y análisis de información térmica obtenida mediante dispositivos de adquisición de imágenes térmicas a distancia.

Tiene características útiles, no necesitan contacto directo, los sensores utilizados trabajan a distancia, esto mantiene fuera de peligro al usuario, no es intrusiva, no afecta de ningún modo al objeto que se inspecciona, en equipos rotatorios nos ayuda a encontrar puntos calientes en zonas de fricción excesiva ya sea por una carencia lubricatoria, cuerpos móviles con algún deterioro mecánico o sobrecarga.

Termografía significa “escritura con calor”, la imagen generada se denomina termograma o imagen térmica. Esta tiene gran versatilidad presentando una gran diversidad de aplicaciones.

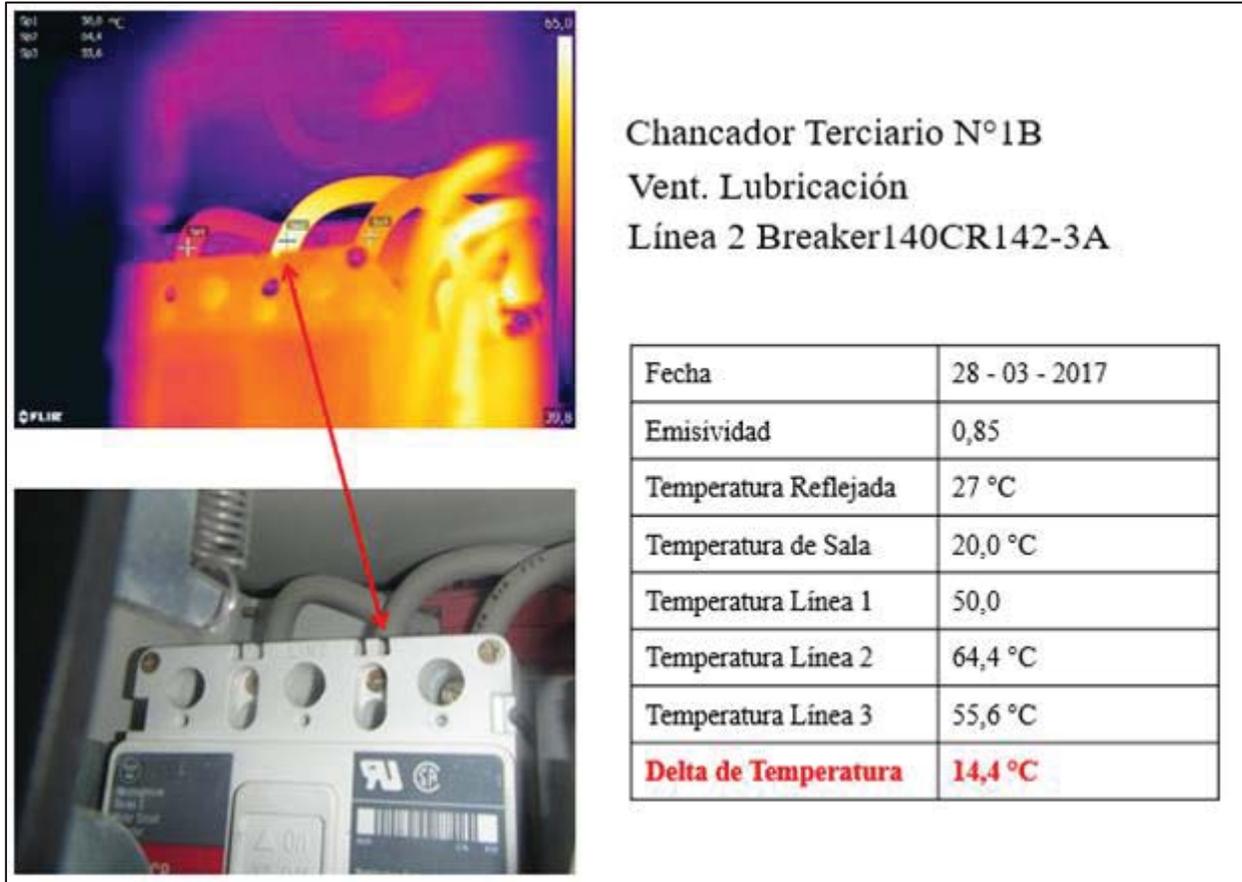
- Electricidad.
- Edificación.
- Hornos y calderas.
- Mecanismos, fricción.
- Tanques y depósitos.
- Problemas de flujo de fluidos.

