



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA, PARA EL  
MONITOREO DE NIVELES DE AGUA EN POZOS DE PRODUCCIÓN, EN LA  
EMPRESA MINERA ENTRE MARES DE GUATEMALA, S.A.**

**Ruddy Amílkar Ramírez Tenas**

Asesorado por el Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

Guatemala, octubre de 2012



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA, PARA EL  
MONITOREO DE NIVELES DE AGUA EN POZOS DE PRODUCCIÓN, EN LA  
EMPRESA MINERA ENTRE MARES DE GUATEMALA, S.A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**RUDDY AMÍLKAR RAMÍREZ TENAS**

ASESORADO POR EL ING. CARLOS HUMBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, OCTUBRE 2012



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Rolando González Cojoc
EXAMINADOR	Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
EXAMINADORA	Inga. Nora Leonor García Tobar
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas



## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA, PARA EL MONITOREO DE NIVELES DE AGUA EN POZOS DE PRODUCCIÓN, EN LA EMPRESA MINERA ENTRE MARES DE GUATEMALA, S.A.**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Mecánica Industrial, con fecha agosto de 2011.



Ruddy Amílkar Ramírez Tenas



Guatemala, 19 de abril de 2012

Ing. César Ernesto Urquizú Rodas  
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director:

De manera atenta me dirijo a usted, deseándole éxitos en sus labores diarias.

El motivo de la presente es para presentarle el trabajo de graduación titulado "PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA, PARA EL MONITOREO DE NIVELES DE AGUA EN POZOS DE PRODUCCIÓN, EN LA EMPRESA MINERA ENTRE MARES DE GUATEMALA, S.A." elaborado por el estudiante Ruddy Amílkar Ramírez Tenas.

En mi calidad de asesor, considero que el trabajo presentado por el estudiante Ruddy Ramírez es un aporte importante para el reforzamiento del contenido bibliográfico en el tema de sistemas de telemetría a pozos de producción y en el tema de la aplicación de análisis de costos e implementación.

En base a lo anterior, solicito a usted se sirva dar el visto bueno para que este trabajo de graduación sea presentado ante las máximas autoridades de la Facultad, a fin de que emitan el dictamen correspondiente y si así lo consideran, extiendan el título correspondiente al estudiante mencionado.

Agradeciendo su atención a la presente, me es grato suscribirme.

Atentamente



Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL  
Colegiado 3071

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez  
Colegiado No. 3071



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF.REV.EMI.160.012

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA, PARA EL MONITOREO DE NIVELES DE AGUA EN POZOS DE PRODUCCIÓN, EN LA EMPRESA MINERA ENTRE MARES DE GUATEMALA, S.A.**, presentado por el estudiante universitario **Ruddy Amílkar Ramírez Tenas**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Aldo Estuardo García Morales  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Ing. Aldo Estuardo García Morales  
Colegiado No. 2025

Guatemala, agosto de 2012.

/mgp



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF.DIR.EMI.206.012

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA, PARA EL MONITOREO DE NIVELES DE AGUA EN POZOS DE PRODUCCIÓN, EN LA EMPRESA MINERA ENTRE MARES DE GUATEMALA, S.A.**, presentado por el estudiante universitario **Ruddy Amílkar Ramírez Tenas**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. César Ernesto Urquiza Rodas  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, octubre de 2012.

/mgp



Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 533.2012

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE TELEMETRÍA, PARA EL MONITOREO DE NIVELES DE AGUA EN POZOS DE PRODUCCIÓN, EN LA EMPRESA MINERA ENTRE MARES DE GUATEMALA, S.A.**, presentado por el estudiante universitario **Ruddy Amilkar Ramírez Tenas**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 25 de octubre de 2012.

/gdech





## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por ser mi guía y derramar infinitas bendiciones en mi familia y en mí persona.
- Mis padres** Rudy Ramírez y Matilde de Ramírez, por brindarme su apoyo, su confianza y comprensión. Así mismo agradezco el esfuerzo hecho por forjarme como persona y profesional.
- Mis hermanas** Yaritza y Lucylena, por estar siempre a mi lado, apoyando mis decisiones y siendo mi inspiración para seguir adelante.
- Mi hijo** Christopher André Ramírez Salazar por ser la fuerza que me impulsa a seguir adelante, te has convertido en mi mayor felicidad y eres el motor de mi vida.
- Yazminiha Salazar** Te has convertido en fuente de inspiración y superación. La razón de ser mejor persona cada día. Gracias por apoyarme incondicionalmente.
- Mis amigos** Por compartir una etapa tan inolvidable al estudiar en la Facultad de Ingeniería.
- Mi asesor** Ing. Carlos Pérez, por la confianza que ha depositado en mi persona y por la amistad que me ha brindado.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por permitirme culminar con mis estudios y por estar en la actualidad en donde me encuentro.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser el recinto de estudios el cual hizo de mi un profesional.
<b>Ing. Ramiro Birhuet</b>	Por permitirme de manera muy atenta el realizar mi trabajo de graduación en donde usted labora.
<b>Entre Mares de Guatemala, S.A.</b>	Al personal de la empresa por el apoyo brindado durante el desarrollo del presente trabajo.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1. ANTECEDENTES .....	1
1.1. La empresa.....	1
1.1.1. Descripción general .....	1
1.1.2. Principios de la empresa.....	3
1.1.3. Misión y visión de la empresa .....	5
1.1.4. Organigrama de la organización.....	5
1.2. Agua subterránea.....	9
1.3. Captaciones de agua subterránea.....	9
1.3.1. Tipos de captaciones.....	10
1.3.1.1. Galerías .....	10
1.3.1.2. Zanjas drenantes.....	11
1.3.1.3. Pozos excavados.....	11
1.3.1.4. Pozos con drenes radiales.....	13
1.3.2. Sondeos.....	13
1.3.3. Sistemas de perforación.....	14
1.3.3.1. Percusión.....	15
1.3.3.2. Rotación.....	16
1.3.3.3. Rotopercusión.....	18
1.3.4. Criterios de ubicación de una captación.....	20

1.4.	Sistemas de bombeo.....	21
1.4.1.	Tipos de bombas.....	21
1.4.1.1.	Centrífugas.....	21
1.4.1.2.	Sumergibles .....	23
1.4.1.3.	Electro sumergibles.....	25
1.4.1.4.	Neumáticas .....	33
1.4.1.5.	Dosificadoras.....	34
1.5.	Piezómetros. ....	35
1.5.1.	Aspectos prácticos de las medidas piezométricas ...	36
1.5.2.	Niveles de agua.....	36
1.5.2.1.	Nivel estático .....	36
1.5.2.2.	Nivel dinámico .....	36
2.	SITUACIÓN ACTUAL .....	37
2.1.	Diseño de pozos.....	37
2.1.1.	Infraestructura de entubado y cementación .....	37
2.2.	Medición de presión y temperatura preinstalación de bomba en pozo.....	40
2.3.	Sistema de bombeo utilizado .....	41
2.3.1.	Bomba electro sumergible Wood Group.....	41
2.3.1.1.	Generalidades de las bombas electro sumergibles Wood Group.....	41
2.3.1.2.	Componentes de bomba electro sumergible Wood Group.....	44
2.3.1.3.	Tubería empleada para la descarga de bomba electro sumergible .....	46
2.3.1.4.	Componentes para la descarga en la cabeza del pozo .....	46

	2.3.1.4.1.	Diseño de cabeza de pozo .....	47
	2.3.1.4.2.	Manómetros.....	49
	2.3.1.4.3.	Medidor de flujo de descarga .....	49
	2.3.1.4.4.	Válvulas .....	50
2.4.		Diagrama de tubería de pozo .....	51
	2.4.1.	Tubería de descarga.....	52
	2.4.2.	Tubería de reinyección .....	53
2.5.		Sistema de inyección de antincrustante y medición de niveles de agua.....	53
	2.5.1.	Descripción de sistema de inyección de antincrustante .....	53
		2.5.1.1. Bomba dosificadora .....	54
		2.5.1.2. Químico antincrustante .....	55
	2.5.2.	Descripción de sistema de medición de niveles de agua.....	55
		2.5.2.1. Transductor de presión .....	56
		2.5.2.2. Data logger .....	57
2.6.		Diagrama de proceso de instalación de bomba.....	57
2.7.		Identificación de deficiencias en sistema actual .....	59
3.		PROPUESTA PARA EL NUEVO DISEÑO.....	61
	3.1.	Presentación de la propuesta .....	61
	3.2.	Diseño del plan de telemetría para obtención de niveles de agua.....	62
		3.2.1. Instrumentación de equipos de medición y almacenamiento .....	62
		3.2.2. Tecnología de transmisión de datos .....	63

3.2.3.	Equipo de comunicación a utilizar en sistema telemétrico.....	63
3.2.4.	Entorno receptor de información .....	64
3.2.5.	Tipos de datos a transmitir .....	65
3.3.	Plano de distribución para la implementación de telemetría en pozos.....	65
3.4.	Accesorios propuestos .....	67
3.4.1.	Routers.....	67
3.4.2.	Antena omnidireccional .....	68
3.4.3.	Dispositivo de conexión a red.....	69
3.4.4.	Software de monitoreo .....	70
3.5.	Análisis financiero para la implementación del sistema de telemetría .....	71
3.5.1.	Valor presente neto .....	72
3.5.2.	Costo/Beneficio .....	79
3.5.3.	Retorno de la inversión.....	81
4.	IMPLEMENTACIÓN DEL NUEVO DISEÑO .....	83
4.1.	Metodología para implementar el diseño del sistema telemétrico.....	83
4.1.1.	Especificación de equipo para la transmisión de datos.....	83
4.1.2.	Distribución de repetidoras para enlace de red .....	85
4.1.3.	Suministros de equipo eléctrico para equipos .....	86
4.1.4.	Diagrama de instrumentación en pozo .....	86
4.2.	Beneficios que se obtendrán implementando un sistema telemétrico.....	87
4.3.	Distribución de personal para la implementación del sistema de telemetría .....	88

4.4.	Conocimientos generales que debe poseer el personal ejecutor .....	89
4.4.1.	Área técnica .....	89
4.4.2.	Área teórica .....	89
4.4.3.	Área de seguridad e higiene industrial.....	90
4.5.	Cronograma para la implementación del sistema telemétrico ...	90
5.	SEGUIMIENTO .....	93
5.1.	Indicadores de efectividad del sistema telemétrico.....	93
5.2.	Estándares para la operación de bombeo electro sumergible ...	93
5.2.1.	Niveles de agua .....	94
5.2.2.	Caudales de descarga .....	95
5.3.	Control en la información obtenida para realizar mantenimiento. ....	95
6.	MEDIO AMBIENTE .....	97
6.1.	Análisis de PH y conductividad del agua .....	97
6.2.	Identificación de metales pesados en agua descargada. ....	98
6.3.	Plan de manejo de agua descargada .....	98
6.4.	Análisis de agua antes del ingreso a planta de tratamiento .....	98
6.5.	Descripción de proceso de tratamiento de agua.....	100
6.6.	Análisis de agua después del proceso de tratado .....	101
	CONCLUSIONES .....	105
	RECOMENDACIONES .....	107
	BIBLIOGRAFÍA.....	109
	ANEXOS .....	111



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Mapa de localización de Entre Mares de Guatemala, S.A .....	2
2.	Seis pilares de Goldcorp Inc.....	4
3.	Organigrama de Entre Mares de Guatemala, S.A. ....	8
4.	Partes generales de perforadora de rotoperCUSión .....	19
5.	Diseño bomba centrífuga .....	23
6.	Diseño bomba sumergible .....	25
7.	Instalación típica de una bomba electro sumergible.....	27
8.	Bomba centrífuga multietapas y sus partes.....	28
9.	Separador de gas rotativo .....	29
10.	Sección sellante .....	30
11.	Conjunto estator y rotores .....	31
12.	Sensor de fondo .....	32
13.	Cable de potencia trifásico .....	33
14.	Funcionamiento de bomba neumática.....	34
15.	Bomba dosificadora.....	35
16.	Diseño de pozo .....	39
17.	Interpretación de prueba sonda Kuster .....	40
18.	Bombeo electro sumergible .....	43
19.	Tubería de descarga de bomba a cabeza de pozo .....	47
20.	Diseño de cabeza de pozo de producción.....	48
21.	Manómetros empleados en la instalación de pozos .....	49
22.	Flujómetro electromagnético empleados en la instalación de pozos...50	
23.	Diagrama de tubería de pozo de producción.....	52

24.	Sistema de dosificación de químico .....	55
25.	Transductor de presión .....	56
26.	Data logger .....	57
27.	Diagrama de proceso de instalación de bomba .....	58
28.	Diagrama de configuración del sistema Veriteq.....	64
29.	Plano de distribución para la implementación del sistema telemétrico .....	66
30.	Router o enrutador .....	68
31.	Dispositivo vNet PoE de Veriteq .....	69
32.	Entorno de software Viewlinc.....	71
33.	Flujo de efectivo para la implementación del sistema telemétrico .....	76
34.	Diagrama de instrumentación en pozo.....	87
35.	Cronograma de actividades .....	91
36.	Diagrama de flujo de interpretación de datos.....	96
37.	Planta de tratamiento de agua.....	101

## TABLAS

I.	Componentes superficiales y de subsuelo del BES .....	44
II.	Detalle de egresos por equipo para el sistema de Telemetría .....	73
III.	Detalle de egresos por instalación para el sistema de Telemetría .....	74
IV.	Detalle de egresos por mantenimiento al sistema de Telemetría .....	75
V.	Detalle de ingresos del sistema de Telemetría .....	75
VI.	Resumen de egresos e ingresos al implementar el sistema de Telemetría.....	76
VII.	Flujo de efectivo para implementación del sistema telemétrico .....	77
VIII.	Análisis de retorno de la inversión .....	81
IX.	Especificaciones técnicas vNet PoE .....	84
X.	Especificaciones técnicas Enrutador.....	85

XI.	Resultados de análisis de agua antes de ser tratada .....	99
XII.	Resultados obtenidos del agua después de proceso de tratado .....	102



## GLOSARIO

<b>Aceite dieléctrico</b>	Es un tipo de aceite el cual cuenta con la característica de ser mal conductor de electricidad, por lo que puede ser utilizado como aislante eléctrico.
<b>Álabes</b>	Un álabe es la paleta curva de máquina de fluido rotodinámica. Los álabes desvían el flujo de corriente, bien para la transformación entre energía cinética y energía de presión por el principio de Bernoulli, o bien para intercambiar cantidad de movimiento del fluido con un momento de fuerza en el eje.
<b>BES</b>	Es la abreviatura de Bomba Electro Sumergible.
<b>Colmatación</b>	Se denomina comúnmente colmatación a la acumulación de sedimentos.
<b>Detritus</b>	Es el llamado material suelto o sedimentos. Son los productos de la erosión, el transporte, etc. Un material detrítico típico y muy conocido, son las arcillas producto de la meteorización química de los feldespatos.

<b>Efecto Venturi</b>	Consiste en que un fluido en movimiento dentro de un conducto cerrado disminuye su presión al aumentar la velocidad después de pasar por una zona de sección menor.
<b>Estiaje</b>	Es el nivel de caudal mínimo que alcanza un río o laguna en algunas épocas del año, debido principalmente a la sequía.
<b>Multietapa</b>	Es aquella que tiene varios impulsores o turbinas montados en un eje, los cuales funcionan en serie para generar presión suficiente para levantar una determinada columna de agua.
<b>Señal analógica</b>	Es aquella en la que los valores de la tensión o voltaje varían constantemente en forma de corriente alterna, incrementando su valor con signo eléctrico positivo durante medio ciclo y disminuyéndolo a continuación con signo eléctrico negativo en el siguiente ciclo.
<b>Trifásico</b>	Es un sistema de producción, distribución y consumo de energía eléctrica formado por tres corrientes alternas monofásicas de igual frecuencia y amplitud.

## RESUMEN

Durante el proceso de la construcción de túneles se presenta la necesidad de la utilización de sistemas de bombeo los cuales apoyen a la extracción del agua subterránea ya sea dentro del túnel por medio de sumideros como en la superficie por medio de pozos.

En la extracción de agua por medio de pozos se debe realizar utilizando bombas electro sumergibles, las cuales operan con un voltaje de 480 Voltios trifásico. Dichas bombas para poder trabajar de manera eficiente, se requiere que operen con parámetros establecidos por el fabricante, los cuales se basan en el caudal en la tubería de descarga, así como una longitud de columna de agua sobre la bomba.

Por tal motivo, es necesaria la utilización de un sistema de medición, los cuales puedan permitir evaluar dichos parámetros, para estimar estos parámetros se hace uso de flujómetros electromagnéticos y de transductores de presión.

Así mismo se necesita que esta información se almacene de manera constante para conocer de manera periódica la información del caudal y presión. Por tal motivo se implementa el uso de *data logger* el cual se encarga de almacenar dicha información.

El diseño de un sistema de telemetría apoyará a que toda la información recabada mediante el *data logger* sea enviada a través de una red inalámbrica y ésta pueda ser vista en tiempo real y pueda almacenarse de manera más eficiente, garantizando que la información está siendo procesada y analizada constantemente y así conocer el comportamiento del pozo, basándose en el comportamiento del pozo facilitará el tomar decisión para efectuar mantenimiento o cambiar parámetros de operación, para asegurar su correcto funcionamiento.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Implementar mediante un estudio técnico un sistema de telemetría que apoye la obtención de medidas de niveles de agua en tiempo real de los pozos de producción en la empresa minera Entre Mares de Guatemala, S.A.

### **Específicos**

1. Desarrollar una referencia sobre un sistema de telemetría para el monitoreo de niveles de agua en pozos.
2. Establecer el uso de tecnologías de comunicación para la recepción de los datos el cual permita interpretar los niveles del agua y los caudales producidos durante el bombeo.
3. Eliminar el personal que actualmente recoge la información.
4. Procesar información diariamente de los niveles de agua para conocer el avance que se obtiene mediante el sistema de bombeo.
5. Establecer el entorno receptor de la información, así mismo hacer una selección del tipo de dato a analizar durante el procedimiento de monitoreo continuo.

6. Analizar las ventajas que se obtienen al implementar un sistema de telemetría para el monitoreo de niveles de agua y caudales en pozos.
7. Poseer información en tiempo real y mayor colección de datos para la generación de informes más precisos.

## INTRODUCCIÓN

Debido al impacto que genera la industria minera en Guatemala y a las diferentes características geológicas a las cuales se afrontan, es necesario para la extracción de minerales el tener un sistema de bombeo de agua subterránea.

Dichos sistemas están complementados por la construcción de pozos de producción de agua, los cuales se valen de varios métodos para la perforación.

Así mismo, es importante mencionar que durante la perforación intervienen aspectos como lo son el diseño del pozo y la instalación de sistemas de bombeo para la extracción del agua subterránea, al mismo tiempo se debe tener en consideración que cada bomba debe contar con un sistema de medición apropiado para poder conocer los niveles de agua, dichos niveles pueden ser estáticos y dinámicos.

Se brinda conocimiento sobre los elementos que intervienen en un sistema de bombeo y se hace mención de los componentes de manera detallada tanto en el proceso de construcción de un pozo como en el proceso de instalación de una bomba electro sumergible, dando a conocer todos los componentes que intervienen en el correcto funcionamiento del plan de bombeo. Dando énfasis a la importancia que radica monitorear el comportamiento de los niveles de agua.

Se hace una descripción de todos los elementos fundamentales, y cálculos correspondientes, para el diseño de un sistema de telemetría en la empresa minera Entre Mares de Guatemala, S.A.

Así mismo, buscando el beneficio para la empresa partiendo del estudio realizado, se presentarán los costos asociados a los cuales se incurre y corresponden a la propuesta para la implementación del sistema de telemetría.

Para este punto se tomarán en cuenta todos aquellos datos reales sobre los elementos a utilizar para la implementación de un sistema de telemetría en pozos, proporcionando una perspectiva de los costos de inversión y mantenimiento del mismo, contra los beneficios de tener información en tiempo real la cual se puede llegar a obtener luego de la implementación de dicha herramienta de transmisión de datos vía remota.

# **1. ANTECEDENTES**

## **1.1. La empresa**

Entre Mares de Guatemala, S.A., es una empresa minera la cual tiene como propósito la extracción de metales preciosos como el oro. Dicho proyecto tiene operación en el municipio de Asunción Mita departamento de Jutiapa.

### **1.1.1. Descripción general**

El proyecto minero Cerro Blanco, propiedad de Entre Mares de Guatemala, S.A., subsidiaria de Goldcorp Inc., es una propuesta para la construcción y operación de una moderna mina subterránea de oro y plata, planificada para un período de 16 años que incluye las etapas de exploración, construcción, operación y cierre técnico. La licencia de exploración fue concedida en 1997 y la de explotación en el 2007.

El Proyecto Cerro Blanco se ubica aproximadamente a 153 kilómetros al este de la ciudad de Guatemala, en la jurisdicción del municipio de Asunción Mita en el departamento de Jutiapa. Y tiene una extensión de 174 hectáreas.

Figura 1. **Mapa de localización de Entre Mares de Guatemala, S.A.**



Fuente: Google Maps <https://maps.google.com.gt/maps?hl=es>. Consulta: 17 septiembre 2011.

Como componente principal de este proyecto se cuenta con dos túneles exploratorios los cuales se nombraron como Túnel Norte y Túnel Sur, esto con el propósito de conocer con exactitud la dirección de las vetas y determinar la cantidad en gramos de oro por tonelada de tierra. Para realizar estos análisis se recurre a la utilización de perforación por diamantina para poder sacar núcleos de muestra, así mismo, al muestreo directo resultado del avance de los frentes por medio de voladoras.

Las características de estos túneles exploratorios en el Proyecto Cerro Blanco varían considerablemente a otros que se encuentran alrededor del mundo, esto es por la presencia de grandes volúmenes de agua caliente presente subterráneamente.

