

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINERA Y METALÚRGICA



“OPTIMIZACIÓN DEL BOMBEO DE AGUA SUBTERRÁNEA EN UN TAJO ABIERTO”

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE MINAS**

**ELABORADO POR:
ILIAM ISARIO AGUIRRE HUAMAN**

**ASESOR:
ING. ENRIQUE RUIZ GONZALES**

**LIMA - PERÚ
2014**

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la oportunidad de compartir y
disfrutar de esto llamado vida

Al excelente grupo de profesionales del Área de
Servicios Mina – Drenaje Mina, por su compromiso
y esfuerzo en conseguir de los objetivos del año

2013.

DEDICATORIA

A mis padres César y Catalina por sus incansables
ánimos en ayudarme a alcanzar este objetivo.

A mi esposa Jessyca, a mis hijos Sergio, Claudia y
Valentina por su paciencia, apoyo y motivación
para seguir desarrollándome.

A mi hermano Niltón por ser mi ejemplo de
dedicación y esfuerzo.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

CAPITULO I MARCO TEÓRICO

1.1	DEFINICIONES HIDROGEOLOGICAS	21
1.1.1	Sistema de Bombeo	21
1.1.2	Flujos	21
1.1.3	Usages	22
1.1.4	Pozos	22
1.1.5	Napa Featica	22
1.1.6	Nivel Estático	22
1.1.7	Nivel Dinámico	23
1.1.8	Nivel de Succión	24
1.1.9	Collar de Pozo	24
1.1.10	Nivel Final de Pozo	24
1.1.11	Perfil Hidráulico	24
1.1.12	Curva de Rendimiento de Bombas	25
1.1.13	Altura Dinámica Total (HDT)	25
1.1.14	Altura Neta Positiva de Aspiración	25
1.1.15	Abatimiento	25
1.1.16	Capacidad Especifica de Pozos	26

1.2	EQUIPOS MECÁNICOS	26
1.2.1	Bombas	26
1.2.2	Motor	27
1.2.3	Casing o Línea	27
1.2.4	Tubería	28
1.2.5	Flujometro	29
1.2.6	Sensor de Presión	29
1.2.7	Válvula de Control	29
1.2.8	Válvula Check	30
1.2.9	Tableros	30
1.2.10	Tanques de Rebombeo Móviles	30
1.2.11	Sub-estación de Energía	31

CAPITULO II SISTEMAS DE BOMBEO SUBTERRANEO TAJO OESTE

2.1	ANTECEDENTES	32
2.2	SISTEMAS EXISTENTES	33
2.2.1	Pozos	35
2.2.2	Tanque de Rebombeo	38
2.2.3	Sub-estación de Energía	40
2.2.3.1	Transformadores de Alta Media	39
2.2.3.2	Transformadores de Media Baja	40
2.2.4	Tubería	43

2.3	PLAN INICIAL DE BOMBEO	43
-----	------------------------	----

CAPITULO III NUEVO PLAN HIDROGEOOLÓGICO 2013

3.1	NUEVA CURVA DE DESCENSO FREÁTICO 2013 – 2014	54
-----	--	----

CAPITULO IV ANÁLISIS DE OPTIMIZACIÓN DE POZOS EXISTENTES

4.1	OPTIMIZACIÓN DE FLUJOS	57
4.1.1	Capacidad Específica de Pozos	57
4.1.2	Perfil Hidráulico	61
4.1.3	Curva de Rendimiento de Bombas	65
4.1.4	Selección de Bomba y Altura Dinámica Total	70
4.2	Optimización de Usage	77

CAPITULO V ANÁLISI DE SISTEMAS DE REBOMBEO

5.1	DEFINICIÓN DE UBICACIONES	83
5.2	TANQUES DE REBOMBEO	90
5.2.1	Capacidad de Rebombeo	91
5.2.2	Tiempo de Construcción	91
5.2.3	Costos	92
5.3	POZAS DE REBOMBEO	94
5.3.1	Capacidad de Rebombeo	94
5.3.2	Tiempo de Construcción	94
5.3.3	Costos	95

5.4	BOMBAS EN SERIE	95
5.4.1	Capacidad de Rebombeo	95
5.4.2	Tiempo de Construcción	96
5.4.3	Costos	96
5.5	RESUMEN DE LOS SISTEMAS DE REBOMBEO	96

CAPITULO VI CONSTRUCCIÓN Y MONITOREO

6.1.	DEFINICIÓN DE LOS SISTEMAS DE REBOMBEO	98
6.2.	CONSTRUCCIÓN DE LOS SISTEMAS	99
6.3.	RESULTADOS EN OPERACIÓN	107
6.4.	SUMPS	115