Existen tres razones que hacen de la termografía infrarroja una herramienta de utilidad fundamental:

- **Es sin contacto**, lo que permite mantener al usuario fuera de peligro, esto adquiere relevancia en las aplicaciones del mantenimiento eléctrico, los componentes inspeccionados no pueden ser tocados debido a que se encuentran energizados. Por otro lado, la distancia y el acceso son situaciones que se presentan en objetos en movimiento o en rotación que pueden ser abordados con esta técnica.
- **Es bidimensional**, ya que es posible comparar directamente áreas del mismo cuerpo, podemos medir la temperatura en dos puntos o más dentro de una misma imagen y establecer comparaciones, con esto se establece una idea inicial de la situación, determinando donde están los problemas, puntos calientes que escapen a la normalidad.
- **Se realiza en tiempo real**, permite la visualización de forma inmediata de procesos estacionarios y los problemas delatados por la inspección térmica.

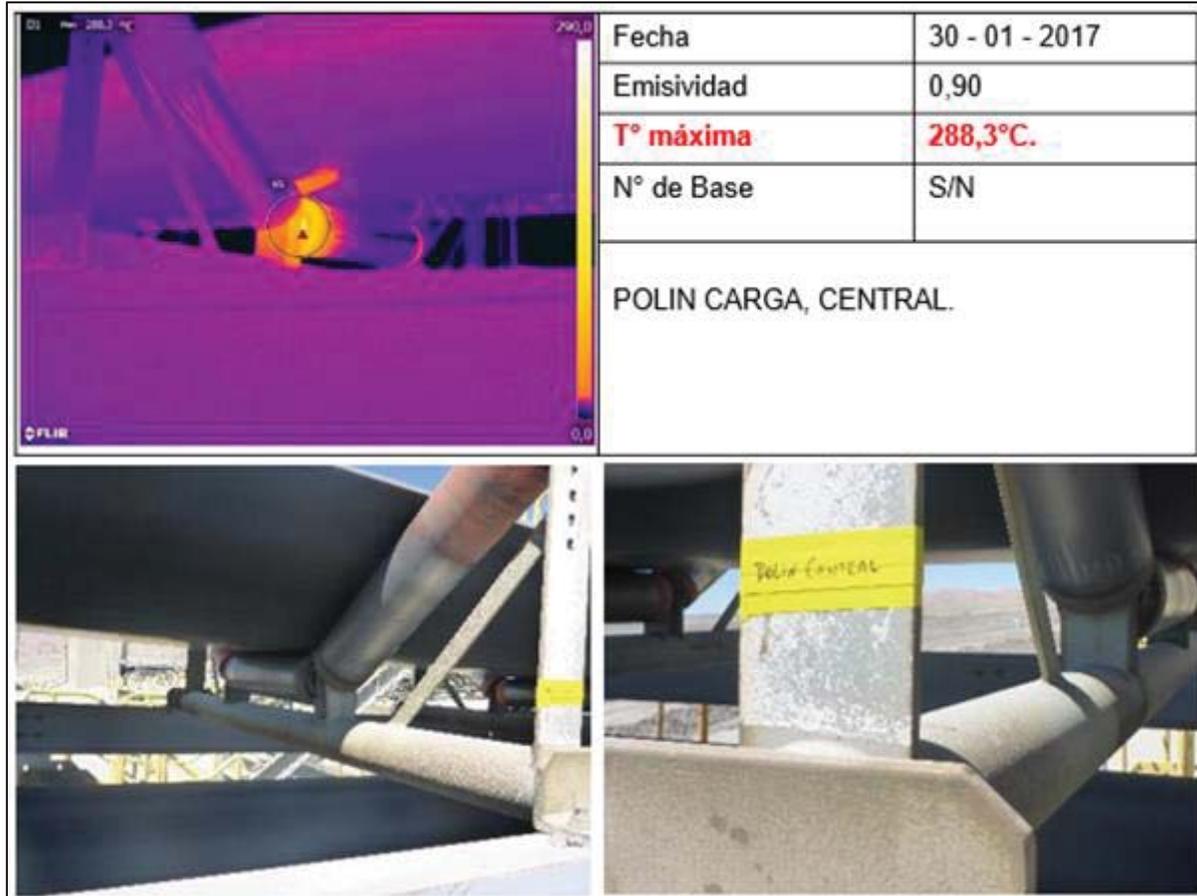
Las aplicaciones más frecuentes en Faena están en salas eléctricas, gabinetes, líneas eléctricas, transformadores, intercambiadores de calor de sistemas hidráulicos en chancadores, intercambiadores de calor en camiones de extracción (CAEX), componentes mecánicos, como reductores, descansos en poleas sin acceso, polines de cintas overland, etc., como se indica hay una infinidad de aplicaciones en Faena, a continuación se presentan dos ejemplos (Fig.6 y Fig. 7) los cuales se asocian a componentes eléctricos y mecánicos.