Para solventar el problema del agua caliente, se ha implementado sistemas de bombeo, los cuales se hacen directamente en el túnel por medio de sumideros y también se realiza bombeo de superficie, esto apoyado por pozos los cuales en su interior tienen bombas electro sumergibles para la extracción de agua y de esta manera bajar los niveles de agua.

Para ser tratada el agua subterránea se construyó una planta de tratamiento de agua por medio de cloro gas para bajar los niveles de arsénico presente en agua y de esta manera poder descargar el agua subterránea al río El Tempisque, dicho permiso de descarga se obtuvo el 31 de marzo de 2011. Este permiso otorgado por el MARN y el MEM es un gran avance para que el proyecto entre en producción, ya que permite las descargas de agua de la mina subterránea.

No obstante no sólo estas han sido las alternativas de solución a la problemática de alta temperatura en las rampas, también se hace uso de mangas de ventilación, las cuales están ubicadas en la entrada de los túneles y como complemento que permite la circulación de aire fresco dentro de los mismos se hace uso de chimeneas las cuales fueron perforadas en el 2011 para que pudiera seguirse avanzando en los frentes y lograr unir el Túnel Norte con el Túnel Sur.

### **1.1.2. Principios de la empresa**

Entre Mares de Guatemala, S.A., cuenta con principios, los cuales se fundamentan en la seguridad industrial y salud ocupacional. Es por tal razón, que se ha heredado de la subsidiaria Goldcorp Inc., una serie de políticas que explican el compromiso que cada uno de los integrantes de la organización deben de dar cumplimiento para que sea una mina segura. Por ese motivo se

han creado las reglas de oro de la seguridad. Dichas reglas de oro se enlistan a continuación:

- Conducción de vehículos y manejo defensivo
- Trabajos en altura
- Levantamiento de cargas
- Uso de equipo de protección personal
- Bloqueo y etiquetado de equipos
- Permisos de trabajo no rutinarios
- Presentarse en buenas condiciones físicas y mentales

De igual manera se ha implementado a nivel corporativo los seis pilares de Golcorp Inc., los cuales se basan en dar un balance entre las personas y los resultados los cuales aseguran la sustentabilidad de la organización y sus empleados.

Figura 2. **Seis pilares de Goldcorp Inc.**



Fuente: Goldcorp Inc. [www.goldcorp.com](http://www.goldcorp.com). Consulta: 17 septiembre 2011.

### **1.1.3. Misión y visión de la empresa**

Como empresa enfocada a la seguridad, el medio ambiente y la producción, su misión se plantea de la siguiente manera:

“Practicar una minería responsable y mantener el compromiso con el medio ambiente para una producción limpia, así mismo contribuir al desarrollo de las comunidades cercanas a la mina y mantener altos estándares de seguridad industrial para la protección de nuestro recurso más importante que son las personas y de esta manera asegurar una producción sin accidentes.”

Las estrategias a corto, mediano y largo plazo para Entre Mares de Guatemala, S.A., es reconocerse de manera nacional e internacional, por lo que su visión es:

“Ser una mina reconocida nacional e internacionalmente, por la extracción de oro y plata bajo condiciones de minado en alta temperatura. Así mismo caracterizarse por el uso de energía renovable para la operación, aprovechando el potencial geotérmico del lugar, asegurando una producción eficiente.”

### **1.1.4. Organigrama de la organización**

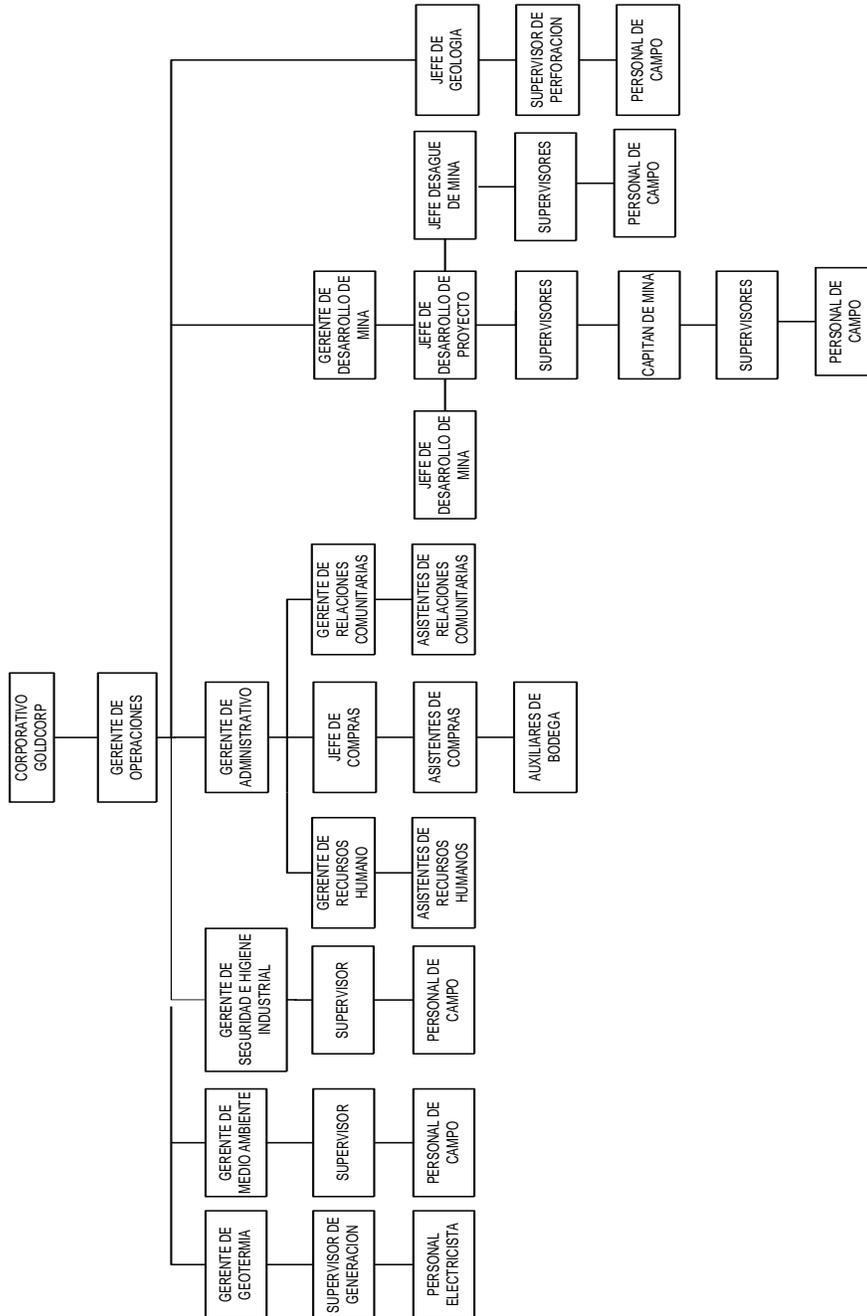
La estructura organizacional de la empresa se resume en doce departamentos, los cuales poseen un objetivo en común el cual es: trabajar como equipo y alcanzar las metas establecidas. De esta manera, el organigrama de la empresa se describe a continuación:

- Administración: encargada de controlar y registrar las operaciones contables y financieras de la empresa, sirviendo de apoyo a los demás departamentos.
- Compras: satisface las necesidades de materiales para la operación minera ya sea importándolos o realizando compras a proveedores nacionales, también lleva el control de bodega de suministros.
- Desarrollo de mina: su función radica en el diseño del túnel y avance de la mina subterránea realizando los procesos de perforación, carga de explosivo, voladura, saneo y fortificación.
- Desarrollo de proyecto: coordina equipos livianos y pesados. Asiste en las construcciones de carácter civiles dentro del proyecto, brindado apoyo en mina subterránea así como también en superficie.
- Drenaje de mina: es el encargado del sistema de bombeo en pozos de producción y la instalación de instrumentación que apoye la medición de niveles de agua.
- Geología: interpretan por medio de perforación la trayectoria de las vetas mineralizadas y con base en dichos resultados analizan las áreas a minar. Así mismo muestrean las rocas que salen de los frentes por medio de voladuras para conocer la las propiedades metalúrgicas que posee el material extraído.
- Geotermia: tiene a su cargo la perforación de pozos geotérmicos, como también la realización de las respectivas pruebas cálculo de su potencial

geotérmico de los pozos perforados, de igual manera es la encargada de la planificación de la planta de generación eléctrica.

- Medio ambiente: vela que durante la operación del proyecto no se vea afectada la flora y la fauna del lugar. Realiza control de los desechos sólidos de la mina y se involucra directamente con la operación de la planta de tratamiento de agua. Rinde reportes al Ministerio de Energía y Minas y Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
- Recursos humanos: se encarga de la selección y contratación del personal, el cual operará en la mina y vela porque las políticas de la empresa sean cumplidas.
- Relaciones comunitarias: su función es generar alianzas con COCODES y municipalidad, para coordinar ayudas en infraestructura y educación a comunidades aledañas.
- Seguridad e higiene industrial: inspecciona áreas de trabajo con el propósito de verificar que sean seguras para la realización de los trabajos planificados, también son los encargados de la entrega de los diferentes accesorios para el equipo de protección personal de los trabajadores. De igual manera brindan capacitaciones siempre enfocadas a la seguridad y salud ocupacional.
- Seguridad institucional: se encarga de la seguridad perimetral del proyecto, así como a la protección de las personas que laboran en el proyecto. Llevan el control de ingresos y egresos de las áreas de la mina.

Figura 3. Organigrama de Entre Mares de Guatemala, S.A.



Fuente: elaboración propia, realizada con base en estructura organizacional de la empresa.

## **1.2. Agua subterránea**

Las aguas subterráneas son las que se encuentran bajo la superficie del terreno o dentro de los poros o fracturas de las rocas, o dentro de las masas de regolito; en zonas húmedas a metros de profundidad, en desiertos a cientos de metros. Las aguas subterráneas proceden de la precipitación y la condensación, excepto otras como las aguas connatas o fósiles (sedimentarias) y las juveniles (magmáticas). Las aguas juveniles o magmáticas se han formado en profundidad sin haber estado antes en superficie. Estas representan el residuo de la consolidación de los magmas eruptivos próximos a la superficie, cuya exhalación sería una solución hidratada caliente, conteniendo gases a alta presión que contribuirían al rápido ascenso de las aguas.

## **1.3. Captaciones de agua subterránea**

Una captación de agua subterránea es toda aquella obra destinada a obtener un cierto volumen de agua de una formación acuífera concreta, para satisfacer una determinada demanda.

La elección del tipo de captación vendrá condicionada en esencia por los siguientes factores:

- Características hidrogeológicas del sector.
- Características hidrodinámicas de los materiales acuíferos que se pretenda captar.
- Volumen de agua requerido.
- Distribución temporal de la demanda.
- Coste de las instalaciones de explotación y mantenimiento de la captación.

En definitiva se trata de conseguir un equilibrio entre los aspectos técnicos y económicos.

### **1.3.1. Tipos de captaciones**

Las modalidades que puede presentar una obra de captación son fundamentalmente los siguientes:

- Galerías
- Zanjas drenantes
- Pozos excavados
- Sondeos
- Pozos con drenes radiales

#### **1.3.1.1. Galerías**

Una galería es una excavación en forma de túnel generalmente de suave pendiente y sección apreciable (1,5 a 2 metros de alto por 0,6 a 1,2 metros de ancho), con un nivel de agua libre que discurre por su fondo.

La función de una galería es doble ya que, además de actuar como elemento de captación de agua, sirve también como medio de transporte de ésta. En la actualidad la construcción de galerías es un sistema poco utilizado, debido al elevado coste económico y a sus propios condicionantes, sin embargo existen algunas excepciones.

La construcción de una galería se realiza normalmente por medios rudimentarios, pico y pala, y en ocasiones se utilizan explosivos. El principal inconveniente que presentan este tipo de captaciones es el nulo poder de

regulación ejercido sobre los recursos hídricos, ya que actúan como manantiales normales, con caudales muy reducidos durante el estiaje, incluso pueden llegar a desaparecer, y caudales muy importantes durante las épocas húmedas, cuando las demandas solicitadas son muy reducidas o inexistentes, lo que da lugar a la pérdida irremediable de los volúmenes de agua drenados.

### **1.3.1.2. Zanjas drenantes**

Se trata de excavaciones lineales de escasa profundidad, que actúan a modo de colector, realizados generalmente sobre materiales permeables poco consolidados, donde el nivel de agua se haya próximo a la superficie.

Dentro de estas zanjas, se instala una tubería filtrante con ranuras apropiadas al material que lo rodea, y/o bien se procede al relleno con grava o piedras que permitan el libre paso del agua dentro de la zanja drenante. Finalmente la excavación es rellena con material del propio acuífero.

La evacuación del agua se realiza normalmente por gravedad, aunque el agua puede ser conducida en último término a pozos desde donde será extraída mediante bombeo.

### **1.3.1.3. Pozos excavados**

Son obras de perforación excavadas a mano, con un diámetro mínimo de 1,5 metros. Su profundidad normalmente es de unas pocas decenas de metros (20 o 30), aunque se han llegado a alcanzar varios centenares. Si bien el diámetro mínimo, tal y como se ha comentado es de 1,5 metros, espacio imprescindible para el trabajo de una persona, es frecuente que supere los 3 metros, con máximos de hasta 6 metros.

Este tipo de obras se realizan en acuíferos de materiales poco consolidados con niveles piezométricos poco profundos.

El método constructivo es el clásico de pico y pala, aunque también se utilizan martillos neumáticos y explosivos. Requieren de una bomba de achique para que pueda ser extraída el agua una vez alcanzado el nivel que permita la continuación de los trabajos.

Normalmente, y sobre todo en terrenos poco consolidados, es necesario revestir la obra con el objetivo de evitar el derrumbe de las paredes, para ello se utiliza piedra, ladrillo, cemento o anillos de hormigón prefabricados, colocados a medida que avanza la perforación.

La pérdida de carga en estas obras es importante y su realización debe ser sopesada convenientemente. La ejecución de este tipo de captaciones tiene un elevado coste y su construcción requiere de unos determinados condicionantes que justifiquen su realización, estos son:

- Acuífero donde el nivel piezométrico se encuentra cerca de la superficie y la profundidad de la perforación es pequeña (menor de 20 metros).
- En acuíferos de poco espesor o con problemas de arrastres, donde se quiera obtener una superficie filtrante máxima.
- En acuíferos poco permeables, donde el pozo actúe como depósito regulador.

- En casos especiales: Instalación de maquinaria en el interior, imposibilidad de acceso a máquinas de perforación, necesidad de realizar trabajos que requieran intervención humana.

#### **1.3.1.4. Pozos con drenes radiales**

Se puede considerar como un caso particular de los anteriores. Cuando se requieren grandes caudales y la formación acuífera lo permite, por disponer de un nivel piezométrico a escasa profundidad, se pueden realizar drenes subhorizontales en las paredes del pozo que aumentan su capacidad de drenaje.

Estas obras necesitan un gran diámetro de perforación (4 o 5 metros) y una compleja técnica, son los pozos Raney, que llegan a obtener caudales muy elevados. Existen sondeos con drenes radiales más modestos que pueden ser llevados a cabo con diámetros más pequeños, cuando de lo que se trata es de obtener pequeños caudales por la baja permeabilidad de la formación acuífera. Este tipo de obras se realiza siempre en materiales sueltos, del tipo de gravas y arenas.

#### **1.3.2. Sondeos**

Son las obras que con mayor frecuencia se realizan para el aprovechamiento de las aguas subterráneas. Un sondeo es una perforación excavada por medios mecánicos, preferentemente vertical, de diámetro inferior a 1,5 metros, aunque los más usuales se encuentran entre los 150 y los 700 milímetros.

Presentan la ventaja de que pueden alcanzar grandes profundidades y tienen un coste normalmente inferior a cualquier otro tipo de captaciones.

Esto requiere:

- Un elemento de rotura del terreno
- Un motor de accionamiento
- Un sistema de eliminación de detritus
- Un sistema de mantenimiento de las paredes de la obra

Los sistemas más comunes utilizados en perforación son:

- Percusión
- Rotación
- Rotopercusión

### **1.3.3. Sistemas de perforación**

El equipo de perforación propiamente dicho consiste en un sistema mecánico o electromecánico, compuesto por una torre, de unos veinte o treinta metros de altura, que soporta un aparejo diferencial, juntos conforman un instrumento que permite el movimiento de tuberías con sus respectivas herramientas, que es accionado por una transmisión energizada por motores a explosión o eléctricos. Este mismo conjunto impulsa simultánea o alternativamente una mesa de rotación que contiene al vástago (Kelly), tope de la columna perforadora y transmisor del giro a la tubería.

Paralelamente el equipo de perforación cuenta con elementos auxiliares, tales como tuberías, bombas, tanques, un sistema de seguridad que consiste

en válvulas de cierre del pozo para su control u operaciones de rutina, generadores eléctricos de distinta capacidad según el tipo de equipo, etc. Si a esto se agregan las casillas de distinto diseño para alojamiento del personal técnico, depósito/s, taller, laboratorio, etc., se está delante de un conjunto de elementos que convierten a la perforación en una actividad y comunidad casi autosuficientes.

### **1.3.3.1. Percusión**

Se trata de una máquina con un armazón y un mástil, normalmente asentada sobre un remolque o camión; consta de un motor que transmite su fuerza motriz a una rueda excéntrica, transformando el movimiento giratorio en vertical que lo transfiere a lo que se denomina el Balancín. A este último elemento va sujeto el cable que sustenta la columna de perforación o sarta, apoyado a su vez en el mástil (10 a 15 metros de altura) provisto de un elemento de amortiguación.

El ritmo normal de golpeo de una máquina está en una media de 45-60 golpes por minuto, mientras que la caída de la herramienta de golpeo o trépano puede variar entre 30 a 90 centímetros.

Ventajas e inconvenientes de los sondeos a percusión.

Ventajas:

- Maquinaria de costo moderado
- Simplicidad de las operaciones
- Poco personal
- Presenta débil colmatación en las paredes

- Escaso consumo de agua
- Detecta bien los acuíferos
- Consigue diámetros importantes

Desventajas:

- Interrupción de la perforación para limpieza
- Avance lento
- Problemas con materiales no consolidados
- Entubaciones frecuentes
- Limitación de profundidad

### **1.3.3.2. Rotación**

Es un caso particular de los métodos de perforación a rotación, que permiten eliminar en su mayor parte el efecto de colmatación de las paredes del sondeo producido la circulación directa.

En la perforación a rotación por circulación, los lodos, después de sufrir una decantación en la balsa, descienden por gravedad, a través del espacio anular, hasta el fondo del sondeo, para regresar a la superficie cargados de detritus por el interior del varillaje. Este sistema requiere la ayuda de una bomba de aspiración (efecto Venturi), que suele estar combinada por inyección de aire comprimido a través de ranuras auxiliares del varillaje, con lo que se consigue una menor densidad en el tramo ascendente del fluido y por tanto una mayor velocidad de ascensión. Con ello se consigue reducir la presión en la perforación y, por tanto, el efecto de invasión del lodo en las formaciones permeables.

Este sistema es el más adaptable a todas las condiciones del terreno por la gran variedad de brocas y elementos de control que existe sobre la perforación. En terrenos blandos (margas, arcillas) adquiere un claro predominio sobre los restantes sistemas de perforación. La velocidad de avance depende de:

- Naturaleza de la roca. Dureza, fragilidad, abrasividad
- Profundidad
- Elemento de corte utilizado
- Velocidad de rotación de la sarta
- Presión y características del fluido de perforación

Ventajas:

- Gran velocidad de avance (especialmente a partir de 200 metros)
- Permite la ejecución de sondeos profundos
- Especialmente recomendado en terrenos blandos
- Permite perforar muchos metros sin necesidad de entubaciones auxiliares.

Desventajas:

- Ejerce un efecto de impermeabilización sobre las paredes del sondeo (efecto negativo para la captación de aguas subterráneas).
- Consumo de agua excesivo, cuando hay pérdidas de fluido
- Diámetros reducidos
- Facilidad de desvío de la perforación

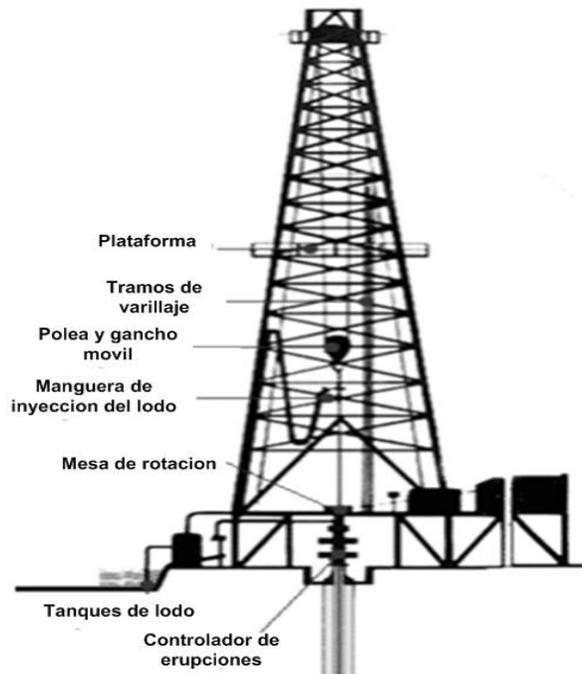
### **1.3.3.3. Rotopercusión**

Esta técnica combina los dos métodos anteriores, rotación y percusión en uno solo. Utiliza un martillo de fondo, accionado por la inyección de aire comprimido, que se encuentra sometido al mismo tiempo a un efecto de giro transmitido por el varillaje desde la superficie. El aire al salir por las lumbreras de escape del martillo asciende por el espacio anular del sondeo arrastrando el detritus de perforación, al mismo tiempo que ejerce una acción de lubricado del mecanismo de perforación.

La máquina y los elementos empleados en este sistema tienen mucha afinidad con los empleados en la perforación a rotación. Los elementos diferenciadores se encuentran fundamentalmente en el uso del martillo de fondo, en el tipo de broca y en el empleo de aire comprimido como fluido de circulación.