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Diagrama de pozo	23
Figura 2.1 Plan de drenaje subterráneo 2012 – 2013	34
Figura 2.2 Plano de Ubicación de pozos en el Tajo Oeste	36
Figura 2.3 Plano de Ubicación de Piezómetros	37
Figura 2.4 Plano de Planta del sistema de Rebombeo Machupichu	39
Figura 2.5 Plano de Distribución de energía Tajo oeste	42
Figura 2.6 Curva de flujos 2012 plan vs real	45
Figura 2.7 Pozo PTO -01	46
Figura 2.8 Pozo PTO -02	46
Figura 2.9 Pozo PTO -04	46
Figura 2.10 Pozo PTO -06	46
Figura 2.11 Pozo PTO -03	47
Figura 2.12 pozo PTO -05	47
Figura 2.13 Pozo PTO -07	48
Figura 2.14 Pozo PTO -08	48
Figura 2.15 Pozo PTO -09	48
Figura 2.16 Pozo PTO -10	49
Figura 2.17 Usages 2012 plan vs real	50
Figura 2.18 Usages Zona I	51

Figura 2.19 Usage Zona II	51
Figura 2.20 Usage Zona III	52
Figura 2.21 Curva napa freática 2012	53
Figura 3.1 Plan Hidrogeológico 2013-2014	56
Figura 4.1 Plano de ubicación de los pozos nuevos	60
Figura 4.2 Altura estática	62
Figura 4.3 Diagrama Altura Dinámica total	64
Figura 4.4 Curva de rendimiento de una bomba	69
Figura 4.5 Curva de bomba 9HL (8 etapas)	69
Figura 4.6 Curva de la bomba 9 ML (7 etapas)	69
Figura 4.7 Rangos de HDT óptimos	71
Figura 4.8 Rangos de HDT óptimos	72
Figura 4.9 Rango óptimo de HDT	78
Figura 4.10 Voladura en pozos con cara libre	78
Figura 4.11 Zona critica para voladura	78
Figura 4.12 Voladura de paquetes	79
Figura 4.13 Descreste con voladura	80
Figura 4.14 Voladura masiva	81
Figura 4.15 Secuencia de salida	81
Figura 4.16 Zona de influencia de los disparos	82
Figura 5.1 Ubicaciones para los nuevos sistemas de rebombeo	85
Figura 5.2 Perfil hidráulico Zona I	87

Figura 5.3 Perfil hidráulico Zona II	88
Figura 5.4 Perfil hidráulico Zona III	89
Figura 5.5 Esquema de tanques de bombeo	91
Figura 5.6 Cronograma de construcción	92
Figura 5.7 Cronograma de construcción	92
Figura 5.8 Cronograma de construcción	94
Figura 6.1 Tiempo de construcción del sistema de rebombeo Machupichu	100
Figura 6.2 Plano del sistema de rebombeo Machupichu	101
Figura 6.3 Tiempo de construcción del sistema de rebombeo El Alto	102
Figura 6.4 Plano del sistema de rebombeo EL Alto	104
Figura 6.5 Tiempo de construcción del sistema de rebombeo en Moche	105
Figura 6.6 Diseño de poza Moche	106
Figura 6.7 Curva de usages 2013	108
Figura 6.8 Curva de usages 2012-2013	108
Figura 6.9 Curva usage Zona I	109
Figura 6.10 Curva de usage Zona II	109
Figura 6.11 Curva de usage Zona III	110
Figura 6.12 Flujos 2013	110
Figura 6.13 Flujos zona I	111
Figura 6.14 Flujos Zona II	112
Figura 6.15 Flujos Zona III	112
Figura 6.16 Curva Hidrogena 2013	114

Figura 6.17 Sump	116
Figura 6.18 Vista Tajo Oeste	116

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Especificaciones de tuberías	28
Tabla 1.2 Presiones en tuberías	29
Tabla 2.1 Datos de pozos a diciembre 2012	35
Tabla 2.2 Capacidad tanque Machupichu	38
Tabla 2.3 Costos tanque Machupichu	38
Tabla 2.4 Capacidad tanque El alto	40
Tabla 2.5 Subestación	40
Tabla 2.6 Capacidad de Energía Tajo Oeste	41
Tabla 2.7 Datos de tuberías	43
Tabla 2.8 Plan Flujos 2012	44
Tabla 2.9 Flujos obtenidos 2012 tajo oeste	44
Tabla 2.10 Plan usages 2012	49
Tabla 2.11 Usages obtenidos 2012	50
Tabla 3.1 Plan flujos y usages 2013	51
Tabla 4.1 Capacidad de Pozos	58
Tabla 4.2 Altura Dinámica total	65
Tabla 4.3 Tipos de bombas en los pozos	66
Tabla 4.4 Incremento de flujo	70
Tabla 4.5 Incremento de flujo	71