La Figura 6 muestra una imagen termográfica con temperatura más elevada en una de las fases del contactor ubicada en Sala Eléctrica del Chancador Terciario.



Anexos Figura 6 Imagen termográfica contactor eléctrico.

La Figura 7 muestra imagen termográfica de cinta Overland, se destaca temperatura máxima registrada de 288,3 °C situación crítica que debe ser asistida a la brevedad, ya que en caso de detención de cinta está en peligro de autocombustión.



Anexos Figura 7 Imagen termográfica estación de polines cinta Overland.

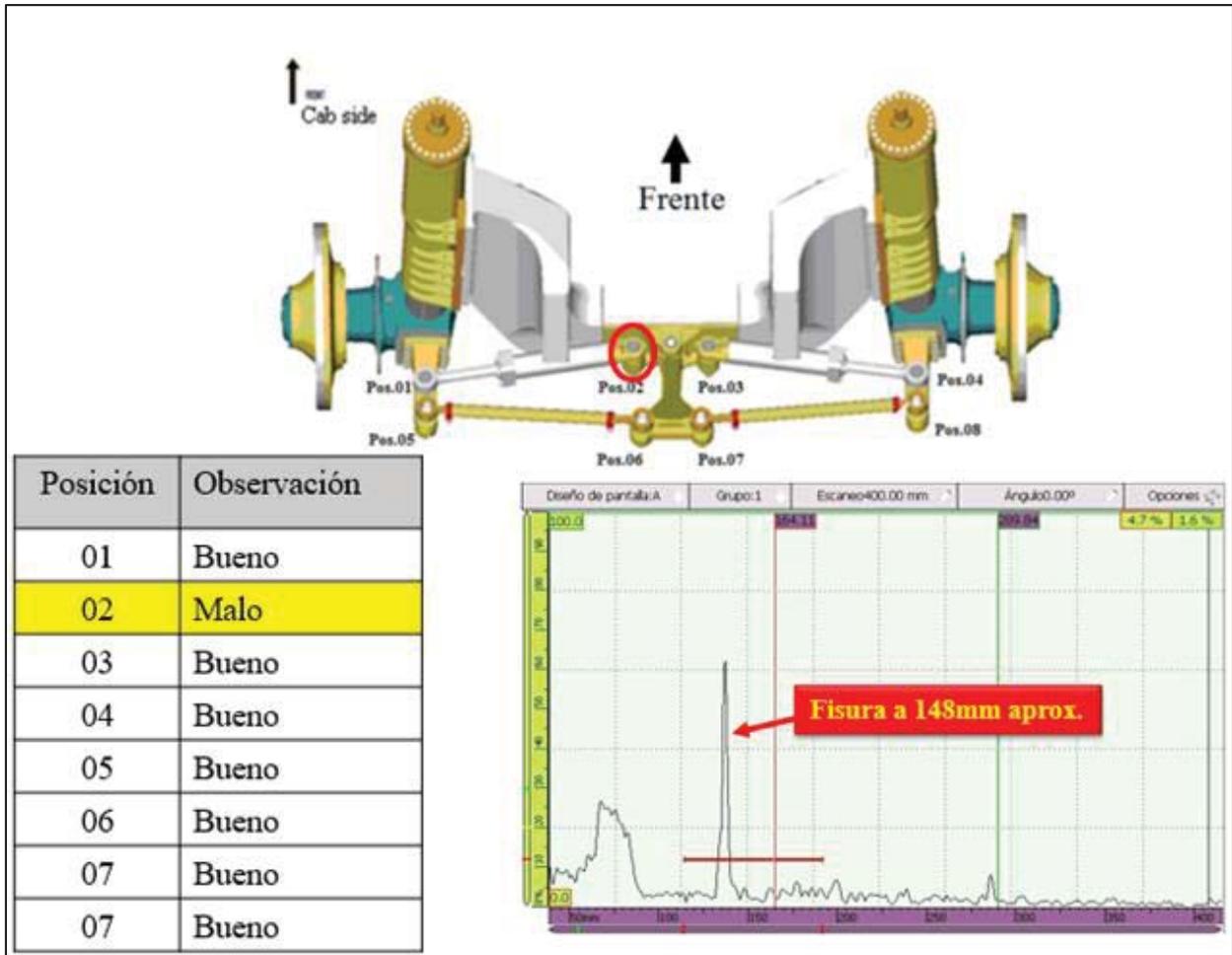
## Examen Ultrasónico

El ultra sonido está definido por ondas sonoras con frecuencias superiores a 20.000 Hz, estas son inaudibles, para el ensayo de materiales por ultrasonido es utilizada frecuentemente una banda de frecuencia entre 0.5 MHz y 15 MHz, este ensayo está basado en la propagación, reflexión y refracción de vibraciones mecánicas con frecuencias antes mencionadas, todo esto aplicado a la medición de continuidad del material ensayado, una discontinuidad mecánica nos permite encontrar una variación en el diseño de la pieza ensayada o una falla, esta para ser calificada como tal debe cumplir con la suficiente pérdida de energía.

Esta técnica inicialmente fue llamada “Ensayo de Percusión”, es considerado el ensayo no destructivo más antiguo para encontrar discontinuidades en piezas utilizando ondas acústicas. Este ensayo era efectuado a través de un martillo, el