El martillo de fondo se encuentra unido al elemento de corte o boca y le confiere a ésta un efecto de golpeteo a modo de martillo neumático. El control sobre la perforación en este sistema recae en gran medida en la presión de inyección, ya que tiene un efecto directo sobre la acción de percusión, y sobre la eliminación del detritus, lo que se traduce en definitiva en un mayor o menor avance de la perforación. A continuación se muestra una ilustración, en la cual se detalla la estructura que posee una perforadora con sistema de rotopercusión.

Figura 4. Partes generales de perforadora de rotopercusión



Fuente: Baker Hughes Inc. [www.bakerhughes.com](http://www.bakerhughes.com). Consulta: 17 septiembre de 2011.

#### Ventajas:

- Requiere poco peso sobre la boca (1 000 - 3 000 kilogramos), por lo que no necesita barras de carga, y precisa una menor velocidad de rotación.
- Ejecución de sondeos más rectos. Ideal en formaciones inclinadas y fisuradas.
- Consigue grandes velocidades de perforación.
- Es especialmente adecuada para terrenos muy duros, donde supera ampliamente al resto de los sistemas de perforación.
- Costo reducido por metro perforado.

Desventajas:

- Limitación en los diámetros de perforación.
- No es adecuada en terrenos sueltos o poco consolidados.
- En presencia de mucha agua pueden aparecer serias dificultades en la perforación.
- Efecto de colmatación sobre las formaciones atravesadas.

#### **1.3.4. Criterios de ubicación de una captación**

El objetivo de una investigación hidrogeológica para abastecimiento, es obtener un aprovechamiento de las aguas subterráneas con el menor coste posible.

Para conseguir este objetivo los estudios deben permitir determinar los siguientes puntos:

- Establecimiento de la demanda, volúmenes requeridos.
- Elección del tipo de captación.
- Calidad del agua a captar.
- Evaluación de diferentes alternativas posibles de captación: costes de las instalaciones, conducciones, permisos de terrenos, etc.
- Garantía de éxito de la alternativa elegida. Riesgos que conlleva el lugar elegido.
- Realización de estudio geológico para la determinación de fracturas y áreas de afluencia.

## **1.4. Sistemas de bombeo**

Un sistema de bombeo consiste en un conjunto de elementos que permiten el transporte a través de tuberías y el almacenamiento temporal de los fluidos, de forma que se cumplan las especificaciones de caudal y presión necesarias en los diferentes sistemas y procesos.

### **1.4.1. Tipos de bombas**

Bomba es una máquina que absorbe energía dinámica y restituye al líquido que la atraviesa en energía hidráulica. Las bombas se emplean para impulsar toda clase de líquidos (agua, aceite, combustibles, etc.). También se emplean las bombas para bombear líquidos espesos con sólidos en suspensión, como pastas de papel, melazas, fangos, desperdicios, etc.

#### **1.4.1.1. Centrífugas**

La misión de las bombas centrífugas es mover un cierto volumen de líquido entre dos niveles, por tanto son máquinas hidráulicas que transforman un trabajo mecánico en otro de tipo hidráulico.

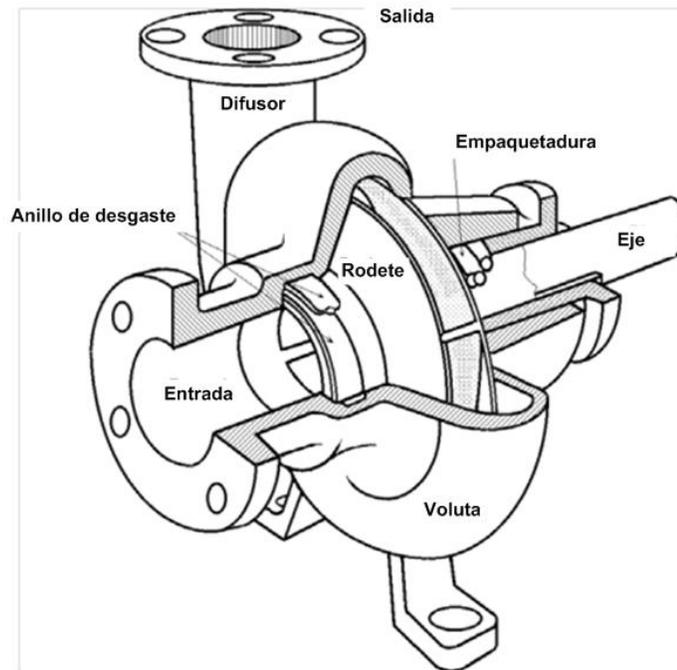
Los elementos que forman una instalación de este tipo son:

- Una tubería de aspiración: que concluye prácticamente en la brida de aspiración.
- Un impulsor o rodete: formado por un conjunto de álabes que pueden adoptar diversas formas según la misión que vaya a desarrollar la bomba. Estos álabes giran dentro de una carcasa circular. El rodete es

accionado por un motor, y va unido solidariamente al eje, siendo este la parte móvil de la bomba. El líquido penetra axialmente por la tubería de aspiración hasta la entrada del rodete, experimentando un cambio de dirección más o menos brusco, pasando a radial, en las bombas centrífugas, o permaneciendo axial en las axiales, acelerándose y absorbiendo un trabajo. Los álabes del rodete someten a las partículas de líquido a un movimiento de rotación muy rápido, siendo estas partículas proyectadas hacia el exterior por la fuerza centrífuga, creando así una altura dinámica, de tal forma que las partículas abandonan el rodete hacia la voluta a gran velocidad, aumentando también su presión en el impulsor según la distancia al eje. La elevación del líquido se produce por la reacción entre éste y el rodete sometido al movimiento de rotación.

- La voluta: es una parte fija que está dispuesta en forma de caracol alrededor del rodete a su salida, de tal manera que la separación entre ella y el rodete es mínima en la parte superior, y va aumentando hasta que las partículas líquidas se encuentran frente a la abertura de impulsión. Su misión es la de recoger el líquido que abandona el rodete a gran velocidad, cambiar la dirección de su movimiento y encaminarle hacia la brida de impulsión de la bomba.
  
- Una tubería de impulsión: instalada a la salida de la voluta, por la que el líquido es evacuado a la presión y velocidad creadas en la bomba.

Figura 5. **Diseño de bomba centrífuga**



Fuente: Curso de Bombas.

<http://www.industriascemu.com/DATOS%20TECNICOS%20DE%20BOMBAS/cursodebombas.pdf>. Consulta: 18 de septiembre de 2011.

#### **1.4.1.2. Sumergibles**

Las bombas sumergibles encuentran muchas utilidades, las bombas de etapa simple se utilizan para el drenaje, el bombeo de aguas residuales, el bombeo industrial general y el bombeo de la mezcla. Las bombas sumergibles se utilizan para la habitualmente extracción de agua en pozos de agua.

Aumentando la presión en el fondo del depósito, se puede elevar el líquido más fácilmente que aspirándolo (succión) desde arriba. Los modelos más

avanzados incluyen un separador de agua/aceite que permite reinyectar en el yacimiento sin necesidad de subirla a la superficie.

El sistema consiste en un número de rodets giratorios instalados en serie para aumentar la presión. La energía para hacer girar la bomba proviene de una red eléctrica de alta tensión que acciona un motor especialmente diseñado para trabajar a temperaturas de hasta 150 grados centígrados.

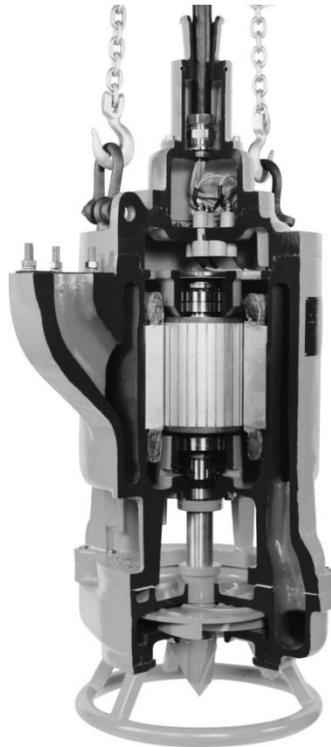
Se requiere atención especial al tipo de bomba sumergible utilizado cuando se usan ciertos tipos de líquidos. En la mayoría de las aplicaciones se utilizan motores asíncronos de corriente alterna que accionan una bomba centrífuga radial, que puede ser de varias etapas conectadas en serie.

Las bombas sumergibles pueden trabajar también con tubería de aspiración, colocando la bomba por encima del nivel del depósito. Sin embargo, para funcionar tienen que estar cebadas, esto es, con agua, de forma que la columna de agua comunique la bomba con el depósito.

La tubería de aspiración no puede ser excesivamente alta para que no disminuya excesivamente la presión en la bomba y evitar la cavitación en la bomba. El líquido bombeado, al circular alrededor del motor, también refrigera a éste. Para que los depósitos se refresquen.

Algunos tipos de bomba no están preparados para ciertas aplicaciones, como el bombeo de agua caliente o líquidos inflamables.

Figura 6. **Diseño bomba sumergible**



Fuente: Bombas sumergibles. [http://www.afeceurope.com/pdf/Afec\\_Brochure\\_SPAANS.pdf](http://www.afeceurope.com/pdf/Afec_Brochure_SPAANS.pdf).  
Consulta: 01 noviembre 2011.

### **1.4.1.3. Electro sumergibles**

El sistema de bombeo electro-sumergible es un sistema de levantamiento artificial comúnmente usado para la producción de crudos pesados y extrapesados, es considerado como un medio económico y efectivo para levantar grandes cantidades de flujo desde grandes profundidades en una variedad de condiciones de pozo.

Este método de levantamiento artificial consiste en una bomba centrífuga multietapa con un motor eléctrico de fondo acoplado, la cual es capaz de

levantar fluido desde el fondo del yacimiento hacia la superficie, mediante la rotación centrífuga de los impulsores de la bomba, lo que permite que el fluido ascienda a través de las etapas de la bomba centrífuga y llegue a la superficie con suficiente energía.

El sistema electrosumergible consta de varios componentes principales. Incluyendo equipos de fondo y equipos de superficie.

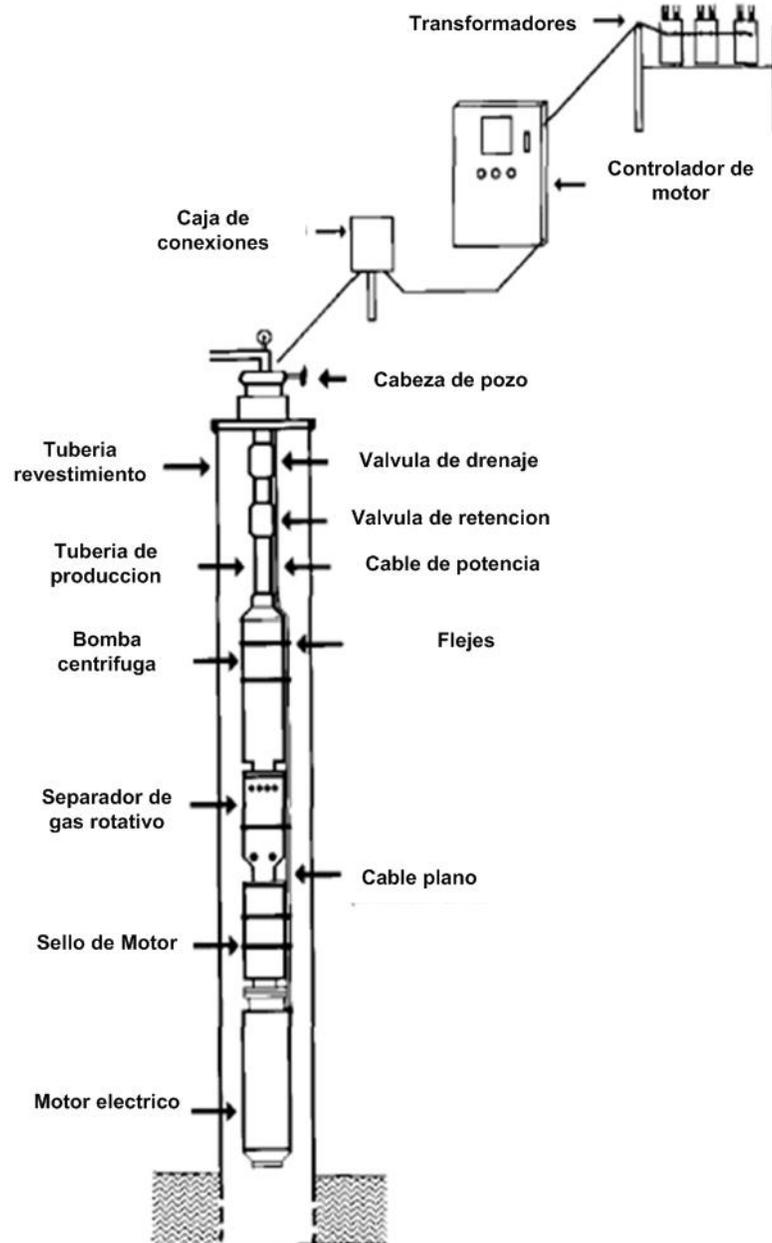
Los equipos de fondo consisten básicamente de una bomba centrífuga multietapa, cuyo eje está conectado a un motor eléctrico sumergible a través de una sección sellante, el cable se sujeta a la tubería mediante bandas metálicas flexibles o protectores de cable. La entrada del fluido a la bomba se efectúa a través del separador de gas, dispuesto en la parte inferior de la bomba.

Los equipos de superficie incluyen cabezal de pozo, caja de venteo, transformador de corriente y variador de frecuencia.

Como equipo opcional está el sensor de fondo cuya función es medir los valores de presión y temperatura del fondo. En su posición de funcionamiento, los equipos de fondo de pozo están suspendidos de la tubería de producción y sumergidos en los fluidos del pozo.

A continuación se muestra una instalación típica de una bomba electrosumergible.

Figura 7. **Instalación típica de una bomba electro-sumergible**



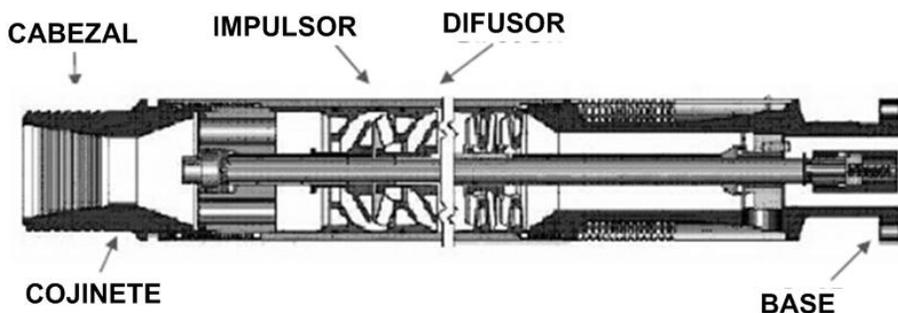
Fuente: LIU, Dong. Estudio de factibilidad de la aplicación de bombeo electro sumergible.

p. 48.

Equipos de fondo de una bomba electrosumergible:

- Bomba centrífuga: las bombas electrosumergibles son bombas centrífugas multietapa. Cada etapa de una bomba sumergible consta de un impulsor rotativo y un difusor estático.

Figura 8. **Bomba centrífuga multietapas y sus partes**



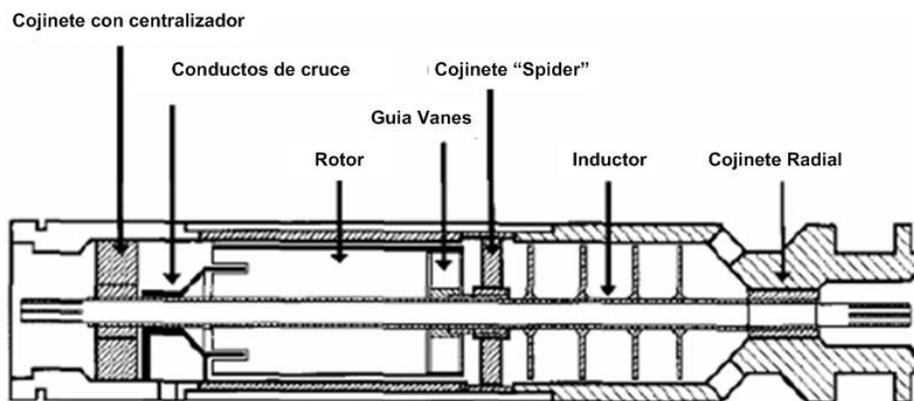
Fuente: LIU, Dong. Estudio de factibilidad de la aplicación de bombeo electrosumergible. p. 49.

- Separador de gas rotativo: el uso de equipos electrosumergibles en pozos que tienen una alta relación gas-petróleo ha comenzado a ser algo común. La capacidad de una bomba centrífuga para el manejo de gas sin bloquearse es limitada. En la última década, ha sido posible extender la aplicación del sistema electrosumergible por el diseño, desarrollo y utilización de separadores de gas rotativos.

Estos componentes utilizan la fuerza centrífuga para separar el gas libre del fluido del pozo antes de entrar a la bomba. Una vez en el

centrifugado, el fluido con la mayor gravedad específica es llevado a la pared externa de la cámara rotativa por la fuerza centrífuga, dejando al gas en cercanías del centro. El gas es separado del fluido por medio de un divisor y es expulsado nuevamente al espacio anular del pozo donde asciende por el mismo. El fluido más pesado se dirige hacia la entrada de la bomba en donde es bombeada hacia la superficie.

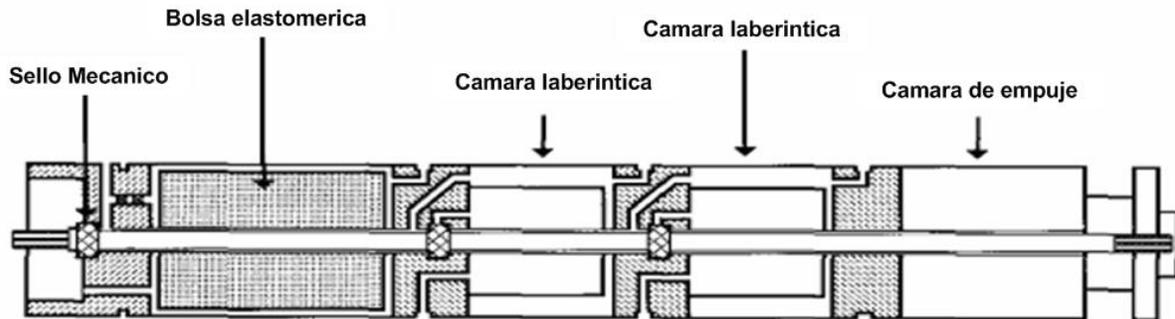
Figura 9. **Separador de gas rotativo**



Fuente: LIU, Dong. Estudio de factibilidad de la aplicación de bombeo electro sumergible. p. 51.

- Sección sellante: se encuentra entre el motor y la bomba o el separador de gas y realiza las funciones de permitir la expansión del fluido contenido en el entre hierro del motor, igualar la presión en la cavidad del pozo con el fluido dieléctrico del motor, aislar el fluido del pozo del fluido dieléctrico limpio de la bomba y de absorber el empuje axial descendente de la bomba.

Figura 10. **Sección sellante**



Fuente: LIU, Dong. Estudio de factibilidad de la aplicación de bombeo electro sumergible. p. 52.

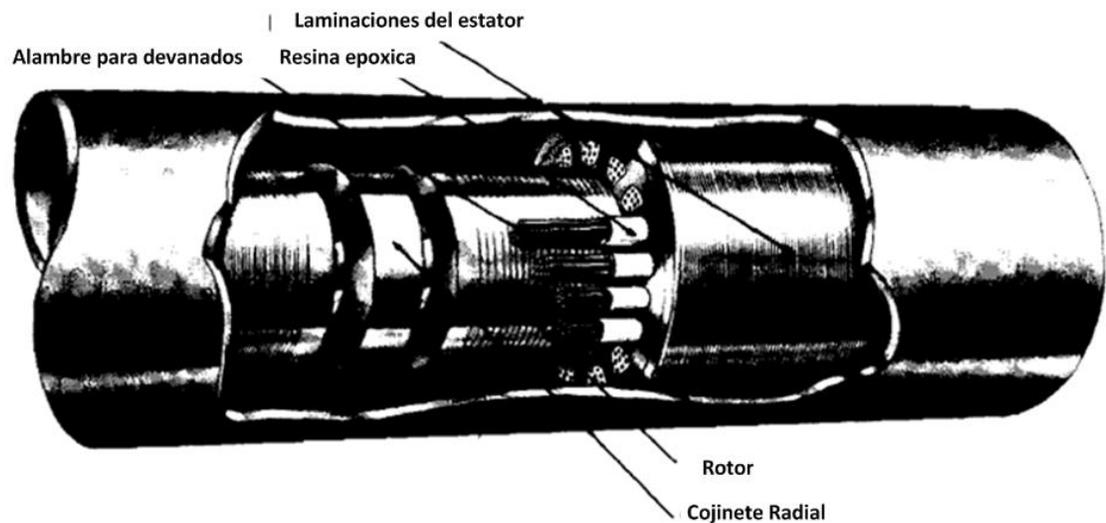
- Motor electrosumergible: los motores utilizados para la operación de las bombas sumergibles son trifásicos, de dos polos y de inducción tipo jaula de ardilla. Estos motores se llenan con un aceite dieléctrico. El voltaje de operación de estos motores puede ser tan bajo como 230 voltios o tan alto como 5000 voltios. El requerimiento de amperaje puede variar de 12 a 200 amperios.

La potencia requerida se logra simplemente incrementando la longitud, o el diámetro, del cuerpo del motor. El motor está compuesto de rotores, generalmente de unas 12 a 18 pulgadas de longitud, que están montados en una flecha y localizados en el campo eléctrico (estator) montado dentro de la carcasa de acero.