Tabla 4.6 Incremento de flujo	73
Tabla 4.7 Resumen análisis de HDT óptimos	74
Tabla 4.8 Ubicación de pozos nuevos	75
Tabla 4.9 Oportunidades de pozos	76
Tabla 5.1 Ubicaciones de los sistemas de rebombeo	84
Tabla 5.2 Nuevas ubicaciones	84
Tabla 5.3 Validación de ubicaciones	86
Tabla 5.4 Flujos y HDT para Zona I	88
Tabla 5.4 Flujos y HDT para Zona II	88
Tabla 5.5 Flujos HDT para Zona III	89
Tabla 5.6 Costos segunda opción	93
Tabla 5.7 Costos tercera opción	93
Tabla 5.8 Costos de pozo de rebombeo	95
Tabla 5.9 Sistema de Rebombeo	96
Tabla 6.1 Sistema de rebombeo Zona I	98
Tabla 6.2 Sistema de rebombeo Zona II	99
Tabla 6.3 Sistema de rebombeo Zona III	99
Tabla 6.4 Capacidad de bombeo en Machupichu	100
Tabla 6.5 Costos del sistema de rebombeo Machupichu	100
Tabla 6.6 Capacidad sistema de rebombeo El Alto	102
Tabla 6.7 Costos del sistema de rebombeo El Alto	103
Tabla 6.8 Capacidad del sistema de rebombeo Moche	105

Tabla 6.9 Costos del sistema de bombeo Moche	106
Tabla 6.10 Costos unitarios y tiempos	107
Tabla 6.11 Ahorros en la construcción de los sistemas de bombeo	107

NOMENCLATURA

TDH: Total Dynamic Head – Altura dinámica total.

NPSH: Altura Neta Positiva de Aspiración.

HP: HorsePower – Caballos de Fuerza.

PH: Medida de acidez.

l/s: litros por segundo.

SDR: Standard Dimension Ratio.

m³/hr: Metros cúbicos por hora.

RESUMEN

El Objetivo de la presente Tesina es asegurar el descenso de la napa freática en el Tajo Oeste de Minera Colorado, mediante la optimización de los sistemas de bombeo subterráneos, para el cumplimiento del plan de producción de onzas 2013.

El Plan de Producción 2013 contempla una extracción de 1 Millón de onzas de oro, de las cuales un 46% serán extraídas del Tajo Oeste, la napa freática se encontraba en el nivel 3354 a inicios del 2013 y requiere ser deprimida según los planes de minado hasta el nivel 3288 para Diciembre del año en mención.

Los estudios Hidrogeológicos realizados por una consultora especializada han determinado la necesidad de incrementar el Flujo Total de bombeo en el Tajo Oeste de 560 l/s a 700 l/s, concluyendo en aumentar los flujos en los pozos existentes y la construcción de 7 pozos nuevos.

Mediante el análisis y optimización de los sistemas de rebombeo, realizado en el área de Servicios Mina, se ha podido reducir las Alturas Dinámicas Totales (TDH) en los perfiles hidráulicos de los pozos subterráneos incrementando el flujo en sus bombas y mejorando los usages.

Las facilidades para la ingeniería, construcción, disponibilidad de equipos y el bajo costo en comparación con los sistemas tradicionales de rebombeo han ayudado a implementareficientemente Pozas y Tanques Móviles de Rebombeo para el

cumplimiento del descenso de la napa freática, esto con el soporte de las áreas de Hidrogeología, Planeamiento Corto Plazo y Operaciones Mina.

ABSTRACT

The aim of this study is to decrease water table decrease on West pit in Colorado mine; this has been attained through an underground pumping system optimization in order to comply with production planning for this year

2013 production planning considers one million ounces of gold extraction, 46% of this amount will be extracted from West pit. Level of water table was 3354 at the beginning of 2013, and according to mine planning it needs to be decreased to level 3288 by December 2013.

Hydrogeological studies made by a specialized consulting company have established that a total pumping flow must be increase on west pit from of 560 l/s to 700 l/s; in order to attain our objectives, current pond flows must be increased and 7 new ponds must be drilled.

Through the analysis and repumping systems optimization, activities that were made in mine services area, it was possible to reduce total dynamic height on hydraulic profiles of underground ponds increasing pumps flow and improving the usages.

Engineering facilities, building facilities, equipment availability and low cost, if we compare traditional repumping systems, have helped to implement efficiently ponds and mobile tanks repumping to achieve water table decrease, it could be also possible with Hydrogeological department, short term planning department and mine operation support.