cual a través de un golpe comparaba la intensidad sonora de la pieza sin discontinuidades con otra pieza de producción idéntica. En el año 1929 se realizaron las primeras experiencias las ondas ultrasónicas, lo que posibilitó su uso en el ensayo de materiales. El rayo ultrasónico era transmitido de un lado de la cara de la pieza y recibida al otro lado, lo que se llama “técnica de transparencia”. En el año 1942, se desarrolló el “tren de ondas” en pulsos (Firestones) con la fabricación de transductores y equipos de ultrasonido, utilizado para ubicar submarinos (sonar). A partir del año 1945 este tipo de ensayo se constituyó en una gran y poderosa herramienta para el control de la calidad de los materiales y componentes de manera no destructiva.

Un ejemplo de aplicación de esta tecnología en la detección de fallas está en los controles periódicos que se realizan a los sistemas de dirección de los camiones de extracción (Ver Figura 8), existen pernos que unen las barras de dirección llamados Ball Stud (perno de bolas), los cuales se fisuran por solicitudes mecánicas constantes.

En Figura 8 muestra un tren delantero de un camión de extracción, se identifica las posiciones y en estas se encuentran los pasadores cónicos los cuales son monitoreados con ultrasonido cada 60 días, esta labor es muy importante, ya que un quiebre de esta componente puede desencadenar un evento catastrófico que ponga en juego a las personas y a la propiedad.