Los motores de un solo cuerpo o sección más largos se aproximan a los 33 pies de largo y pueden estar diseñados para generar hasta 400 caballos de fuerza, mientras que los motores tándem se aproximan a los

90 pies y pueden tener una potencia que alcanza los 750 caballos de fuerza.

Figura 11. **Conjunto estator y rotores**



Fuente: LIU, Dong. Estudio de factibilidad de la aplicación de bombeo electro sumergible. p. 53.

- Sensor de presión y temperatura de fondo: se obtienen datos valiosos del comportamiento de la bomba y del yacimiento mediante el empleo de sistemas de detección de la presión y la temperatura en el fondo del pozo. Correlacionando la presión del yacimiento con la tasa de producción, un operador puede determinar cuándo es necesario cambiar el tamaño de la bomba, cambiar el volumen de inyección o considerar una intervención del pozo.

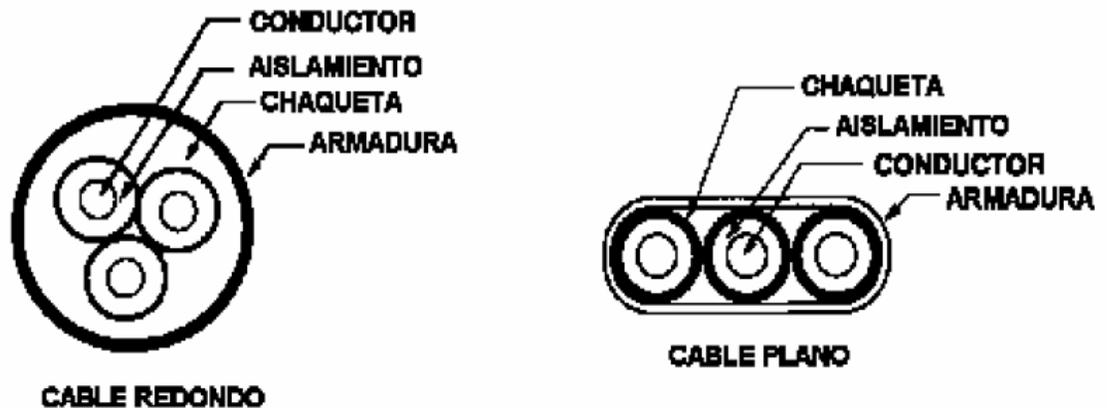
Figura 12. **Sensor de fondo**



Fuente: LIU, Dong. Estudio de factibilidad de la aplicación de bombeo electro sumergible. p. 54.

- Cable de potencia para el sistema BES: la potencia es transmitida al motor electro sumergible por medio de un cable de potencia trifásico el cual se fija a la tubería de producción por medio de flejes o con protectores sujetadores especiales. Este cable debe ser pequeño en diámetro, bien protegido del abuso mecánico y resistente al deterioro de sus características físicas y eléctricas por efecto de los ambientes calientes y agresivos de los pozos.

Figura 13. Cable de potencia trifásico

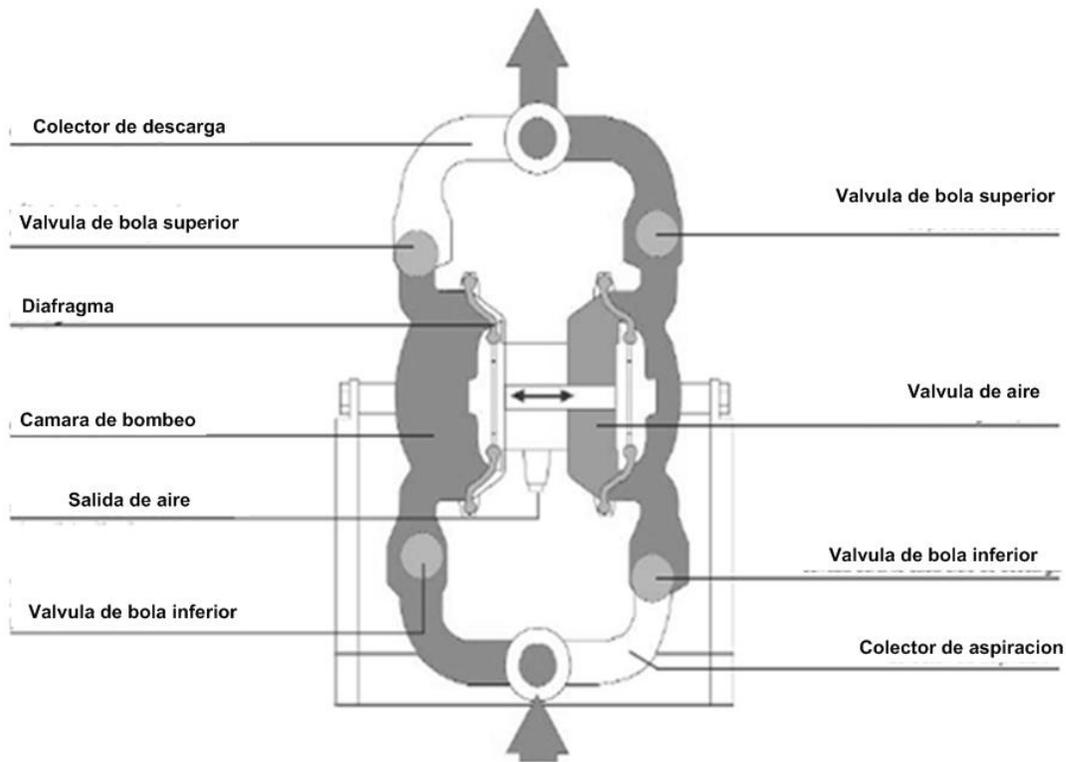


Fuente: LIU, Dong. Estudio de factibilidad de la aplicación de bombeo electro sumergible. p. 55.

#### 1.4.1.4. Neumáticas

La bomba de membrana o bomba de diafragma, es un tipo de bomba de desplazamiento positivo, generalmente alternativo, en la que el aumento de presión se realiza por el empuje de unas paredes elásticas (membranas o diafragmas) que varían el volumen de la cámara, aumentándolo y disminuyéndolo alternativamente. Unas válvulas de retención, normalmente de bolas de elastómero, controlan que el movimiento del fluido se realice de la zona de menor presión a la de mayor presión.

Figura 14. **Funcionamiento de bomba neumática**



Fuente: Bombas neumáticas de diafragma.

[http://www.lleal.com/usuarios/pdfs\\_bombes\\_valvules/arxiu/9\\_1\\_neumaticas.pdf](http://www.lleal.com/usuarios/pdfs_bombes_valvules/arxiu/9_1_neumaticas.pdf).

Consulta: 7 de noviembre de 2011.

#### **1.4.1.5. Dosificadoras**

Son un tipo de bombas especiales que sirve para la correcta dosificación de una sustancia química a una corriente de agua, algún depósito de agua, u otro sistema donde se requiera que la concentración de una sustancia química (cloro, polímeros, metabisulfito de sodio, etc.) se mantenga constante.

La exactitud de la dosificación depende mucho de la marca y del modelo de la bomba que se utiliza. Existen en el mercado dos tipos de bombas dosificadoras: las manuales, en donde la persona que opera el equipo tiene que calcular en base a datos la dosificación correspondiente y ajustar las perillas del equipo hasta dar con la dosificación correcta, cosa que produce varios errores. El otro tipo de bomba dosificadora son las digitales, aquí igualmente se tiene que hacer los cálculos de dosificación necesaria, pero ya no es necesario estar ajustando la bomba, ya que basta con presionar unos botones para calibrar la dosificación correcta de la bomba, siendo esta más exacta.

Figura 15. **Bomba dosificadora**



Fuente: Pulsafeeder. <http://www.pulsafeeder.com/products/pulsatron/index.asp>.

Consulta: 03 de noviembre de 2011.

## **1.5. Piezómetros**

El piezómetro se utiliza para medir la presión de poros o nivel del agua en perforaciones, terraplenes, cañerías y estanques a presión. La aplicación

geotécnica más común es para determinar la presión de agua en el terreno o el nivel de agua en perforaciones.

#### **1.5.1. Aspectos prácticos de las medidas piezométricas**

Cuando se trata de conocer la situación piezométricas de un cierto acuífero, es esencial que las medidas a realizar en los distintos puntos de observación sean simultáneas entendiéndose por tales a aquéllas que se realizan dentro de un período de tiempo tan corto que no se presuman variaciones debidas a recargas o fuertes bombeos.

#### **1.5.2. Niveles de agua**

El monitoreo a profundidad del nivel freático se lleva a cabo a través de mediciones manuales, registradores automáticos del nivel de agua, o transductores de presión.

##### **1.5.2.1. Nivel estático**

Es la distancia del suelo al nivel de espejo de agua sin que esté funcionando la bomba. Debido a esta característica se denomina nivel freático.

##### **1.5.2.2. Nivel dinámico**

Cuando se inicia el bombeo, el nivel del agua comienza a bajar según la rapidez de bombeo hasta que después de un tiempo el nivel se detiene, la rapidez de llenado del pozo se equilibra con la del bombeo y esta nueva profundidad o punto es el nivel dinámico.

## **2. SITUACIÓN ACTUAL**

### **2.1. Diseño de pozos**

La etapa de diseño de pozo, consiste en determinar la manera adecuada en la cual serán colocadas las tuberías, esto con el propósito como primer punto de cuidar que el pozo no se derrumbe, así como también maximizar el ingreso de agua del acuífero al pozo, por medio de tubería ranurada.

#### **2.1.1. Infraestructura del entubado y cementación**

Durante el inicio de la perforación se instala un tubo de 26 pulgadas de diámetro el cual tiene una longitud de 40 pies el cual es denominado como tubo protector y es el que se utiliza para dar inicio a la perforación y de esta forma se asegura que no exista derrumbes mientras se perfora y de igual manera apoya a la circulación de los aditivos de perforación. Así mismo, se posee otro tubo de 20 pulgadas diámetro y unos 40 pies de profundidad el cual sirve como sello de cemento.

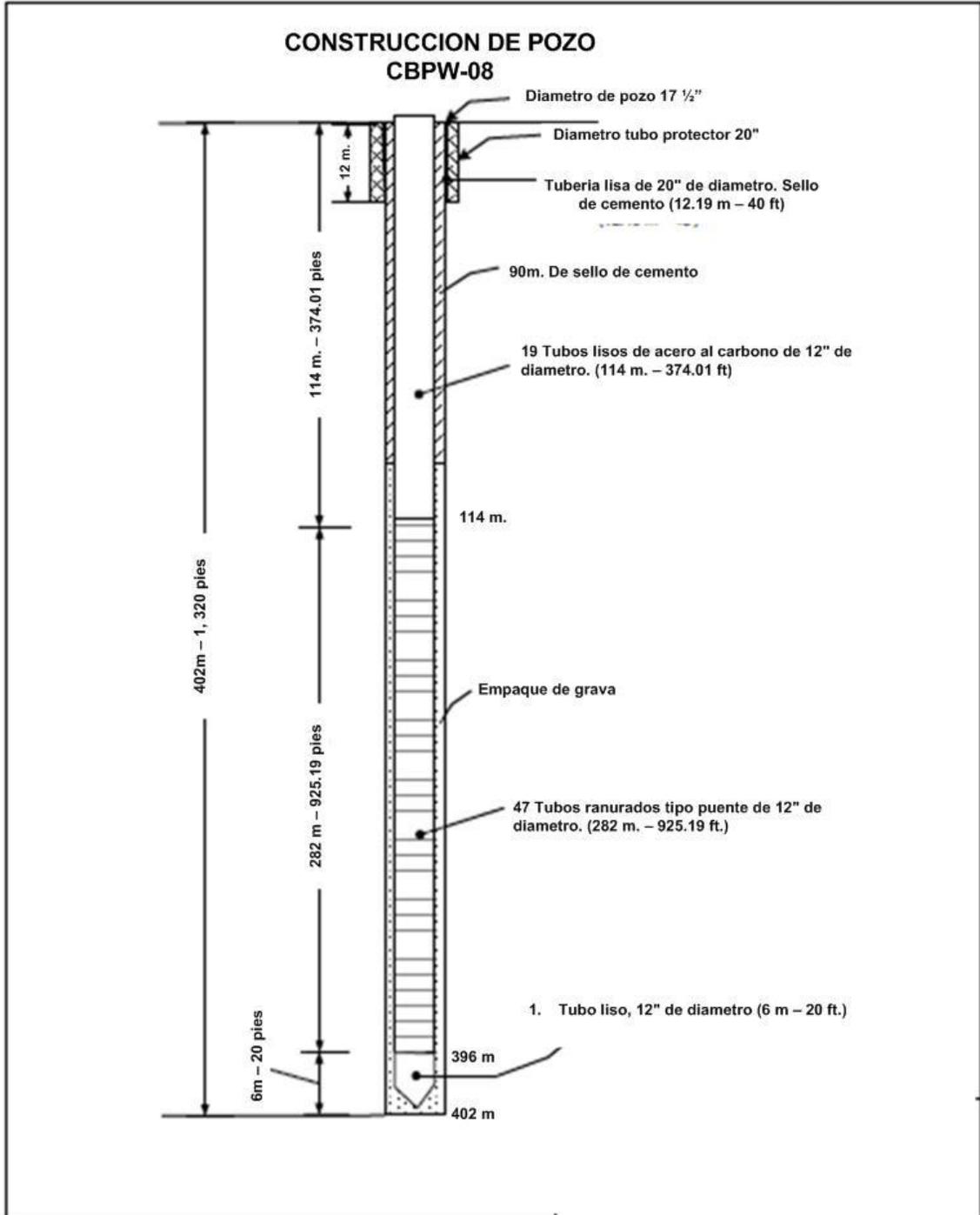
Al llegar a la profundidad prevista del pozo se procede a la colocación de tubería, en este proceso se utilizan 2 tipos de tubería, las cuales son lisas y ranuradas; las tuberías lisas son de acero al carbono tienen 12 pulgadas de diámetro y aseguran que el pozo no se derrumbe, siempre están posicionadas en los primeros metros de profundidad del pozo, seguidamente se coloca la tubería ranurada del tipo puente, esta tiene de diámetro 12 pulgadas, es utilizada para maximizar el aporte de agua del acuífero hacia el pozo, este

punto se determina mediante el nivel freático del pozo al momento en que se realiza la perforación.

Al final están provistos de un tubo con formación de punta, la cual su función principal es no permitir que el sedimento ingrese directamente a la tubería y garantizar que el tiempo de vida del pozo sea más largo, por que esta punta no permitiría que la profundidad total perforada disminuya por concentración de sedimento. Luego se le vierte grava en lo que corresponde las tuberías ranuradas y se hace un empaque de este mismo material, para que no ingresen lodos que puedan perjudicar al momento que se tenga funcionamiento con bomba electro sumergible.

El último paso, se procede a colocar concreto al pozo en lo que corresponde el tubo protector y el tubo de sello de cemento, realizando una mezcla de 50% concreto y 50% arena mediana. Esto se hace para que el pozo este bien sujetado al terreno donde se efectuó la perforación. A continuación se muestra como es el diseño final de un pozo.

Figura 16. Diseño de pozo

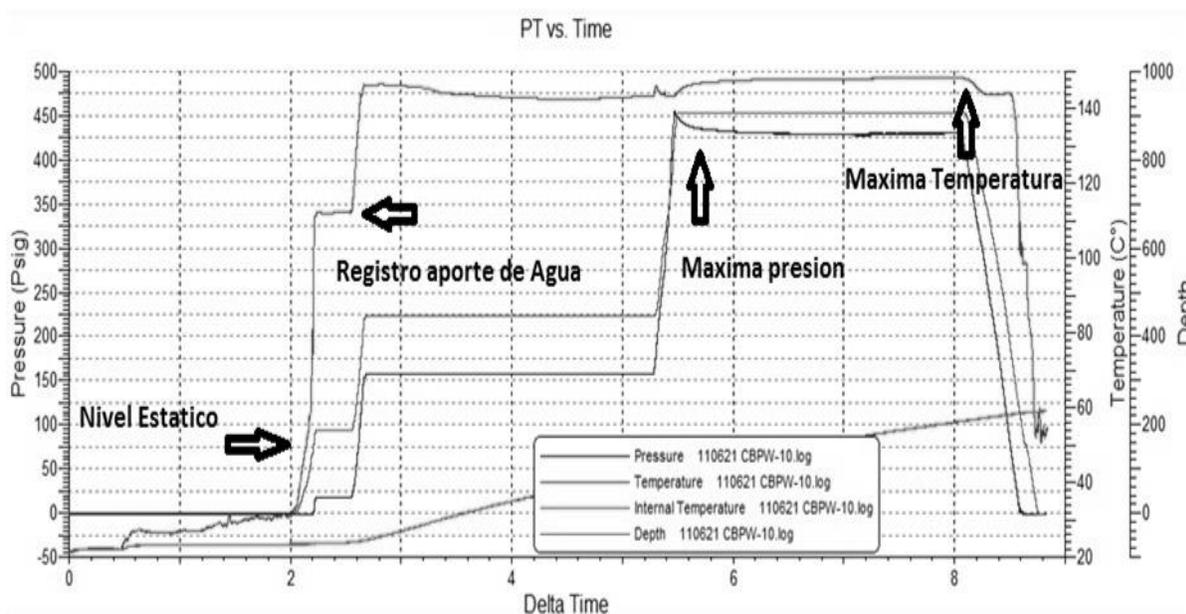


Fuente: Proyecto Cerro Blanco. Realizado según la zona de mayor fractura y aporte de agua.

## 2.2. Medición de presión y temperatura preinstalación de bomba en pozo

Para la determinación de la presión y temperatura de un pozo antes de la instalación de la bomba se procede a la realización de una prueba con sonda Kuster, la cual determina la máxima presión y temperatura del pozo, así mismo refleja en su gráfica las posibles zonas de aporte de agua. Y una de las funciones primordiales de este sondeo es la determinación del nivel estático del pozo. A continuación se agrega una grafica en la que se ubican los diferentes aspectos a considerar para su debida interpretación.

Figura 17. Interpretación de prueba sonda Kuster



Fuente: elaboración propia. Datos obtenidos del sondeo realizado con Kuster.

### **2.3. Sistema de bombeo utilizado**

Actualmente se utiliza bombas electro sumergible de la marca Wood Group de General Electric, las cuales se encuentran colocadas en 10 pozos de producción en lo que corresponde al proyecto Cerro Blanco.

#### **2.3.1. Bomba electro sumergible Wood Group**

Estas bombas su aplicación ha sido diseñada de manera de responder ante condiciones de bombeo complicadas, su mayor aplicación radica en el área de extracción de petróleo, pero en este caso se ha utilizado para la extracción de agua caliente ya que estas bombas poseen una amplia capacidad de extracción en pozos profundos y por la tecnología utilizada provee un mejor funcionamiento con mezcla de gases.

##### **2.3.1.1. Generalidades de las bombas electro sumergibles Wood Group**

Las bombas electro sumergibles multietapas conocidas como BES, se han constituido en el levantamiento artificial más usado en los últimos tiempos.

Una bomba electro sumergible es una bomba centrífuga multietapa que tiene un motor eléctrico localizado en el pozo por debajo de la bomba. La potencia eléctrica es suministrada desde la superficie por medio de un cable. Este tipo de bomba se aplica a pozos con alto índice de productividad. Las bombas disponibles pueden manejar rangos de caudales de líquidos desde 300 hasta 60 000 barriles por día y son ideales para mezclas de fluidos con altos cortes de agua y baja relación gas líquido.

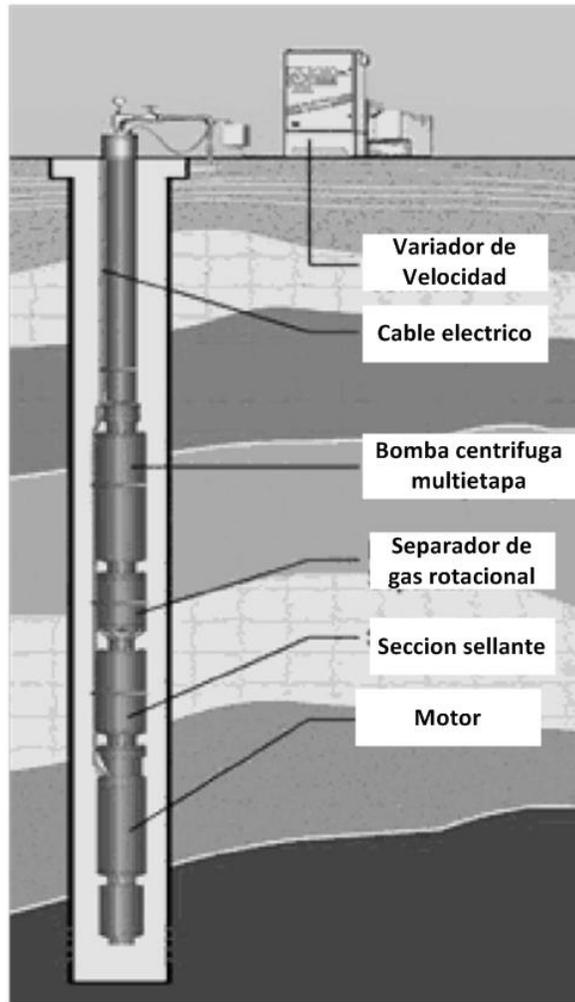
La bomba y el motor son suspendidos en la tubería a cierta profundidad en el pozo. En presencia de altas fracciones de gas a la entrada de la bomba puede separarse la fase gaseosa de la líquida, y enviar el gas a través del revestimiento o también comprimir el gas en el líquido y permitir que ambos fluyan a través de la bomba.

La separación de las fases se lleva a cabo a través de un separador estático o centrífugo que puede ser instalado entre el motor y la bomba para obtener una mejor eficiencia de separación.

Presentan ventajas en cuanto a que no hay partes móviles en la superficie.