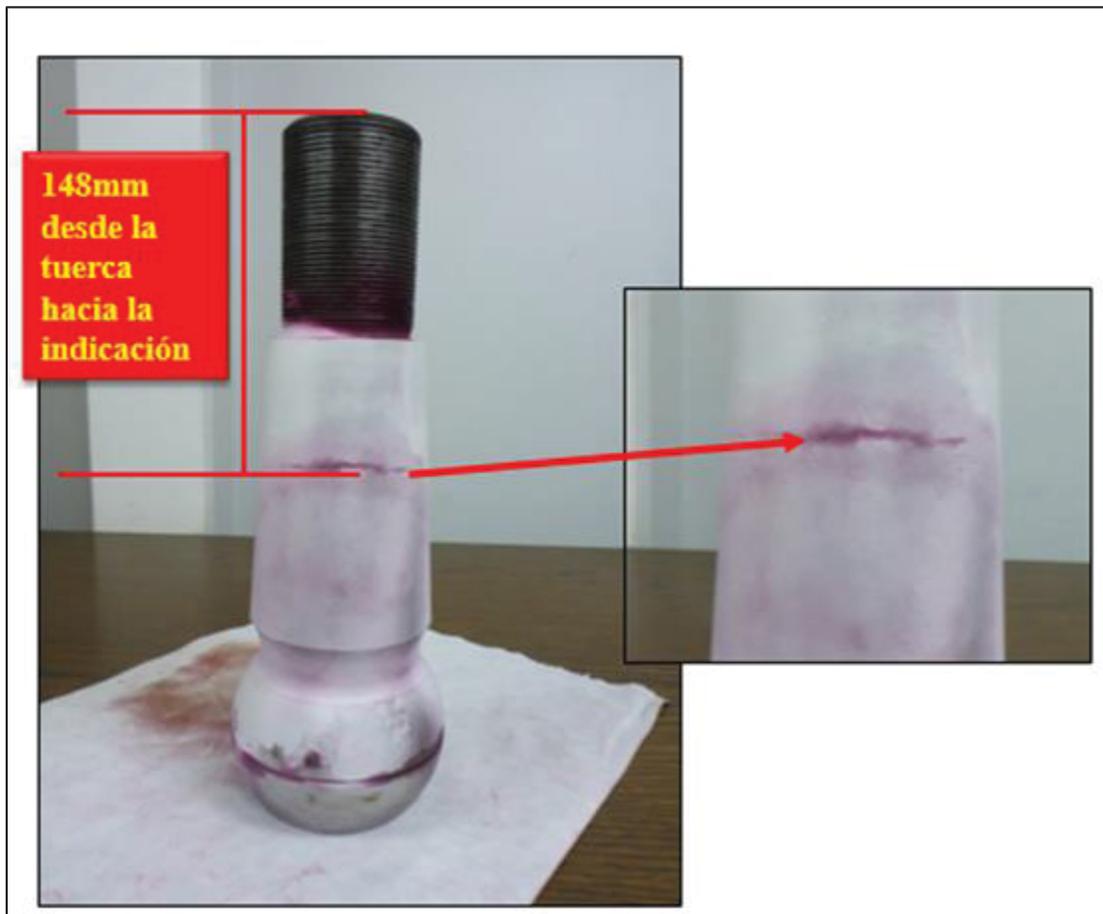


Anexos Figura 8 Inspección por Ultrasonido Ball Stud Camión de Extracción.

### Inspección por líquidos penetrantes

Es un método específico en la detección de discontinuidades que se encuentran abiertas en la superficie de materiales no porosos. Las discontinuidades típicas son: Las grietas, laminaciones, traslapes en frío y porosidades.

Como ejemplo de la aplicación tenemos la presentada en la Figura 9, en el cual es extraído el Ball Stud que tiene la indicación encontrada por el equipo ultrasónico y es confirmado el diagnóstico con la aplicación de tintas penetrantes en donde se evidencia la fisura según se muestra en Figura 9:



Anexos Figura 9 Aplicación de Líquidos Penetrantes a Ball Stud Camión de Extracción.

Primeramente y mediante procedimiento, el líquido penetrante es aplicado en la superficie de prueba a inspeccionar, este líquido penetra en las discontinuidades del material y el exceso de este es eliminado a la superficie de contraste delatando la discontinuidad en el material.

#### Inspección por Partículas magnéticas

Todas las indicaciones deben ser evaluadas de acuerdo a criterios de aceptación. Como se señala las discontinuidades en la superficie deben ser indicadas por el sangrado del penetrante, se debe tener en cuenta que irregularidades en la superficie debido a maquinado u otras condiciones superficiales pueden llevar a error con falsas indicaciones. Áreas grandes de pigmentación pueden ocultar indicaciones de discontinuidad inaceptables, ante la duda el área debe ser limpiada y reexaminada.

#### Análisis estático y dinámico de motores eléctricos

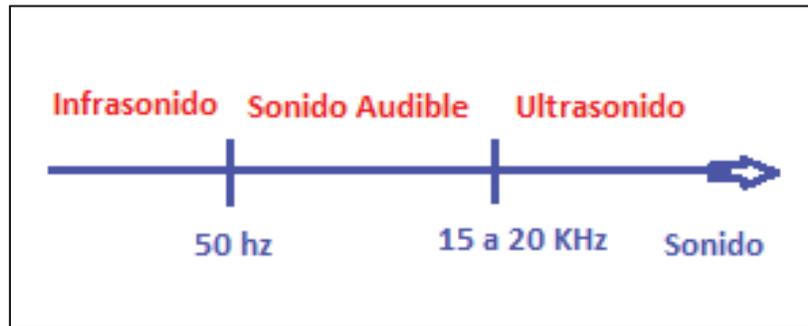
Las pruebas dinámicas en motores proveen información acerca de las condiciones de la energía, el motor, la carga, y la interacción entre ellas. Las pruebas estáticas miden la integridad del sistema de aislamiento del motor.

Ambas pruebas representan una imagen de salud del motor y suministran la información requerida para diagnosticar y predecir eminentes fallas. Con estas pruebas se mejora el control de calidad y la capacidad del diagnóstico de fallas.

Para la realizar Pruebas en línea o dinámicas utilizamos el Explorer 4000, y para realizar pruebas fuera de línea o estáticas utilizamos el AWA (Advance Winding Analyzer).

### Ultrasonido Pasivo

El sonido es la sensación que se produce cuando las vibraciones de las ondas viajan por el aire u otro medio alcanzando el órgano de la audición. Como se muestra en dibujo, el ultrasonido está por sobre los 20 KHz, en estas frecuencias el sonido no es audible por el oído humano. La técnica de ultrasonido es complementaria tanto para el análisis de vibraciones como para el análisis térmico siendo en ambos casos la primera instancia de evidencia de la degradación.



Anexos Figura 10 Clasificación de las frecuencias del sonido.

El ultrasonido pasivo puede delatar fricción (Rodamiento, engranes, acoplamientos, poleas y bandas transportadoras), turbulencia (Fugas, internas o externas) y electricidad (Corona y arco).

Anexo 13 Resultados del Análisis Incremental: Proyecto On line: Bombas PLS y Booster.