De allí que es adecuado para zonas urbanas, además es aplicable en pozos horizontales he inclinados. La figura 18 ilustra las partes de este sistema. Sin embargo el costo inicial del sistema es alto, además su aplicación es limitada a profundidades medias, principalmente debido a la temperatura la cual genera una degradación del aislante del cable y del sello / motor.

Figura 18. **Bombeo electro sumergible**



Fuente: LIU, Dong. Estudio de factibilidad de la aplicación de bombeo electro sumergible. p. 58.

### 2.3.1.2. Componentes de bomba electro sumergible Wood Group

El sistema cuenta con componentes tanto a nivel de superficie como a nivel de subsuelo. La tabla indica los componentes que se encuentra a cada nivel.

Tabla I. Componentes superficiales y de subsuelo del BES

<b>Componentes de superficie</b>	<b>Componentes de subsuelo</b>
Transformador primario.	Cable eléctrico.
Variador de frecuencia.	Bomba centrífuga.
Transformador secundario.	Separador de gas.
Juntion Box	Sección de sello.
Cabezal del pozo.	Motor.
	Sensores

Fuente: Separadores trifásicos de crudo. <http://www.pdf.name/separadores-trifasicos-de-crudo>.

Consulta: 4 noviembre de 2011.

- Bomba: es el corazón del sistema de levantamiento. Es una bomba centrífuga multietapa. La tasa de bombeo depende de varios factores; la columna hidrostática, las revoluciones del motor, el diseño de las etapas y de las propiedades de los fluidos.
- Separador de gas: separa el gas libre para evitar el bloqueo de la bomba (gas locking). Usa la fuerza centrífuga para separar el líquido del gas antes de entrar a la bomba. Existen dos tipos: estática y rotatoria.

- Sección de sello o protector: sirve como conexión entre el eje del motor (motor shaft) y eje de la bomba. Previene la entrada del fluido que está en el pozo hacia el motor.
- Motor sumergible: un motor eléctrico AC de inducción trifásico provee la energía a la bomba para rotar y acelerar el fluido a ser desplazado. El enfriamiento es proveído por el fluido en movimiento que pasa entre el revestimiento del pozo y el motor.
- Cable eléctrico: debe garantizar el suministro de potencia al motor. Son contruidos de diferentes materiales conductores colocados entre una camisa protectora que asegura su integridad bajo las condiciones de operación. La caída de voltaje, temperatura y los fluidos alrededores deben ser considerados durante el diseño y selección del proceso. Estos vienen en dos configuraciones básicas: planos y redondos.
- Transformador primario: es usado para reducir el voltaje de la fuente principal hasta un voltaje que pueda ser manejado por el variador de frecuencia. Este puede ser un auto transformador trifásico o tres banco de transformadores de una sola fase.
- Variador de frecuencia: dispositivo diseñado e instalado para cambiar la frecuencia de la corriente suministrada al motor, controlando de esta manera su velocidad angular para alcanzar un comportamiento óptimo de desempeño. Puede ser programado en situaciones especiales; tales como descarga y un arranque de torque constante.
- Transformador secundario: es usado cuando el variador de frecuencia es usado para suministrar el voltaje requerido por el motor. Es conocido

como *step up transformer*. Este puede ser un auto transformador trifásico o tres banco de transformadores de una sola fase.

- Junta de conexión: es una junta de conexión (*junction box*) entre el cable que viene del pozo y el cable de potencia del variador de frecuencia. Es también llamado caja de venteo, ya que provee el medio para ventear el gas que puede venir desde el pozo migrando a través del cable.
- Sensores: una gran variedad de sensores están disponibles en el mercado. Son instalados de acuerdo a requerimientos específicos, ellos permiten un mejor control de la operación del bombeo electro sumergible, permitiendo así monitoreo y protección de los equipos.

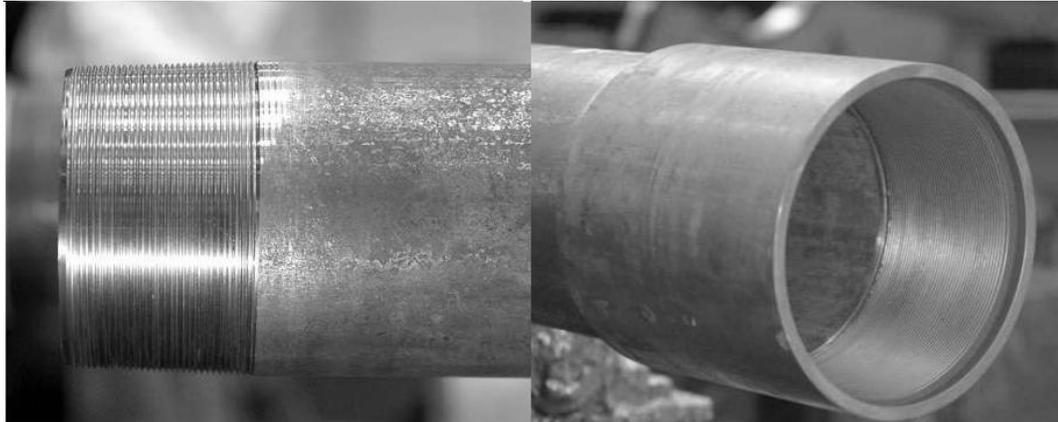
#### **2.3.1.3. Tubería empleada para la descarga de bomba electro sumergible**

Durante la instalación de la bomba electro sumergible en los pozos de producción se procede a la utilización de 3 tipos de tubería, las cuales sus características varían tanto en su diámetro así mismo en la manera en que se realiza el acoplamiento.

#### **2.3.1.4. Componentes para la descarga en la cabeza del pozo**

Para la descarga de la bomba a la cabeza del pozo se utiliza tubería de 4 ½ pulgadas de diámetro interno, dicha tubería está provista una rosca del tipo EUE de la cual sus características son de ser de cedula 40 y el material con el que son elaborados son hierro negro, el cual provee gran resistencia a alta presión y temperatura.

Figura 19. **Tubería de descarga de bomba a cabeza de pozo**



Fuente: catálogo Tenaris Tamsa. p. 2.

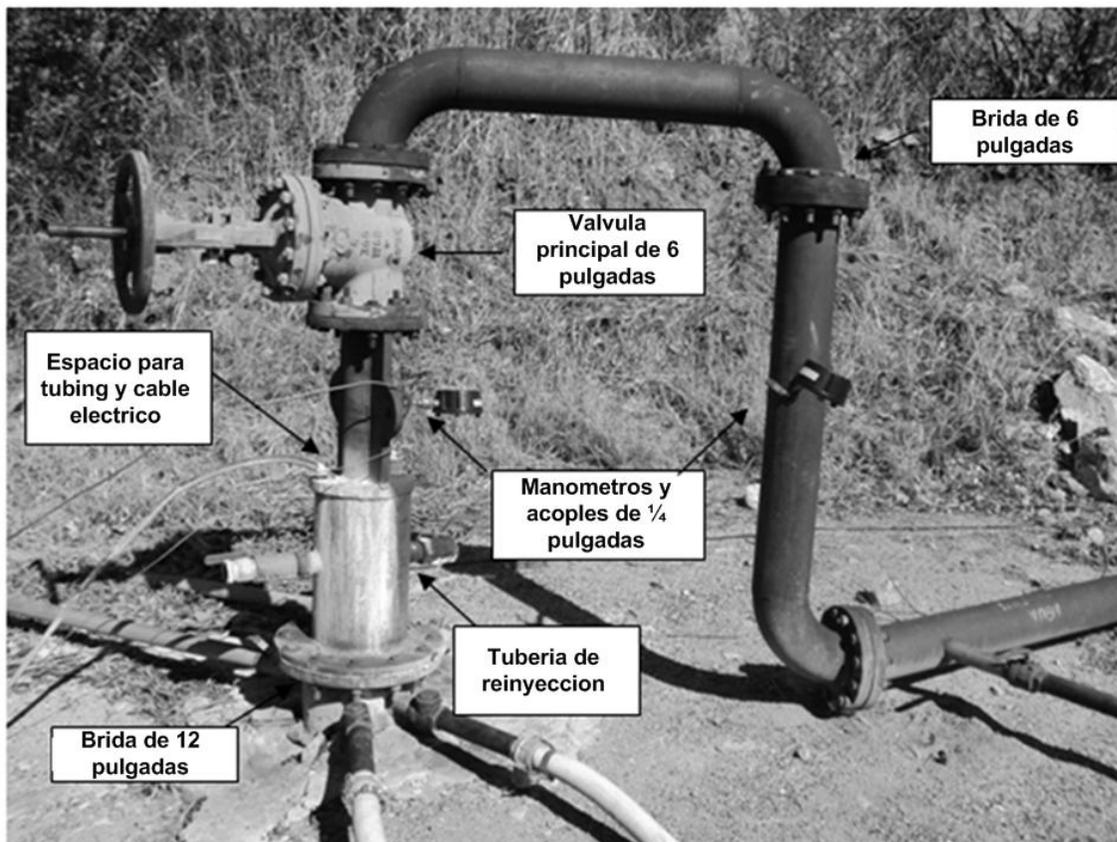
#### **2.3.1.4.1. Diseño de cabeza de pozo**

El diseño del pozo consiste en un cabezal, el cual su función es hacer la conversión de diámetro de 4 ½ pulgadas a un diámetro de 6 pulgadas, este cabezal provee en su estructura acoplamiento de 2 pulgadas de diámetro con el propósito que se permita la reinyección de agua por el espacio anular del pozo, así mismo cuenta con una válvula principal la cual su función es brindar control del flujo durante el bombeo y seguidamente cuenta con conexiones de ¼ pulgadas en donde va conectado un manómetro con el propósito de conocer cuál es la presión que se registra en la línea de tubería.

El método de ajuste del cabezal a la estructura del pozo se realiza por medio de bridas las cuales vienen desde las 12 pulgadas de diámetro hasta los 6 pulgadas. Para asegurarse que no existan fugas entre las bridas se les colocan empaque de belomoide.

La cabeza del pozo cuenta con un espacio el cual es utilizado para la colocación del cable de la bomba electro sumergible, así como también permite el paso del *tubing* que se utiliza para la inyección de químico antincrustante y el que se utiliza para la realización de la medición del nivel estático y dinámico del pozo; el *tubing* empleado es de acero inoxidable, esto con el propósito que pueda tener resistencia a las condiciones internas del pozo.

Figura 20. **Diseño de cabeza de pozo de producción**



Fuente: elaboración propia. Pozo CBPW-5 Proyecto Cerro Blanco.

#### 2.3.1.4.2. Manómetros

El manómetro se encarga de medir la presión existente en la línea de tubería de descarga del pozo. Según las especificaciones de las bombas electro sumergibles utilizadas, es recomendable utilizar una presión en tubería equivalente a los 20 - 45 libras por pulgada cuadrada, así de esta manera asegurarse que la tubería siempre estará llena de fluido y no permitirá que gases provoquen problemas de incrustaciones o cavitación en el momento de estar en funcionamiento el equipo.

Figura 21. **Manómetros empleados en la instalación de pozos**



Fuente: [www.agroyamuni.com](http://www.agroyamuni.com).

<http://www.agroyamuni.com/media/ccp0/prodlg/manometroPresion01.jpg>.

Consulta: 4 de noviembre de 2011.

#### 2.3.1.4.3. Medidor de flujo de descarga

En los pozos de producción se utilizan flujómetros del tipo electromagnéticos, esto con el propósito de tener lecturas exactas de la cantidad de flujo que pasa por la tubería, así mismo estos equipos cuentan con una señal analógica en un rango de 4 a 20 miliamperios, la cual permite que se

puedan almacenar las lecturas en un dispositivo y de esta manera realizar un monitoreo con datos reales y así poder calcular el volumen de agua extraído durante el mes.

Figura 22. **Flujómetro electromagnético empleados en la instalación de pozos**



Fuente: Flujometro de pozo CBPW-05, proyecto Cerro Blanco.

#### **2.3.1.4.4. Válvulas**

En la instalación del sistema de bombeo se emplean 3 tipos de válvulas los cuales se describirán a continuación.

- Válvula de cierre de diseño DIN: esta válvula se emplea como mecanismo de válvula principal. Su función es servir de manera inmediata en caso exista desacoplamiento de tubería y se requiero cerrar

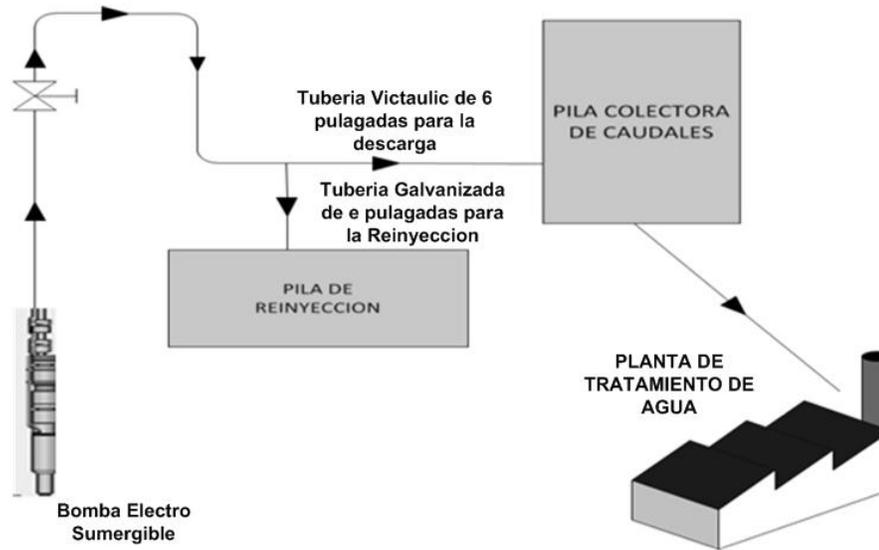
completamente el flujo en la tubería. Este tipo de válvula se emplea en diámetro de 6 pulgadas y es acoplado con bridas.

- Válvula de bola: este tipo de válvula es de diámetro de ¼ pulgadas y es utilizado para que apoyen a la purga de presión en el manómetro, así mismo para poder facilitar el extraer muestras de agua de los pozos.
- Válvula de retención: las válvulas de retención o también conocidas en nuestros medios como válvula *check*, proveen la protección del equipo de bombeo al momento de apagarse, ya que esta válvula no permite que regrese grandes volúmenes de flujo a la bomba.

#### **2.4. Diagrama de tubería de pozo**

En la instalación de un pozo de producción se tiene aplicación de 2 tipos de tubería, los cuales son de descarga y reinyección, en la siguiente imagen se tiene una visualización general del pozo.

Figura 23. Diagrama de tubería de pozo de producción



Fuente: elaboración propia. Diagrama basado en la trayectoria del agua descargada.

#### 2.4.1. Tubería de descarga

Para la descarga del pozo se utiliza tubería Victaulic de diámetro de 6 pulgadas. Esta tubería es la encargada de conducir el agua hacia piletas colectoras de caudales. El uso de tubería Victaulic se debe por la facilidad en su sistema de acoplamiento y su amplia resistencia a la presión y temperatura. En esta tubería se maneja por lo regular un promedio de 20 a 45 libras por pulgada cuadrada y se registran temperaturas promedio que van de los 80 a los 90 grados Celsius.

#### **2.4.2. Tubería de reinyección**

En el sistema de reinyección se hace uso de tubería galvanizada de 2 pulgadas, dicha tubería se utiliza para llevar el agua a una pileta la cual su función es enfriar el agua con el ambiente y de esta forma poderla inyectar nuevamente al pozo, con el propósito de disminuir la presión y el vapor en la cabeza del pozo durante el bombeo. Se tiene estimado que para la efectividad de este método se debe tener un promedio de 40 galones por minuto y tener el agua a una temperatura de 50 a 65 grados Celsius.

#### **2.5. Sistema de inyección de antincrustante y medición de niveles de agua**

Dadas las propiedades químicas del agua extraída mediante un sistema de bombeo, es necesario de una inyección de antincrustante, para evitar la formación de calcita en el interior de la tubería, la cual evita el buen funcionamiento de los equipos. Así mismo, es necesario saber los niveles de agua en la cual operan las bombas para saber si están en los parámetros adecuados los cuales garanticen su funcionamiento.

##### **2.5.1. Descripción de sistema de inyección de antincrustante**

El sistema de inyección de antincrustante se utiliza con el propósito de que no se tengan acumulación de calcita (carbonato de calcio) en la tubería sumergida, como también en la de descarga que se encuentra situada en la superficie, el químico es inyectado con ayuda de una bomba, la cual aplica la presión adecuada para llevar el químico al fondo y este es conducido por medio de un *tubing* cuyo diámetro corresponde a  $\frac{1}{4}$  pulgadas, este *tubing* es de acero

inoxidable ya que es un material que presenta una amplia duración ante el uso de químicos así mismo a las altas presiones y temperaturas.

#### **2.5.1.1. Bomba dosificadora**

Las bombas dosificadoras son utilizadas para el manejo de productos químicos, en procesos industriales y agrícolas. Cuentan con control de flujo manual o electrónico y pueden ser utilizadas en aplicaciones donde se requiera alta presión.

Así mismo, dichas bombas proveen la facilidad de poder graduar la cantidad de químico que se desea agregar y como complemento se le puede instalar una columna de medición para llevar un control riguroso de la aplicación de químico al pozo. En el caso de los pozos de producción en Entre Mares de Guatemala, S.A., se emplea de la marca Neptune la cual tiene una potencia de 1/3 Caballos de fuerza y tiene capacidad para vencer una presión de 1 100 libras por pulgada cuadrada. A continuación se muestra la figura la cual muestra de manera general la forma en la cual se encuentran instaladas dichas bombas.

Figura 24. **Sistema de dosificación de químico**



Fuente: Sistema de inyección de químico de pozos en proyecto Cerro Blanco.

#### **2.5.1.2. Químico antincrustante**

El químico empleado es de la marca Nalco del tipo Phreedom 5200M, el cual es un inhibidor de calcita, lo cual su función es mantener la bomba y la tubería sin calcita en sus paredes y de esta manera evitar taponamiento lo cual impida un buen desempeño del sistema de bombeo.

#### **2.5.2. Descripción de sistema de medición de niveles de agua**

La medición del nivel estático y dinámico del pozo se realiza mediante la sumergencia de un tubo de 1 pulgadas de diámetro por 2 metros de longitud, y luego se acopla a *tubing* de 1/8 pulgadas el cual recorre toda la longitud de

tubería ingresada al pozo. Seguidamente se realiza la inyección de gas nitrógeno y es de esta forma que por conversión de presiones es como se conoce el nivel de agua.

### **2.5.2.1. Transductor de presión**

Los transductores de presión son sensores que transforman la presión de un medio en señal análoga para su posterior análisis. Este tipo de señal es de 4 a 20 miliamperios. Los transductores de presión utilizada en los pozos de producción son de la marca Ashcroft con un máximo de capacidad de 300 libras por pulgada cuadrada y Rosemount los cuales tienen una capacidad de máxima de 1 450 libras por pulgada cuadrada.

**Figura 25. Transductor de presión**



Fuente: [http://images02.olx.com.pe/ui/3/59/76/59325376\\_2.jpg](http://images02.olx.com.pe/ui/3/59/76/59325376_2.jpg). Consultada: 07 de noviembre de 2011.

### 2.5.2.2. Data logger

Son dispositivos los cuales van conectado la señal analógica de los transductores de presión, esto con el propósito de realizar un registro a cierto intervalo de tiempo, el cual pueda estar disponible para descargar y analizar los datos. Actualmente se en los pozos de producción se tienen *data logger* de la marca Veriteq los cuales poseen 4 canales en su entrada, dichos canales se aprovechan para guardar la información del caudal y del nivel de agua.

Figura 26. Data Logger

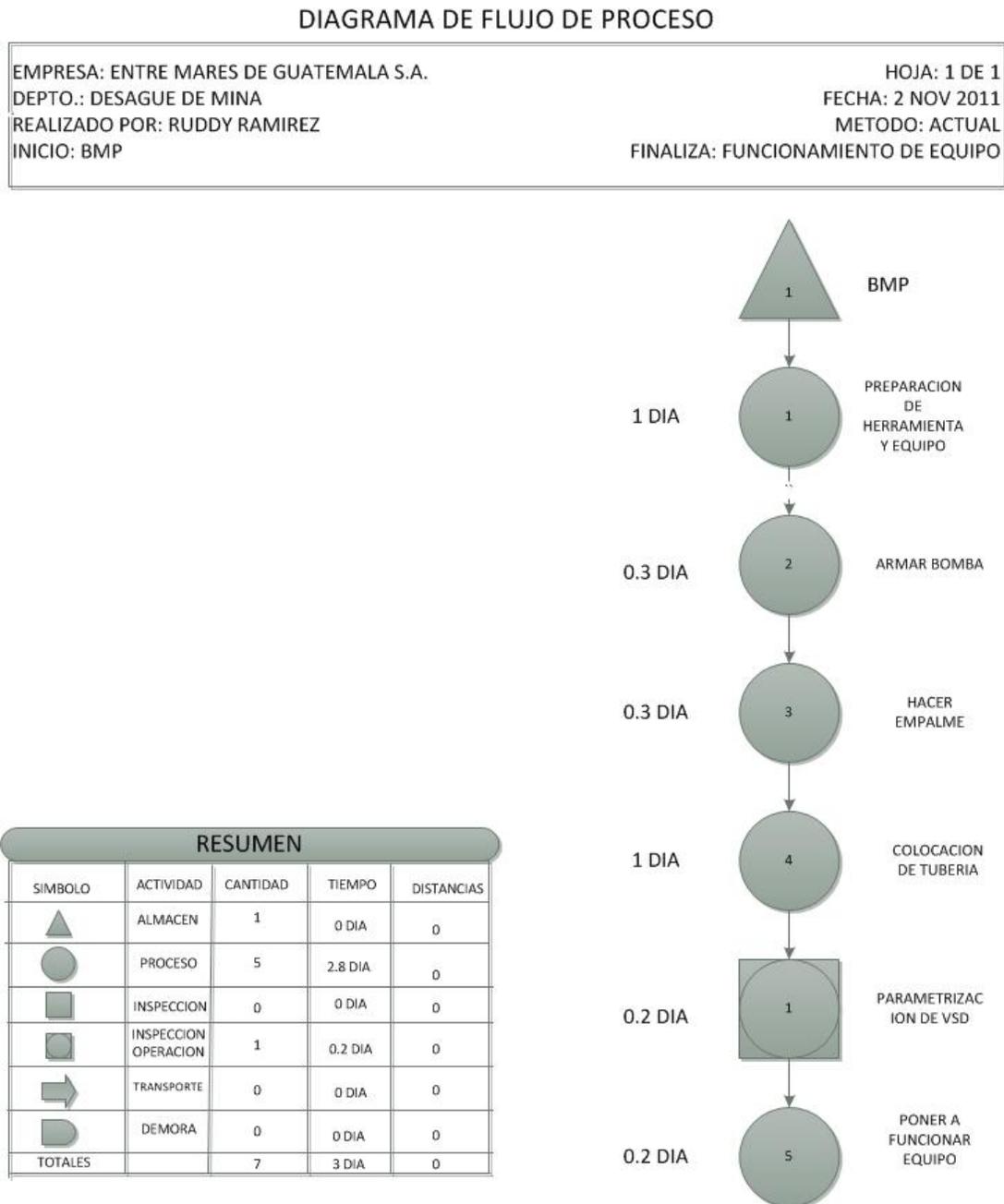


Fuente: <http://www.vaisala.com/VaisalaImages/Product%20and%20services/vaisala-veriteq-1000-data-logger-210x170.jpg>. Consulta: 06 de noviembre de 2011.