Unit		SCLM El Abra		Standard 24%		Date		5/12/2013		
Project Title		Sistema Online Monitorio Continuo Bombas PLS y Ascotan		12%		Internal Rate of Return		41.0%		
Location		Chile		10%		Average Cash Flow ROI		101.7%		
				MRR Finance Rate		Payback Period (Years)		2.0		
				MRR Finance Rate		Present Value Ratio @ 12%		0.54		
				Analysis Starting Year		2014 (Year One - indicates the initial year discounting begins)				
				Budget Reference Numbers						
				Net Present Value						
				Base Rate of 12%						
				@ 15%						
				Incremental Analysis Results						
				Calculate MRR (Optional)						
<b>IF This Investment is Made (As Is Case)</b>										
1. Revenue/Savings	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2. Operating Costs	0	27.4	0	28.3	0	30.0	30.9	0	0	0
3. Selling and General Admin	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4. Depreciation - Book	0	54	0	54	0	54	54	0	0	0
5. Earnings before Taxes	0	(20)	(62)	(63)	(61)	(64)	(65)	0	0	0
6. Income Taxes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7. Net Earnings	0	(20)	(62)	(63)	(61)	(64)	(65)	0	0	0
8. Deferred Taxes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9. Working Capital Change - Source/(Use)	0	(7.9)	(8.5)	(8.2)	(9.3)	(9.8)	(10.5)	0	0	0
10. Fixed Capital Investment (Expenditure)	(270)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11. Salvage/Opportunity Cost-Credit/(Cost)	(270)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12. Total Investment	(270)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13. Total Cumulative Investment	(270)	(270)	(270)	(270)	(270)	(270)	(270)	(270)	(270)	(270)
14. Accumulated Book Depreciation	0	54	108	162	216	270	324	378	432	486
15. Total Net Investment	(270)	(216)	(162)	(108)	(54)	0	0	0	0	0
16. Average Net Investment	(270)	(243)	(189)	(135)	(81)	(27)	(11)	0	0	0
17. Net Cash Flow	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
18. Total Cash Flow	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
19. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
20. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
21. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
22. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
23. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
24. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
25. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
26. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
27. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
28. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
29. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
30. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
31. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
32. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
33. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
34. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
35. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
36. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
37. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
38. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
39. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
40. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
41. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
42. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
43. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
44. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
45. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
46. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
47. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
48. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
49. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
50. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
51. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
52. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
53. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
54. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
55. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
56. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
57. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
58. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
59. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
60. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
61. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
62. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
63. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
64. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
65. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
66. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
67. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
68. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
69. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
70. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
71. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
72. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
73. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
74. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
75. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
76. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
77. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
78. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
79. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
80. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
81. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
82. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
83. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
84. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
85. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
86. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
87. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
88. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
89. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
90. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
91. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
92. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
93. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
94. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
95. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
96. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
97. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
98. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
99. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
100. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
101. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
102. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
103. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
104. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
105. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
106. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
107. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
108. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
109. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
110. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
111. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
112. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
113. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
114. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
115. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
116. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
117. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
118. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
119. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
120. Total	(270)	(8)	(9)	(9)	(10)	(10)	(11)	(11)	(11)	(11)
121. Total	(270)	(8)	(9)	(9)						

Anexo 14 PIB Chile, Anuario Cochilco, 2016

**TABLA / TABLE 26.2**  
**PRODUCTO INTERNO BRUTO POR CLASE DE ACTIVIDAD ECONÓMICA, A PRECIOS CORRIENTES, REFERENCIA 2013<sup>(1)</sup>**  
Gross Domestic Product by Economic Activity, at Current Prices, Reference 2013<sup>(1)</sup>