### 2.6. Diagrama de proceso de instalación de bomba

A continuación se muestra el diagrama de flujo de proceso el cual muestra los diferentes eventos que se registran al momento de la instalación de un equipo electro sumergible.

Figura 27. Diagrama de proceso de instalación de bomba



Fuente: elaboración propia. Diagrama en base al proceso de la instalación de equipos sumergibles.

## **2.7. Identificación de deficiencias en sistema actual**

En la actualidad para poder obtener los datos de los niveles de agua tanto estático como dinámicos, se debe de programar cada semana un recorrido por las instalaciones del proyecto Cerro Blanco para poder tener dicha información, seguidamente para tener un control de los caudales acumulados, se tiene estipulado que turno de noche recopila dicha información una vez al día.

Produciendo de esta manera muchas demoras, incerteza de la toma de datos ya que en lo que respectan los caudales acumulados e instantáneos puede existir un margen de error ya que solo se verifica durante un corto periodo de tiempo. Así mismo, no se puede verificar con exactitud cambios de caudal en tiempo específico ya que el monitoreo de este factor de medición solo se realiza una vez al día, por lo tanto no podemos determinar en qué horarios se dan picos y descensos de caudal como de presión.



### **3. PROPUESTA PARA EL NUEVO DISEÑO**

#### **3.1. Presentación de la propuesta**

Debido al aumento de la cantidad de pozos de producción, se ve necesaria la posibilidad de la implementación de un sistema de telemetría. Dicho sistema apoyara la transmisión de los datos de niveles de agua como los de los caudales de producción, esto con el propósito de tener mejor información sobre el comportamiento del pozo.

Teniendo implementado un sistema de telemetría, se tendrá la facilidad de poder saber los datos de los transductores de presión para realizar su pronta interpretación. En este caso en especifico se tendría la versatilidad de conocer los niveles de agua en tiempo real y quitando la necesidad que exista una persona que recoja dicha información cada semana, ya que esta información estará accesible y se podrá procesar de manera diaria y continua, teniendo la posibilidad de interpretar el nivel de agua en cualquier lapso de tiempo y así mismo saber el estado del equipo de medición.

Otra versatilidad que provee este sistema es que el turno encargado de tener los datos correspondientes de los caudales se ocuparía de otras cosas y ya no sería este una restricción en tiempo de los trabajos que realizan ya que este sistema apoyaría a que los datos estén accesibles a la hora que se requieran, evitando de esta manera que los caudales sean calculados con margen de error, así mismo se podrá conocer los picos y las bajas que tiene el bombeo en ciertos periodos de tiempo.

Lo que el sistema de telemetría ofrece es obtener la versatilidad de contar con un sistema que pueda proveer la información necesaria de cada uno de los pozos que se tienen en funcionamiento, sin necesitar que se encuentre un encargado en específico de descargar los datos en ciertos lapsos de tiempo, sino que estos datos estén disponibles desde la comodidad de la oficina y en el momento que sean requeridos para su análisis.

### **3.2. Diseño del plan de telemetría para obtención de niveles de agua**

Debido a la necesidad de la obtención de datos de presión para la interpretación de niveles de agua de manera remota es necesario el montaje de un sistema de telemetría el cual ofrezca la comunicación de los dispositivos para la correcta interpretación de los parámetros recibidos.

#### **3.2.1. Instrumentación de equipos de medición y almacenamiento**

Con lo que respecta a los equipos de medición por razones de no incurrir en gastos adquiriendo equipos diferentes a los que están en funcionamiento actualmente, se hará uso de los transmisores de presión y flujómetros electromagnéticos, ya que estos equipos que se utilizan en la actualidad cuentan con la capacidad de manejo de señal analógica de 4 a 20 miliamperios.

El almacenamiento de la información obtenida se hará mediante un *data logger*, el cual contara con un mínimo de 4 entradas de señal análoga y que cuente con la capacidad de obtener datos en un intervalo de tiempo el cual pueda ser configurado de acuerdo a las necesidades y que luego dicho dispositivo cuente con la versatilidad de poder acceder a la información almacenada mediante un sistema inalámbrico.

### **3.2.2. Tecnología de transmisión de datos**

Debido a que el *data logger* no cuenta con un tipo de salida directa a una señal inalámbrica, es necesaria hacer algunas modificaciones y tener contemplado el uso de otro dispositivo el cual sea un convertidor entre la salida serial que tiene el *data logger* a una de red Ethernet, para que de esta manera se tenga la facilidad de conectar nuestro dispositivo a una red y que posea una IP estática para su mejor identificación en el entorno de operación.

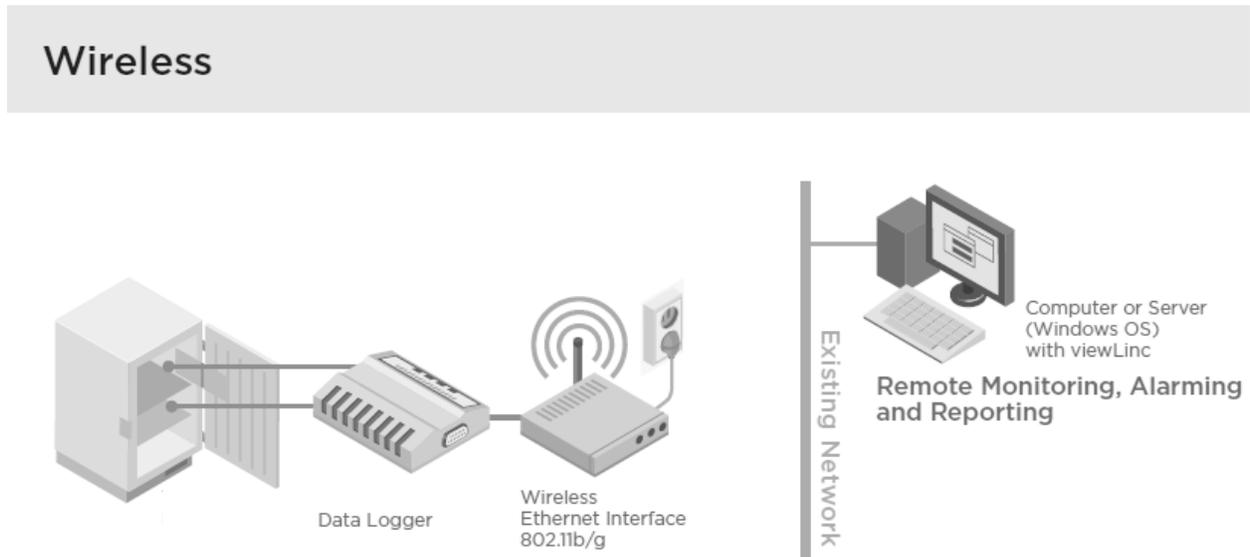
Dicho convertidor es de la marca Veriteq esto con el propósito de tener siempre compatibilidades con el dispositivo el cual se utiliza actualmente. El nombre de dicho dispositivo es vNet PoE (Power over Ethernet). A continuación se muestra una imagen la cual muestra el dispositivo vNet PoE distribuido por Veriteq.

### **3.2.3. Equipo de comunicación a utilizar en sistema telemétrico**

Tomando en cuenta las limitaciones que brinda que el dispositivo su salida sea para la utilización de cable del tipo UTP, esto genera la problemática que no se puede cablear del cerro hacia las oficinas ya que esto implicaría como primer punto la pérdida de señal por el tramo tan largo de cable y así mismo el gasto exagerado de cable.

Para dar solución a dicho problema, se realizara la conversión de cable a inalámbrico por medio del uso de un *Access Pointer*, el cual estará instalado en cada pozo y este se enlazara mediante un *router* el cual administrara las señales provenientes de los pozos.

Figura 28. Diagrama de configuración del sistema Veriteq



Fuente: [www.vaisala.com](http://www.vaisala.com).

<http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Technology%20Descriptions/CMS-Common-Configurations-EN.pdf>. Consulta: 23 de noviembre de 2011.

### 3.2.4. Entorno receptor de información

Para la recepción de la información en la oficina se hará uso de una antena omnidireccional la cual su capacidad pueda alcanzar señales inalámbricas una distancia considerablemente larga. Luego para la interpretación de la información se configurara en una computadora el *software* provisto por Veriteq el cual se llama Viewlinc el cual puede funcionar en una PC o servidor, siempre y cuando cumpla con la especificación de que dichos elementos estén operando bajo sistema operativo Windows.

En el programa de Viewlinc es donde se registran las direcciones IP de los dispositivos instalados y se tiene una visualización de lo que está sucediendo

en cada pozo. Todo esto apoyado desde gráficos en tiempo real y datos puntuales los cuales nos ayuden para una interpretación integral de cada pozo.

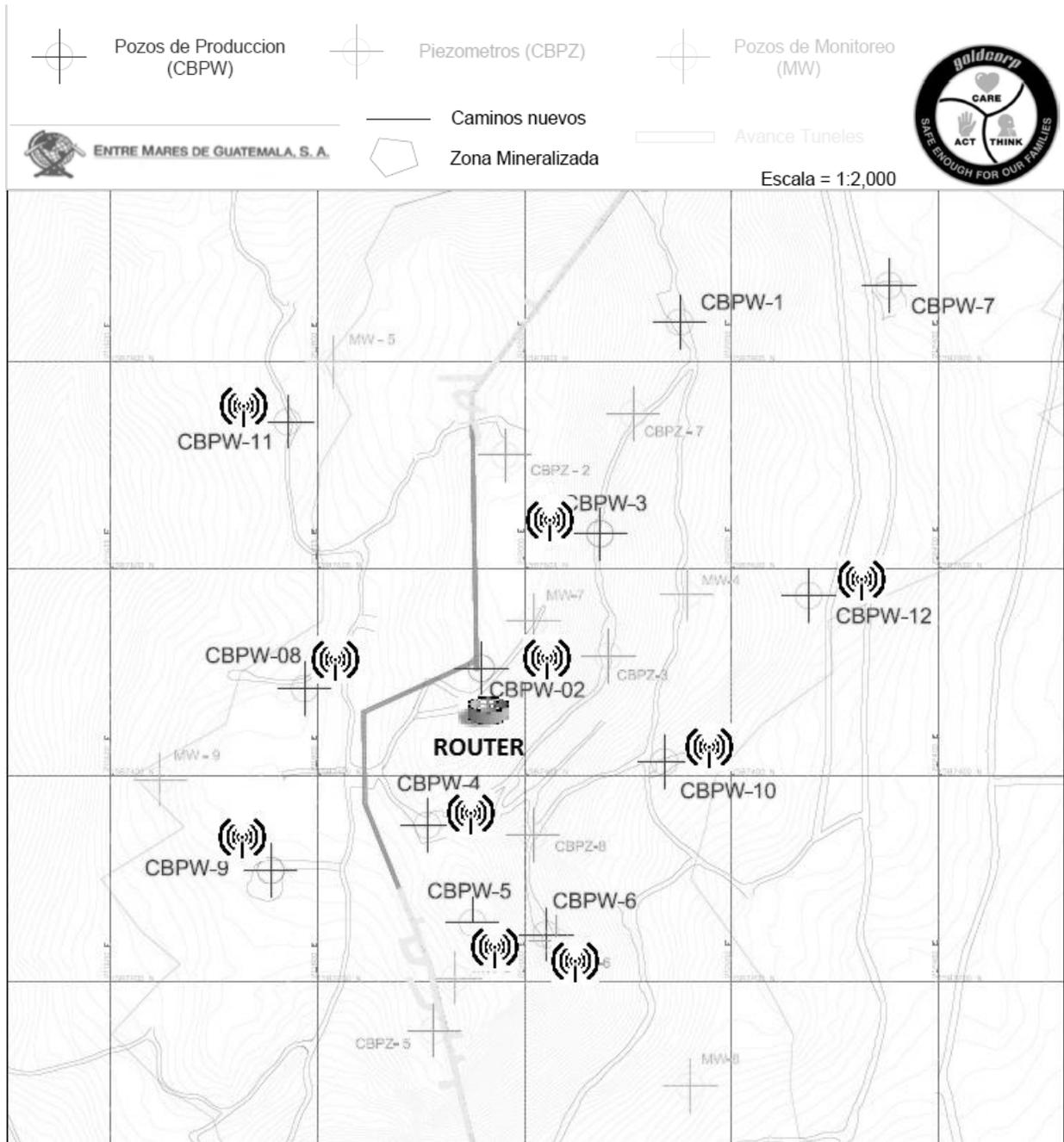
### **3.2.5. Tipos de datos a transmitir**

El concepto de tipo de dato detalla cuales serán los datos que serán tomados en cuenta para la transmisión de información. Entre los más importantes se hacen mención de dos y entre estos están el caudal con el propósito de conocer cuál es la producción expresada en galones por minuto del pozo y la presión para conocer el nivel dinámico del pozo y de esta manera tener conocimiento sobre el equivalente de columna de agua sobre la bomba en momentos específicos.

### **3.3. Plano de distribución para implementación de telemetría en pozos**

En la siguiente figura se muestra la ubicación física de cada pozo y se señala su respectiva instrumentación de señal inalámbrica así mismo se define el lugar en donde se alojara el enrutador.

Figura 29. Plano de distribución para la implementación del sistema telemétrico



Fuente: elaboración propia. Utilizando ortofotografía se ubicaron las antenas.

### **3.4. Accesorios propuestos**

Para la implementación del sistema de telemetría será necesarios equipos para formar una infraestructura de red inalámbrica en la cual se transmitirá la información, para que luego esta sea interpretada.

#### **3.4.1. Routers**

*Router* es un término inglés que puede traducirse como “enrutador, ruteador o direccionador”. Se trata de un dispositivo de *hardware* que se utiliza para interconectar computadoras que operan en nivel de red.

El *router* se encarga de determinar qué ruta debe seguir un paquete de datos dentro de una red informática. Para nuestra aplicación será utilizado para un enlace entre el dispositivo vNet Poe y la computadora la cual se encargara de efectuar la visualización y descarga de la información obtenida de los pozos.

Los enrutadores que se utilizaran serán del tipo de conexión UTP y contarán con tecnología *wireless* esto con el propósito de tener mejor accesibilidad a la información en cualquier punto del proyecto, tomando en cuenta el uso de los diferentes métodos de encriptación de redes para que no todos cuenten con el acceso a dicha información.

Figura 30. **Router o enrutador**



Fuente: gadgetizate.wordpress.com. <http://gadgetizate.files.wordpress.com/2010/03/wrt54g.png>.

Consulta: 26 de noviembre de 2011.

### **3.4.2. Antena omnidireccional**

Una antena es un dispositivo cuya misión es difundir y/o recoger ondas radioeléctricas. Las antenas convierten las señales eléctricas en ondas electromagnéticas y viceversa. El uso habitual hace que una antena omnidireccional no emita exactamente en todas direcciones, sino que tiene una zona donde irradia energía por igual. El objetivo de dicho dispositivo es poder emitir la señal inalámbrica con un rango mucho mayor, al que podría alcanzar únicamente el *router* o el *Access Pointer* operando independientemente.

### 3.4.3. Dispositivo de conexión a red

Para la conexión del *data logger* a una red inalámbrica será necesario el uso del equipo vNet Poe el cual proveerá el ser un dispositivo intermedio entre el *data logger* y el *Access Pointer* el cual estará direccionado a un *router* para que este se encargue de la administración del tráfico en la red y de esta manera poder proceder a la configuración de la IP del dispositivo para que no exista ningún tipo de colisión de información entre los demás pozos y de esta manera se pueda generar una identificación a cada uno por medio de su dirección IP.

Figura 31. **Dispositivo vNet PoE de Veriteq**



Fuente: <http://www.vaisala.com>.

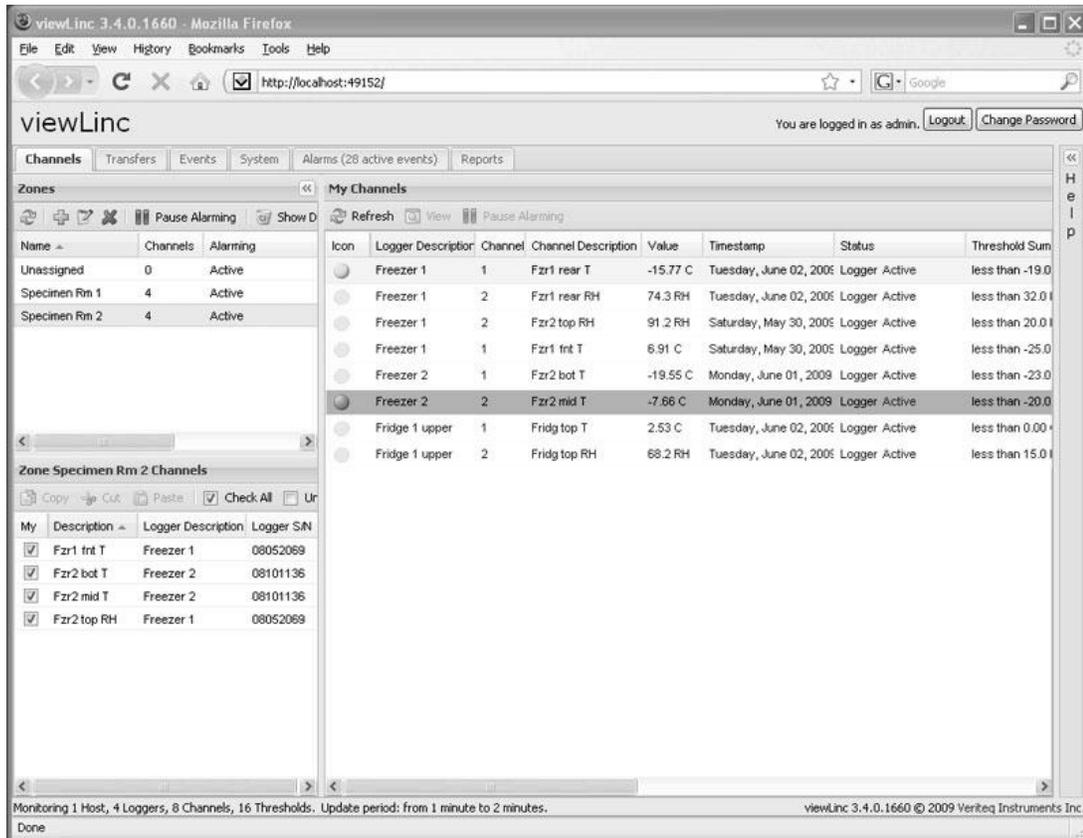
<http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Brochures%20and%20Datasheets/CEN-LSH-veriteq-PoE-datasheet-B211043EN-B.pdf>. Consulta: 27 de noviembre de 2011.

#### **3.4.4. Software de monitoreo**

El *software* de monitoreo es el ente que brindara una interfaz amigable para que se pueda realizar consultas sobre el estado de cada uno de los pozos. Su función es de brindar un entorno en el cual se pueda tener interacción con los datos tanto del transmisor de presión como de lo que es el caudal por medio del flujómetro electromagnético.

En este caso se tendrá el uso de un *software* provisto por el fabricante de los *data logger* y los vNet PoE el cual es Viewlinc provisto por Veriteq el cual cuenta con un entorno que nos facilita la visualización de un lote de muestras para que se pueda graficar y de esta manera realizar análisis de manera fácil y accesible, el cual resultaría en la facilidad de obtener la información en tiempo real en la comodidad de la oficina.

Figura 32. Entorno de software Viewlinc



Fuente: <http://www.veriteq.com>. <http://www.veriteq.com/download/brochure/vaisala-veriteq-continuous-monitoring-brochure.pdf>. Consulta: 27 de noviembre de 2011.

### 3.5. Análisis financiero para la implementación del sistema de telemetría

Para implementar el sistema de telemetría se realizara un análisis financiero para conocer la factibilidad del proyecto, esto se hará mediante un estudio de valor presen neto, tasa interna de retorno y costo beneficio.

### 3.5.1. Valor Presente Neto

El Valor Presente Neto representa la cantidad inicial de un flujo de efectivo dado una cantidad acumulada en un periodo determinado afectada por una tasa de interés generalmente anual. La fórmula para calcular el mismo es la siguiente:

$$P = F * \left[ \frac{1}{(1 + i)^n} \right]$$

Donde:

*P = Valor presente*

*F = Valor futuro*

*i = % interés*

*n = Tiempo*

Para llevar a cabo el análisis económico de un proyecto determinado, se debe calcular el VPN para cada uno de los costos o beneficios que lleguen a tener a lo largo de la vida del mismo (flujo de efectivo).

El flujo de efectivo de un proyecto es la representación numérica de los egresos e ingresos que se espera obtener en un periodo determinado.

Los egresos para la implementación del nuevo sistema de telemetría se constituyen por los costos, los diferentes costos a los cuales se incurrirá. Los ingresos representan los beneficios, o ahorros, que se espera obtener con la implementación del sistema. Durante la implementación del sistema telemétrico se tendrán egresos e ingresos. Los se detallan en la siguiente tabla, a continuación se presentan los egresos por equipo para la implementación.

Tabla II. **Detalle de egresos por equipo para el sistema de Telemetría**

<b>EGRESOS</b>				
<b>EQUIPO</b>				
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>	<i>Costo</i>	<i>Total</i>
<i>Equipo Vnet Poe</i>	<i>10</i>	<i>Pieza</i>	<i>Q. 5 551,00</i>	<i>Q. 55 510,00</i>
<i>Router Inalámbrico</i>	<i>1</i>	<i>Pieza</i>	<i>Q. 3 945,00</i>	<i>Q. 3 945,00</i>
<i>Antena Omnidireccional de 24 db</i>	<i>10</i>	<i>Pieza</i>	<i>Q. 795,00</i>	<i>Q. 7 950,00</i>
<i>Cable UTP-5</i>	<i>1000</i>	<i>Pies</i>	<i>Q. 485,00</i>	<i>Q. 485,00</i>
<i>Conector RJ45</i>	<i>50</i>	<i>Pieza</i>	<i>Q. 1,50</i>	<i>Q. 75,00</i>
<i>Acces Pointer</i>	<i>10</i>	<i>Pieza</i>	<i>Q. 280,00</i>	<i>Q. 2,800,00</i>
<i>Cable TSJ 14x3</i>	<i>100</i>	<i>Metro</i>	<i>Q. 8,99</i>	<i>Q. 899,00</i>
<i>Enclouser para equipo</i>	<i>10</i>	<i>Pieza</i>	<i>Q. 240,00</i>	<i>Q. 2,400,00</i>
<b>TOTAL</b>				<i>Q. 74,064,00</i>

Fuente: elaboración propia. Basada en cotización para conocer costos de equipo.

Así mismo como egresos se ha considerado el costo que se tendrá por la instalación del sistema, es acá donde se contempla el valor de la mano de obra del personal el cual ejecutara la implementación del sistema de telemetría.

Tabla III. **Detalle de egresos por instalación para el sistema de Telemetría**

<b>EGRESOS</b>				
<b>INSTALACIÓN</b>				
<i>Puesto</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Descripción</i>	<i>Horario</i>	<i>Sueldo</i>
<i>Supervisor de Instalación</i>	1	<i>Debe supervisar la instalación de la instrumentación a utilizar y es encargado de la planificación.</i>	<i>8:00 a 17:00 hrs.</i>	<i>Q.4 500,00</i>
<i>Personal de Instalación</i>	2	<i>Encargados de efectuar la instalación del equipo de instrumentación.</i>	<i>8:00 a 17:00 hrs.</i>	<i>Q. 3 200,00</i>
<i>Técnico IT</i>	1	<i>Configurara los equipos e instalara las aplicaciones</i>	<i>8:00 a 17:00 hrs.</i>	<i>Q. 3 800,00</i>
<b>TOTAL</b>				<b>Q. 14 700,00</b>

Fuente: elaboración propia. Egreso calculado con base a sueldo de personal.

Otro egreso que se toma en consideración es el que se hará anualmente por concepto de mantenimiento del sistema, donde se tiene en cuenta el personal ejecutor del mantenimiento así como un promedio anual de los insumos a utilizar en dicho mantenimiento.

Tabla IV. **Detalle de egresos por mantenimiento al sistema de Telemetría**

<b>EGRESOS</b>				
<b>Mantenimiento</b>				
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Costo</i>	<i>Costo/mensual</i>	<i>Total/anual</i>
<i>Personal Encargado de Realizar Mantenimiento</i>	1	Q. 2 000,00	Q. 2 000,00	Q. 24 000,00
<i>Insumos varios para Mantenimiento</i>	1	Q. 1 000,00	Q. 1 000,00	Q. 12 000,00
<b>TOTAL</b>				Q. 36 000,00

Fuente: elaboración propia. Egresos calculados con base al costo del mantenimiento del sistema de telemetría.

Luego de hacer un análisis de los costos, se ha procedido a realizar una estimación del ahorro teórico al cual se incurrirá al implementar el sistema de telemetría, dicho ahorro se detalla en la siguiente tabla.

Tabla V. **Detalle de ingresos del sistema de Telemetría**

<b>INGRESOS</b>				
<b>Detalle de ahorro al implementar el sistema de telemetría</b>				
<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Costo</i>	<i>Costo/mensual</i>	<i>Total/anual</i>
<i>Personal Encargado de Monitoreo</i>	1	Q. 2 500,00	Q.2 500,00	Q.30 000,00
<i>Combustible y mantenimiento promedio de vehículo</i>	1	Q. 2 550,00	Q. 2 550,00	Q. 30 600,00
<b>TOTAL</b>				Q. 60 600,00

Fuente: elaboración propia. Cálculo de ingresos por parte de ahorro por implementación del sistema de telemetría.

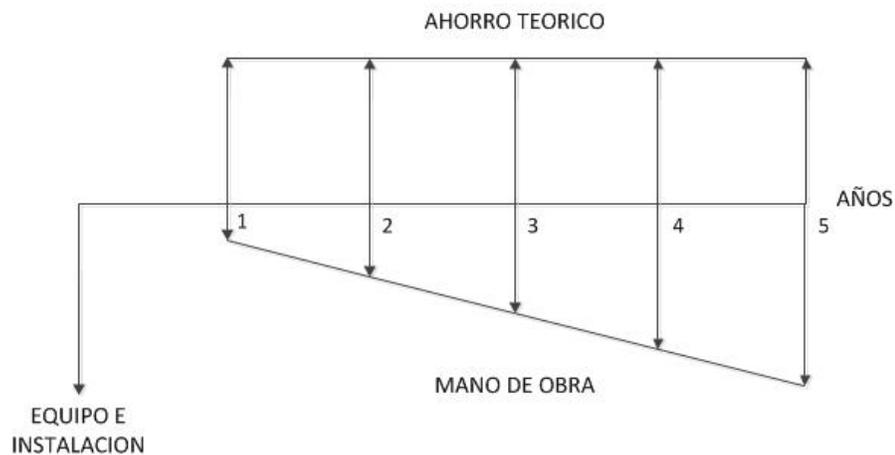
Como último detalle se realiza un resumen el cual muestra los totales de cada una de las tablas las cuales muestran los egresos e ingresos de la implementación del sistema telemétrico.

Tabla VI. **Resumen de egresos e ingresos al implementar el sistema de Telemetría**

EGRESOS	INGRESOS
Equipo Q. 74 064,00 inicial	Ahorro teórico Q. 60 600,00 anual
Instalación Q. 14 700,00 inicial	
Mantenimiento Q. 36 000,00 anual	

Fuente: eaboración propia. Resumen de ingresos y egresos.

Figura 33. **Flujo de efectivo para la implementación del sistema telemétrico**



Fuente: Elaboración propia. Representación de flujo de efectivo para la implementación del sistema de telemetría.

Se incurrirá al costo de materiales únicamente durante la etapa de instalación del nuevo sistema. Los costos de mano de obra presentarán un incremento del 2% anual debido a posibles alzas en equipo y materiales, mientras que el ahorro teórico percibido permanecerá constante a lo largo del tiempo.

El análisis económico se lleva a cabo para demostrar la rentabilidad nuevo sistema en un período no mayor de cinco años.

Tabla VII. **Flujo de efectivo para implementación del sistema telemétrico**

<i>Año</i>	<i>Egresos</i>	<i>Ingresos</i>
0	Q.88 764,00	
1	Q.36 000,00	Q. 60 600,00
2	Q.36 720,00	Q. 60 600,00
3	Q.37 454,40	Q. 60 600,00
4	Q.38 203,49	Q. 60 600,00
5	Q.38 967,56	Q. 60 600,00

Fuente: elaboración propia. Tabla de sumatorias de ingresos y egresos anuales.

El valor presente neto para la implementación del nuevo sistema de telemetría de pozos es:

$$\begin{aligned}
VPN &= (-Q.88\,764,00) + (Q.60\,600,00 - Q.36\,000,00) * \left[ \frac{1}{(1 + 0.07)^1} \right] \\
&\quad + (Q.60\,600,00 - Q.36\,720,00) * \left[ \frac{1}{(1 + 0.07)^2} \right] \\
&\quad + (Q.60\,600,00 - Q.37\,454,40) * \left[ \frac{1}{(1 + 0.07)^3} \right] \\
&\quad + (Q.60\,600,00 - Q.38\,203,49) * \left[ \frac{1}{(1 + 0.07)^4} \right] \\
&\quad + (Q.60\,600,00 - Q.38\,967,57) * \left[ \frac{1}{(1 + 0.07)^5} \right]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
VPN &= -Q.88\,764,00 + Q.22\,990,65 + Q.20\,857,72 + Q.18\,893,70 \\
&\quad + Q.17\,086,19 + Q.15\,423,63
\end{aligned}$$

$$VPN = Q.6\,487,90$$

Se puede observar que el VPN tiene un valor positivo, lo cual indica que la implementación del nuevo sistema es rentable.

### 3.5.2. Costo/Beneficio

El costo/beneficio se utiliza para evaluar la eficiencia con que se están utilizando los recursos a lo largo de la vida de un proyecto. Para que un proyecto sea determinado como rentable, los ingresos deben ser mayores que los egresos. Este análisis económico se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Costo/Beneficio} = \frac{\text{Ingresos}}{\text{Egresos}}$$

Donde:

*Ingresos = SumatoriadelosVPNdetodoslosingresos*

*Egresos = SumatoriadelosVPNdetodoslosegresos*

En primer lugar se determinan los VPN para cada uno de los beneficios y costos en forma individual en un período determinado, de esta manera, los VPN para la implementación del nuevo sistema son:

$$VPN_{Benef.1} = (Q. 60 600,00) * \left[ \frac{1}{(1 + 0.07)^1} \right] = Q. 56 635,51$$

$$VPN_{Benef.2} = (Q. 60 600,00) * \left[ \frac{1}{(1 + 0.07)^2} \right] = Q. 52 930,39$$

$$VPN_{Benef.3} = (Q. 60 600,00) * \left[ \frac{1}{(1 + 0.07)^3} \right] = Q. 49 467,65$$

$$VPN_{Benef.4} = (Q. 60600.00) * \left[ \frac{1}{(1 + 0.07)^4} \right] = Q. 46 231,45$$

$$VPN_{Benef.5} = (Q. 60 600,00) * \left[ \frac{1}{(1 + 0.07)^5} \right] = Q. 43 206,96$$

$$\begin{aligned} \sum VPN_{Benef} &= Q. 56 635,51 + Q. 52 930,39 + Q. 49 467,65 + Q. 46 231,45 \\ &+ Q. 43 206,96 \end{aligned}$$

$$\sum VPN_{Benef} = Q. 248 471,96$$

$$VPN_{Costo,0} = Q. 88 764,00$$

$$VPN_{Costo,1} = (Q. 36 000,00) * \left[ \frac{1}{(1 + 0.07)^1} \right] = Q. 33 644,86$$

$$VPN_{Costo,2} = (Q. 36 720,00) * \left[ \frac{1}{(1 + 0.07)^2} \right] = Q. 32 072,67$$

$$VPN_{Costo,3} = (Q. 37 454,40) * \left[ \frac{1}{(1 + 0.07)^3} \right] = Q. 30 573,95$$

$$VPN_{Costo,4} = (Q. 38 203,49) * \left[ \frac{1}{(1 + 0.07)^4} \right] = Q. 29 145,26$$

$$VPN_{Costo,5} = (Q. 38 967,56) * \left[ \frac{1}{(1 + 0.07)^5} \right] = Q. 27 783,33$$

$$VPN_{Costo} = Q. 33 644,86 + Q. 32 644,86 + Q. 32 072,67 + Q. 30 573,95 \\ + Q. 29 145,26 + Q. 27 783,33$$

$$VPN_{Costo,5} = Q. 241 984,07$$

Entonces, el costo/beneficio para la implementación del nuevo sistema es:

$$\frac{Costo}{Beneficio} = \frac{Q. 248 471,96}{Q. 241 984,07} = 1.026$$

El costo/beneficio indica que los ingresos obtenidos son un 10,26% mayor a los egresos, lo cual indica que la implementación del nuevo sistema si es rentable.

### 3.5.3. Retorno de la inversión

El período de retorno de la inversión indica el tiempo en el cual se recupera la inversión en un periodo determinado según sea el comportamiento el flujo de efectivo obtenido.

Tabla VIII. **Análisis de retorno de la inversión**

<i>Año</i>	<i>Egresos</i>	<i>Ingresos</i>	<i>Flujo</i>	
0	Q. 88 764,00	Q. 0,00	-(Q. 88 764,00)	
1	Q. 36 000,00	Q. 60 600,00	Q. 24 600,00	Retorna
2	Q. 36 720,00	Q. 60 600,00	Q. 23 880,00	
3	Q. 37 454,40	Q. 60 600,00	Q. 23 145,60	
4	Q. 38 203,49	Q. 60 600,00	Q. 22 396,51	
5	Q. 38 967,56	Q. 60 600,00	Q. 21 632,44	

Fuente: elaboración propia. Cálculo de retorno de la inversión.

Se estima que la inversión para llevar a cabo la implementación del nuevo sistema se retornará en su totalidad durante el primer año de la misma.



## **4. IMPLEMENTACIÓN DEL NUEVO DISEÑO**

### **4.1. Metodología para implementar el diseño del sistema telemétrico**

Durante la implementación del sistema de Telemetría, será necesario el conocer el estado de los equipos utilizados para la medición así como el de almacenamiento.

Luego de realizada la verificación de los equipos se procederá a la instalación del equipo vNet PoE a los dispositivos *Data Logger* y a la realización del cableado que llevara la señal al *Access Pointer*.

Luego de realizar la instalación de la instrumentación a cada uno de los pozos se realizara la instalación y configuración del *router*. Y como último paso se realizara la instalación del *software* ViewLinc y la configuración de la red para que cada una de las estaciones de medición ubicadas en los pozos tenga interacción dentro de toda la red.

#### **4.1.1. Especificación de equipos para la transmisión de datos**

La transmisión de datos se hará mediante el uso de un equipo llamado vNet PoE el cual es provisto por Vaisala Veriteq, el cual cuenta con las siguientes especificaciones generales.

Tabla IX. **Especificaciones técnicas vNet PoE**

<b>Funciones</b>	InterfazvNetPoE (CDL-VNET-P)
<b>Compatibilidad con el registrador</b>	Hardware v6.00 y posterior (Incluye los modelos: VL y SP 2000, 1000, 1200, 1016, 1416, 1400, 4000)
Conectividad Ethernet	IEEE 802.3af, 10Base-T Cable de conectividad categoría 5/5e; conector RJ-45; se incluye cable de 1,83 m (6 pies)
Configuración del dispositivo	Interfaz Web HTTP, Asistente de configuración para PC
Direccionamiento	DHCP/RARP, ARP-Ping, dirección IP estática para asignación de dirección IP, nombre NetBIOS
Firmware	Firmware actualizable por el usuario
Consumo de energía	Normal 625 mW, máximo 700 mW
Suministro de alimentación (incluida pero no necesaria al utilizar PoE)	América del Norte: 12 VCC/0,5 A como salida máx., 120 VCA de entrada Internacional: 12 VCC/1,66A como salida máx., 100 a 240 VCA de entrada
Dimensiones/Peso	10,2 cm (4,0"); Ancho: 10,2 cm (4,0"); Alto: 4,3 cm (1,7") Peso: 180 g (6,3 oz)

Fuente:<http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Brochures%20and%20Datasheets/CEN-LSH-Veriteq-PoE-datasheet-B211043EN-B.pdf>. Consulta: 01 de diciembre de 2011.

Así mismo en la siguiente tabla se tiene las especificaciones con las cuales cuenta el dispositivo enrutador el cual se empleara para la implementación del sistema Telemétrico.

Tabla X. **Especificaciones técnicas enrutador**

Descripción del producto	Linksys Wireless-G Broadband Router
Tipo de dispositivo	Enrutador inalámbrico – conmutador de 4 puertos integrado
Tipo incluido	Sobremesa
Protocolo de interconexión de datos	Ethernet, Fast Ethernet, IEEE 802.11b/g
Banda de frecuencia	2.4 GHz
Velocidad de transferencia	54 Mbps
Protocolo de direccionamiento	Direccionamiento IP estático
Protocolo de gestión remota	HTTP
Cumplimiento de normas	IEE 802.3, IEE 802.3u, IEE 802.3b, IEE 802.3g.
Dimensiones (Ancho x Profundidad x altura)	18.6 cm x 20 cm x 4.8 cm

Fuente: <http://homesupport.cisco.com/en-latam/support/routers/WRT54G>. Consulta: 01 de diciembre de 2011.

#### **4.1.2. Distribución de repetidoras para enlace de red**

Las repetidoras serán las antenas omnidireccionales instaladas en cada pozo las cuales efectuaran la interacción con el dispositivo de enrutamiento. Luego en la oficina se colocara una antena de este mismo tipo con el propósito

que también se tenga comunicación con el enrutador instalado en la parte más alta del cerro, esto con el propósito de cerrar el circuito de comunicación y se pueda tener acceso a cada uno de los datos generados por la instrumentación del pozo.

#### **4.1.3. Suministros de energía eléctrica para equipos**

Debido a que los equipos son diseñados para 12 Voltios de corriente directa, dichos dispositivos cuentan con su respectivo transformador el cual se puede conectar a una fuente de alimentación la cual provea 120 Voltios de corriente alterna, por tal situación se hará un panel el cual cuente con un flip-on como protección de los equipos y así poder derivar a un toma corriente para poder realizar las conexiones necesarias en lo que respecta la energía eléctrica. Cabe mencionar que en la estación del pozo ya existe energía de 120 Voltios, la cual es tomada de un transformador el cual va de los 480 Voltios a los 120 Voltios.

#### **4.1.4. Diagrama de instrumentación en pozo**

A continuación se muestra el diagrama general de la manera en que estará conectada la instrumentación en pozos.

Figura 34. Diagrama de instrumentación en pozo



Fuente: elaboración propia. Con base a las conexiones que se agregaran a la red inalámbrica.

#### 4.2. Beneficios que se obtendrán implementando un sistema telemétrico

Al momento de implementar el sistema telemétrico en los pozos de producción surgirán beneficios los cuales se describen a continuación:

- Rápido acceso a datos generados por la instrumentación instalada en los pozos.
- Monitoreo de pozos en tiempo real, sin necesidad de transportarse al pozo físicamente.
- Almacenamiento continuo de la información para su posterior análisis de esta manera facilitando el conocimiento de los niveles estáticos y dinámicos de los pozos.

Es de esta manera en que se hace un resumen de los beneficios más significativos los cuales se obtendrán con la implementación del sistema de telemetría.

#### **4.3. Distribución de personal para la implementación del sistema de telemetría**

El personal el cual estará a cargo de la implementación del sistema telemétrico cuenta con una distribución la cual está en función a sus atribuciones y responsabilidades, para lo cual se describe a continuación cada una de las distribuciones las que tendrán al momento de ejecutar la implementación del sistema.

- Supervisor de instalación: está encargado de la planificación para la instalación del sistema telemétrico, así mismo llevara un control de la logística de los equipos y materiales a utilizar. Sera el que entregara el sistema telemétrico funcionando a los interesados y dará una breve inducción para su uso.
  
- Personal de instalación: el personal de instalación será el que tiene a su cargo el comprobar el buen funcionamiento de los dispositivos de medición y almacenamiento, luego de realizado dicho análisis se procederá a la instalación de la red y conexiones eléctricas, de igual manera serán los que instalen el enrutador. En resumen están encargados de la instalación de toda la infraestructura de *hardware* del sistema telemétrico.

- Técnico IT: es el encargado de la instalación de la infraestructura de *software* del sistema de telemetría, ya que debe de configurar los *access pointer*, dispositivo vnet poe, enrutador y computadora, para que tengan interacción con la red y se pueda la transferencia de datos de un punto a otro.

#### **4.4. Conocimientos generales que debe poseer el personal ejecutor**

Para la implementación del sistema de telemetría se debe tener en cuenta que el personal debe de reunir ciertas características técnicas, teóricas y de seguridad industrial para poder ejecutar el proyecto.

##### **4.4.1. Área técnica**

Está orientado al saber hacer, a crear objetos artificiales que tienen una finalidad práctica, a satisfacer sus necesidades modificando la naturaleza. En el área técnica debido a la magnitud del proyecto a ejecutar se debe de contar con el conocimiento de instalación de redes, instrumentación de medición y de conexiones eléctricas de baja tensión.

##### **4.4.2. Área teórica**

El área teórica contemplara el contar con el conocimiento de configuración de *software* y *hardware* para el buen funcionamiento de los equipos, comprender cada uno de los equipos de medición y conocer el manejo de las señales analógicas las cuales derivan de dicha instrumentación.