**PARTICIPACIÓN DE CADA SECTOR EN EL PRODUCTO INTERNO BRUTO A PRECIOS CORRIENTES**

Share of GDP at Current Prices

%

ACTIVIDAD ECONÓMICA / Economic Activity	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Agropecuaria-silvícola / Agriculture and Forestry	3.0	3.2	3.2	3.1	3.1	2.9	2.9	3.0	3.3	3.2
Pesca / Fishery	0.7	0.5	0.5	0.5	0.6	0.4	0.5	0.9	0.6	0.7
Minería / Mining	20.5	14.0	13.0	15.9	14.8	12.5	11.0	10.9	8.8	8.1
Minería del cobre / Copper Mining	19.5	12.8	12.0	14.7	13.3	11.1	9.8	9.9	8.0	7.3
Otras actividades mineras / Other Mining	1.0	1.2	1.0	1.2	1.6	1.4	1.2	1.0	0.8	0.8
Industria Manufacturera / Manufacturing Industry	12.0	11.1	11.2	10.8	11.0	10.8	11.1	11.2	11.4	11.0
Electricidad, gas y agua / Electricity, Gas and Water	2.1	2.8	3.3	3.0	3.0	2.7	2.6	2.5	2.8	3.0
Construcción / Construction	5.3	6.3	6.9	6.0	5.9	6.5	6.5	6.3	6.6	6.6
Comercio, restaurantes y hoteles / Wholesale and Retail Trade, Hotels and Restaurants	9.0	10.3	9.2	9.7	9.9	10.8	10.9	11.2	10.9	11.2
Transporte / Transport	5.3	5.5	5.0	5.0	4.6	4.8	4.7	4.7	5.1	5.2
Comunicaciones / Communications	2.9	3.3	3.3	3.3	3.2	3.2	3.1	3.0	3.0	2.9
Servicios financieros y empresariales / Financial and Business Services	12.6	14.1	15.1	13.9	14.7	15.3	15.7	15.1	15.3	15.2
Servicios de vivienda / Dwelling Services	6.3	6.8	6.5	6.4	6.6	6.8	7.1	7.2	7.5	7.7
Servicios personales / Personal Services <sup>(2)</sup>	8.8	9.6	10.4	10.1	10.2	10.5	10.9	11.0	11.2	11.8
Administración pública / Public Administration	3.7	4.1	4.5	4.3	4.2	4.3	4.5	4.6	4.7	4.8
Impuesto al valor agregado / Value Added Tax	7.1	7.9	7.4	7.3	7.7	8.0	8.0	8.0	8.2	8.2
Derechos de Importación / Import Duties	0.8	0.6	0.4	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4
<b>PRODUCTO INTERNO BRUTO / Gross Domestic Product</b>	<b>100.0</b>									

Anexo Tabla 18 Participación del PIB por sectores

Anexo 15 Producción Minera en Chile x Regiones.

**TABLA / TABLE 56.1**  
**PRODUCCIÓN MINERA - Chile**  
Mining Production - Chile  
**METÁLICA, NO METÁLICA Y COMBUSTIBLES**  
Metals, Industrial Minerals and Fuels

Región	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015 <sup>(8)</sup>	2016 <sup>(8)</sup>
<b>I. MINERÍA METÁLICA / Metal Production</b>										
1 Tarapaca	647.890,0	671.159,0	730.739,0	694.866,0	595.891,0	431.054,0	567.881,0	607.983,0	579.596,0	614.859,0
2 Antofagasta	3.184.384,0	2.905.692,0	2.940.184,0	2.942.178,0	2.721.201,0	2.839.958,0	3.048.303,0	3.048.022,0	3.108.388,0	2.947.929,0
3 Atacama	460.523,0	453.310,0	428.927,0	418.259,0	427.500,0	389.329,0	420.992,0	405.102,0	446.388,0	491.785,0
4 Coquimbo	341.669,0	398.056,0	385.243,0	488.787,0	570.438,0	576.145,0	577.495,0	546.887,0	507.256,0	487.704,0
5 Valparaíso	317.942,0	304.162,0	289.266,0	267.891,0	322.685,0	344.174,0	329.422,0	304.101,0	285.323,0	274.400,0
6 O'Higgins	420.016,0	397.208,0	421.919,0	426.892,0	420.220,0	440.814,0	470.596,0	473.286,0	487.153,0	499.752,0
7 Maule								138,0		
8 Bío Bío										
9 Araucanía										
10 Los Lagos								857,0		654,0
11 Aysén										
12 Magallanes y La Antártica Chilena										
13 Metropolitana	229.305,0	233.689,0	235.490,0	217.266,0	198.119,0	362.707,0	415.784,0	404.492,0	401.715,0	307.203,0
14 Arica y Parícuta			76,0	509,0	1.141,0	529,0	647,0	2.263,0	5.914,0	2.090,0
<b>Totales</b>	<b>5.601.729,0</b>	<b>5.363.676,0</b>	<b>5.411.844,0</b>	<b>5.456.648,0</b>	<b>5.257.195,0</b>	<b>5.484.710,0</b>	<b>5.851.120,0</b>	<b>5.793.131,0</b>	<b>5.832.551,0</b>	<b>5.626.376,0</b>
	(1) Cifras de producción de cobre elaboradas por SERNAGEOMIN. Estas difieren con las de la Comisión Chilena del Cobre en la parte de compras a terceros no procesadas por ENAMI. /									

Anexo Tabla 19 Producción Minera en Chile por Regiones