#### **4.4.3. Área de seguridad e higiene industrial**

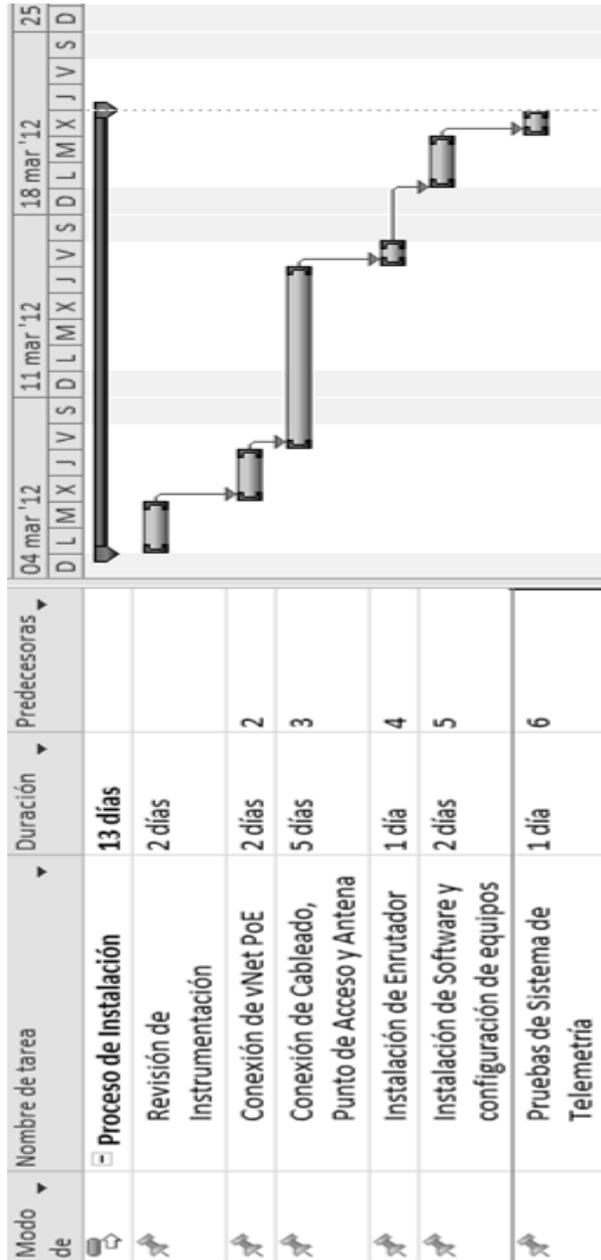
Debido a que el trabajo se llevara a cabo dentro de una empresa la cual su lema es que la seguridad es primero, debe tener en consideración el uso de equipo de protección personal, así mismo conocer sobre la manera en que se debe de realizar de manera segura los trabajos en altura y sin dejar atrás el manejo adecuado de vehículos dentro del proyecto, el obtener todos estos conocimientos será de vital importancia para evitar incidentes y accidentes.

Como reforzamiento a dichos conocimientos al momento de iniciar labores, los encargados de la implementación del sistema telemétrico tendrán que asistir a una charla de inducción de seguridad industrial la cual abarcaran temas generales para poder trabajar de manera segura dentro del la institución.

#### **4.5. Cronograma para la implementación del sistema telemétrico**

En la siguiente figura se muestra el cronograma de las actividades a llevar a cabo para la implementación del sistema de telemetría en pozos de producción.

Figura 35. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia. Planificación efectuada basada en la instalación de equipo y configuración de software.



## **5. SEGUIMIENTO**

### **5.1. Indicadores de efectividad del sistema telemétrico**

Los indicadores de efectividad son utilizados para evaluar la gestión de los equipos. En el sistema de telemetría se tendrá como un indicador de efectividad la cantidad de veces en las cuales el sistema este inactivo por situaciones de fallas en *software* y *hardware*.

Así mismo para asegurar la integridad de la información se harán recorridos mensuales cargando el *tubing* de 1/8 pulgadas con nitrógeno y se comprobara la presión del transductor de presión con un manómetro de glicerina, esto con el propósito de tener datos verídicos y de esta manera asegurar que los equipos de medición estén funcionando óptimamente.

Se crearan informes precisos y específicos del desempeño de los equipos, algunos de los cuales deben ir acompañados de gráficos fáciles de interpretar, de acuerdo al nivel de gestión

### **5.2. Estándares para la operación de bombeo electro sumergible**

Uno de los parámetros para conocer si el sistema de bombeo está operando de manera correcta, es por medio de establecer parámetros en los niveles de agua y flujo de descarga.

### 5.2.1. Niveles de agua

Los estándares de niveles contribuirán a mantener un buen funcionamiento en la bomba electro sumergible, ya que se debe tomar en cuenta que para que esta opere de manera eficiente y segura, se debe de considerar el tener una longitud de columna de agua sobre la bomba de un promedio de 100 metros.

Por lo tanto si se llega a tener una medición en la cual se tenga que el nivel de agua está por debajo de este margen se procederá a apagar la bomba, ya que se tendrá un nivel dinámico muy bajo y poco suficiente para poder garantizar un bombeo óptimo y se correría el riesgo que la bomba se quede sin agua y esto pueda generar defectos en el equipo. Para la determinación de este dato se hace realizan los siguientes cálculos.

$$\begin{aligned} \text{Nivel de agua}_{\text{sobre Bomba}} \\ = \text{Longitud bomba} - (\text{Longitud tubing} - \text{Presion} * 0.7028) \end{aligned}$$

Donde:

Longitud de bomba: es la longitud desde la succión de la bomba hasta el total de tubería ingresada al pozo.

Longitud de *tubing*: es la longitud del tubo capilar y va desde donde se acopla la bomba a la tubería a todo el total de tubos sumergidos en el pozo.

Presión: esta es la presión leída en el transductor de presión el cual está conectado al *tubing* y este es multiplicado por un factor de conversión de presión a longitud de columna de líquido.

### **5.2.2. Caudal de descarga**

El caudal de descarga es un parámetro el cual es de vital importancia para determinar el buen funcionamiento del equipo ya que si se tiene un bajo bombeo y el nivel de agua es el adecuado para que opere el equipo esto nos está señalando que la bomba está trabajando bajo condiciones en las cuales la tubería de descarga está restringida por calcita y al determinar este problema se debe de proceder a la extracción de tubería para poder reemplazarla por tubería limpia y de esta manera poder extraer el mayor volumen de agua posible.

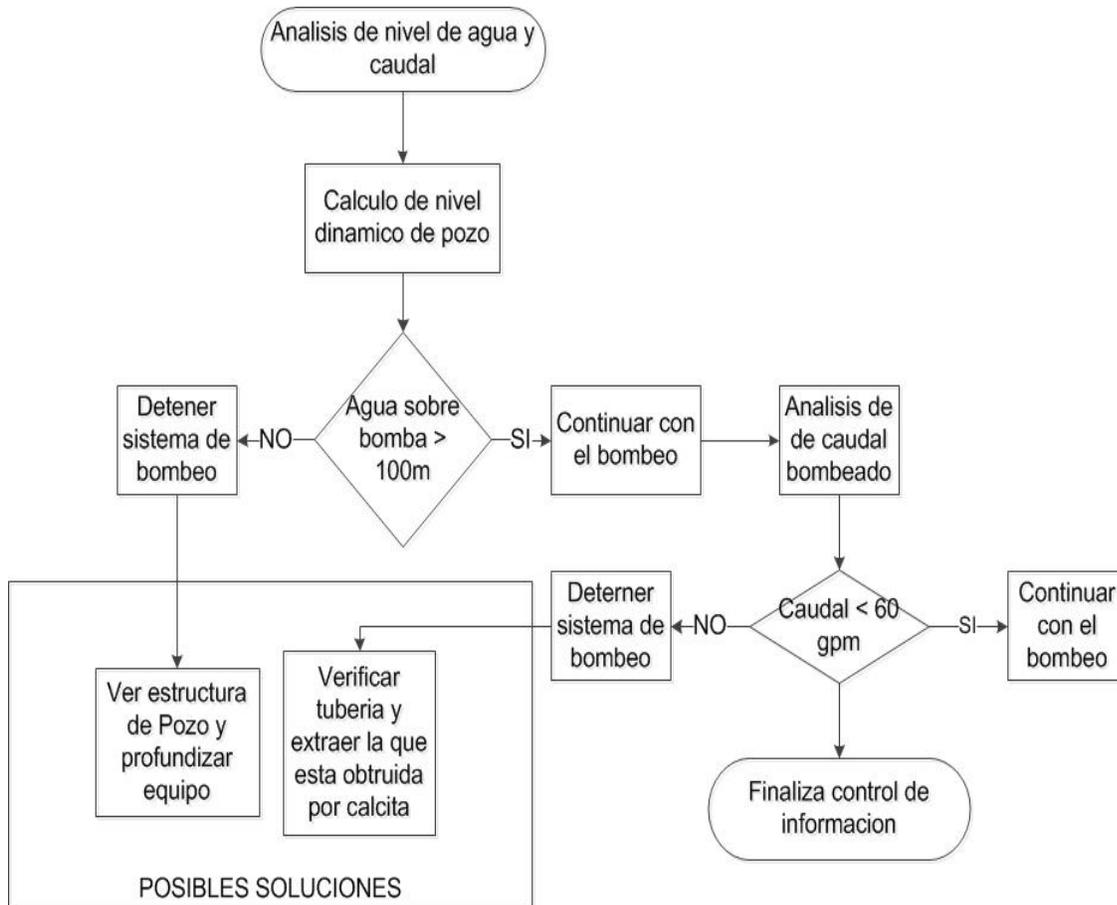
### **5.3. Control en la información obtenida para realizar mantenimiento**

El caudal y el nivel de agua son parámetros a los cuales se les debe prestar atención ya que en base a estos se puede determinar fallas en el sistema de bombeo, basándonos a las diferencias de los datos históricos de los caudales y nivel dinámico, se debe poner atención ya que en base a esta información se puede tomar la decisión de la dar mantenimiento al equipo.

La solución a los problemas determinados en los datos de caudal radica en la sustitución de la tubería obstruida por calcita y para cuando el nivel de agua es menor a los 100 metros sobre la bomba se puede estudiar el perfil del pozo y de esta manera asegurarnos que se puede profundizar el equipo de forma que se tenga un buen nivel de agua sobre la bomba.

A continuación se muestra un diagrama de flujo el cual explica de manera resumida las acciones a seguir según los datos obtenidos.

Figura 36. Diagrama de flujo de interpretación de datos



Fuente: elaboración propia. Diagrama de flujo con base a decisiones a tomar según la interpretación de la información.

## **6. MEDIO AMBIENTE**

### **6.1. Análisis de PH y conductividad del agua**

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una disolución. El pH indica la concentración de iones hidronio presentes en determinadas sustancias. Para la realización de dicha medición se emplea un potenciómetro el cual usa un electrodo cuyo potencial depende de la cantidad de iones H<sup>+</sup> estén presentes en una solución. Actualmente se ha obtenido que en la descarga de los pozos se tiene un pH 8,09 lo cual indica que el agua descargada esta en un rango de pH alcalino.

La conductividad se define como la capacidad de una sustancia de conducir la corriente eléctrica. La unidad de medición utilizada comúnmente es el micro Siemens/centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), al igual que en el medidor de pH se tiene un equipo el cual cuenta con un electrodo con el que se obtiene la medida de la conductividad aplicando un voltaje entre dos electrodos y de esta manera midiendo la resistencia de la solución. Al utilizar dicho equipo en el agua descargada de los pozos de producción se ha obtenido una conductividad promedio de 2,51 micro Siemens/centímetro  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Los análisis de pH y conductividad del agua que se descarga de los pozos se han realizado con el agua a una temperatura promedio de 80° grados centígrados.

## **6.2. Identificación de metales pesados en agua descargada**

Debido a que el agua subterránea por el contacto con la roca y por la característica geotérmica del sector en la cual se está extrayendo, tiende a contener cierta proporción de metales los cuales se concentran en su composición química. Entre los que se han identificado en la descarga de los pozos se puede hacer mención de arsénico, cadmio, cianuro, cobre, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo y zinc.

Cabe mencionar que dichos metales se encuentran en el agua, no porque se estén agregando, sino que por la formación rocosa, ya que si hay pirita, hay un alto riesgo de drenaje ácido. Por otra parte la alteración hidrotermal de las rocas también es un factor importante para que el agua descargada sea rica en Cu, As y Zn.

## **6.3. Plan de manejo de agua descargada**

Desde los estanques donde se descargan los pozos y túneles, el agua es tratada para reducir el contenido de arsénico, en una planta de tratamiento la cual tiene una capacidad de 1,500 galones por minuto. El principio básico del proceso de tratamiento es capturar el arsénico agregando hierro que atrapa las moléculas y floculantes de arsénico, que hacen que el componente de hierro-arsénico se precipite.

## **6.4. Análisis de agua antes del ingreso a planta de tratamiento**

El análisis se ha tomado del agua que se descarga de los pozos de producción, túneles norte y sur. A continuación se muestra en la tabla XI los resultados que se obtuvieron durante el análisis.

Tabla XI. **Resultados de análisis de agua antes de ser tratada**

<b>Parámetro</b>	<b>Dimensionales</b>	<b>Valores</b>
Grasas y aceites	Miligramos por litro	1500
Materia Flotante	Ausencia/Presencia	Presente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	3500
Nitrógeno total	Miligramos por litro	1400
Fosforo total	Miligramos por litro	700
Potencial de hidrogeno	Unidades de Potencial de hidrogeno	6 a 9
Coliformes fecales	Numero más probable en cien mililitros	$< 1 \times 10^8$
Arsénico	Miligramos por litro	0.5
Cadmio	Miligramos por litro	0.4
Cianuro total	Miligramos por litro	6
Cobre	Miligramos por litro	4
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	0.5
Mercurio	Miligramos por litro	0.1
Níquel	Miligramos por litro	6
Plomo	Miligramos por litro	4
Zinc	Miligramos por litro	10
Color	Unidades platino cobalto	1500
DBO5	Miligramos por litro	---
DQO	Miligramos por litro	---
Sólidos sedimentables	Miligramos por litro	---

Fuente: Proyecto Cerro Blanco. Informe de departamento de Medio Ambiente.

## **6.5. Descripción del proceso de tratamiento del agua**

Al agua contaminada se le agregan combinaciones de hierro que hacen que se depositen en el fondo los lodos, que luego son retirados y tratados. Luego el agua sin lodo se procede a oxigenarse mediante la acción de revolverlas o agitarlas para aclararlas, luego son filtradas en este caso se realiza mediante el apoyo de cloro gas ya que ayuda a que el agua tenga bajos márgenes de microorganismos los cuales puedan fomentar el crecimiento de algas, y posteriormente se traslada hacia una pileta en la cual se encuentra el agua tratada y se procede a su descarga al río El Tempisque.

Figura 37. **Planta de tratamiento de agua**



Fuente: Planta de tratamiento de agua en empresa minera Entre Mares de Guatemala, S.A.

#### **6.6. Análisis de agua después del proceso de tratado**

Luego que el agua pasa por el proceso de tratado, se ha procedido a recoger una muestra para conocer si los parámetros cumplen para que esta sea descargada al río El Tempisque y de esta manera se pueda asegurar que no generara ningún tipo de contaminación ambiental. A continuación en la tabla XII se muestra los resultados obtenidos.

Tabla XII. **Resultados obtenidos del agua después de proceso de tratado**

<b>Parámetro</b>	<b>Dimensionales</b>	<b>Valores</b>
Grasas y aceites	Miligramos por litro	< 2.062
Materia Flotante	Ausencia/Presencia	Ausente
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	8.0
Nitrógeno total	Miligramos por litro	0.40 (14) *
Fosforo total	Miligramos por litro	0.03
Potencial de hidrogeno	Unidades de Potencial de hidrogeno	8.09
Coliformes fecales	Numero más probable en cien mililitros	350
Arsénico	Miligramos por litro	0.0329
Cadmio	Miligramos por litro	< 0.0001
Cianuro total	Miligramos por litro	< 0.003
Cobre	Miligramos por litro	< 0.01
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	< 0.01
Mercurio	Miligramos por litro	< 0.0002
Níquel	Miligramos por litro	< 0.01
Plomo	Miligramos por litro	< 0.0001
Zinc	Miligramos por litro	0.11
Color	Unidades platino cobalto	110
DBO5	Miligramos por litro	< 6.0
DQO	Miligramos por litro	N.A.
Sólidos sedimentables	Miligramos por litro	0.10

Fuente: Proyecto Cerro Blanco. Informe de departamento de Medio Ambiente.

Con base a estos resultados se obtiene la resolución del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales concluyendo que el agua es apta para descargarse al río ya que cumple con los requerimientos. Dichos análisis del agua antes y después del proceso de tratamiento fueron realizados en Laboratorio ACZ ubicado en 2773 Downhill Steamboat Springs, Colorado USA.



## CONCLUSIONES

1. Un adecuado diseño de un sistema de telemetría garantiza que la información que se extraerá de la instrumentación de los pozos llegará de manera inmediata a la computadora, para que dicha información sea interpretada y así conocer el funcionamiento del sistema de bombeo.
2. Para establecer las tecnologías de transmisión de datos, se realiza a partir de la instrumentación que se posee para la medición, dadas estas características se hace uso de tecnología inalámbrica, esto se debe a que la distancia que existe entre cada pozo es muy grande y mediante cableado se tendría pérdida de la señal por la resistencia que ofrecería una sección de cable muy extenso.
3. La eliminación del personal es de vital importancia ya que se puede emplear a dichas personas en otras actividades, las cuales generen un mayor avance en la operación.
4. El procesamiento de la información de manera diaria apoyará a la interpretación de manera continua de los niveles de agua y caudales. Facilitando visualizar el avance que se obtiene mediante el sistema de bombeo.

5. El entorno receptor de información se hará mediante el apoyo de una computadora el cual tiene instalado un *software* especializado para la visualización y almacenamiento de la información, en donde se realizará el análisis de los niveles de agua de los pozos y los caudales que se producen durante el bombeo.
  
6. La ventaja de la implementación de un sistema telemétrico, radica en la obtención de datos en tiempo real, así mismo la interpretación de caudales y niveles de agua se realizarán de manera continua y de esta forma se sabrá las condiciones de operación de los equipos sumergibles de bombeo.
  
7. Mientras más datos se obtienen de los caudales y niveles de agua se pueden generar informes que posean mayor confiabilidad dado a la gran colección de datos que se poseen se pueden observar todas las variantes que se tienen durante todo el tiempo de la operación de los equipos.

## RECOMENDACIONES

1. Determinar la importancia de la operación de los equipos de bombeo electrosumergible y con el apoyo del monitoreo continuo de los niveles de agua y caudales conocer, si la operación de los mismos es eficiente o si se está realizando en condiciones apropiadas.
2. Cuando los niveles de agua sobre la bomba no corresponden con los que especifica el fabricante; es necesario detener el equipo electrosumergible y tomar la decisión de profundizar más tubería para llegar al nivel especificado de agua sobre la bomba y controlar constantemente, para asegurarse que el acuífero es capaz de suministrar el agua para que la bomba funcione correctamente.
3. Al momento de la realización de un plano para conocer cuál sería la distribución de los equipos inalámbricos para la transmisión de datos se debe realizar con base a las especificaciones de los fabricantes de los equipos a utilizar y de esta manera determinar las longitudes que puede cubrir sin producir ninguna pérdida de señal ni de información.
4. Realizar un consistente análisis de costos proporciona los diferentes escenarios que pueden presentar luego de la implementación de un determinado proyecto. Esto contribuye en la toma de decisiones correspondiente.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ALCIATORES, David G. *Introducción a la mecatrónica y los sistemas de medición*. 3a ed. Madrid: McGraw-Hill, 2004. 504 p.
2. BALLESTEROS CHAPARRO, Víctor. *Diseño de pozos profundos*. Colombia: Universidad de Santo Tomás, 2004. 85 p.
3. BANYERAS, Luis. *Bombas, ventiladores y compresores*. Barcelona: Ceac, 2005. 249 p.
4. GROOVER, Mikell P. *Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas*. México: Prentice Hall, 1996. 987 p.
5. JARAMILLO, José. *Diseño e implementación de un sistema de telemetría y telemando para el monitoreo de presión y control de válvulas reductoras de presión de la red de agua potable de la empresa municipal ETAPA a través del uso de la red celular*. [en línea]. [ref. 1 de diciembre de 2009] Disponible en web. <[dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/41/6/Indice.pdf](http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/41/6/Indice.pdf)>.
6. KOBR, Miroslav; HUIZAR, Rafael; CAMPOS, J. Oscar. *Evaluación hidrogeológica de pozos a través de registros geofísicos*. México: Universidad Nacional Autónoma, 2005. 89 p.

7. POTTER, Merle C.; WIGGERT, David C. *Mecánica de fluidos*. 3a ed.  
México: Thomson Learning, 2005. 659 p.
8. STALLINGS, William. *Comunicaciones y redes de computadores*. 7a ed.  
España: Pearson/Prentice-Hall, 2004 p.

## ANEXOS

Especificaciones de memoria de *data logger* Veriteq para intervalos de toma de datos.

M E M O R Y	
Memory Type	Non-volatile EEPROM
Data Sample Capacity	70,600 12-bit samples
Memory Modes	User-selectable: Wrap (FRQ) or stop when memory is full. User-selectable start time.
Sampling Rates	User-selectable (in 10 second intervals) from one every 10 seconds to once a day. (Battery life specified with sample interval of 1 min. or longer)
Recording Span	Recording span depends upon sample interval selected and number of channels enabled. Please see table below.

Sample Interval	Recording Span				
	Number of Channels				
	1	2	3	4	5
10 seconds	8.1 days	4.1 days	2.7 days	2.0 days	1.6 days
30 seconds	24.3 days	12.2 days	8.1 days	6.1 days	4.9 days
1 minute	1.6 months	24.3 days	16.2 days	12.1 days	9.7 days
5 minutes	8.1 months	4.1 months	2.7 months	2.0 months	1.6 months
15 minutes	2.0 years	1.0 years	8.1 months	6.1 months	4.9 months
1 hour	8.0 years	4.0 years	2.6 years	2.0 years	1.6 years

Fuente: <http://veriteq.com/download/datasheets/Veriteq-4000-g1-Series-Datasheet.pdf>

Consulta: 17 de noviembre de 2011