

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN – TACNA

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica

**DISEÑO DE ESTACIÓN DE BOMBEO AUTOMATIZADA
PARA LA EXPLOTACIÓN DE RECURSO HÍDRICO
SUBTERRÁNEO EN LA REGIÓN DE TACNA**

TESIS

Presentada por:

Bach. GIANMARIO KELVIN JESÚS MANCHEGO GIL

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO MECÁNICO

TACNA – PERÚ

2019





UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN – TACNA

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica

DISEÑO DE ESTACIÓN DE BOMBEO AUTOMATIZADA PARA LA EXPLOTACIÓN DE RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO EN LA REGIÓN DE TACNA

Trabajo de tesis sustentado por el Bachiller GIANMARIO KELVIN JESUS MANCHEGO GIL, aprobado el 17 de julio del 2019, el Jurado Calificador estuvo integrado por:

PRESIDENTE	:	 MSc. Edgardo Teófilo Valdez Cortijo
SECRETARIO	:	 Dr. Jesús Plácido Medina Salas
VOCAL	:	 Ing. Reynaldo Clemente Telles Ríos
ASESOR	:	 MSc. Avelino Godofredo Pari Pinto

DEDICATORIA

A todo aquel que lea este trabajo y le sea de ayuda, expresamente a nuestro Padre que siempre nos cuida, a la familia que siempre está con uno y en especial se lo dedico a mi madre Rosa María Gil y a mis abuelitos Raúl y Clotilde Gil

AGRADECIMIENTOS

A Dios, nuestro Padre, por darme tanto, sin pedir nada a cambio

A Jesucristo, hijo único, mi Señor y nuestro hermano, por su sacrificio para salvar nuestras vidas

Al Espíritu Santo, por iluminarnos siempre

A María, la madre de Jesús como la nuestra, por velar y cuidar de nosotros

A mis padres, por su apoyo incondicional

A mis hermanos, por su compañía y cariño

A mis abuelitos, tíos y tías, por sus deseos y guía

A mi madrina Luisa, que sigue velando por nosotros

A mis amigos, de mi comunidad, trabajo, universidad y colegio, por su entusiasmo y consejos

A mis maestros, por obsequiar sus conocimientos y guía en especial a mi asesor

Ing. Avelino Pari Pinto

Y a todas aquellas personas que no se sintieron nombradas e hicieron posible este momento, mil gracias a todo mundo

CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
CONTENIDO	v
RESUMEN	xx
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	3
1.1.1. Antecedentes del problema	3
1.1.2. Problemática de la investigación	16
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	18
1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES	19
1.5. OBJETIVOS	21
1.5.1. Objetivo general	21
1.5.2. Objetivos específicos	21
1.6. HIPÓTESIS	21
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	22
2.2. BASES TEÓRICAS	25
2.2.1. El recurso hídrico subterráneo o agua subterránea	25
A. Zona de aireación	26

B.	Zona de saturación	26
C.	El nivel freático	26
2.2.2.	La estación de bombeo	28
2.2.3.	Criterios para el diseño del sistema de captación	31
A.	El caudal de explotación	31
B.	La profundidad de perforación	32
C.	El diámetro de perforación	32
D.	El pre-pozo para sello sanitario	33
E.	El pozo piloto	34
F.	La cementación para el sello sanitario y el sello bentónico	36
G.	El pre-filtro	38
H.	El ademe, encamisado o entubado	41
I.	El filtro	44
J.	Instalación del entubado del ademe y el filtro	46
K.	El desarrollo del pozo	48
2.2.4.	Criterios para el diseño del sistema de perforación	49
2.2.5.	Criterios para la selección y operación de la máquina perforadora	54
A.	Velocidad de rotación	55
B.	Diámetro de perforación	56
C.	Fuerza de empuje	57
D.	Velocidad y caudal del aire de barrido	60
a.	Velocidad del fluido	61
b.	Caudal del fluido	62
c.	Presión del fluido	63
E.	Fuerza de tracción	64
2.2.6.	Criterios para la selección de la herramienta de perforación	64
2.2.7.	Criterios para la selección de la sarta de perforación	67
2.2.8.	Criterios para el diseño para la caseta de bombeo	68

2.2.9. Criterios para el diseño para la cisterna de bombeo	70
2.2.10. Criterios para el diseño del sistema hidráulico	72
A. Ensayo de bombeo para el pozo profundo	72
B. Cargas dinámicas o alturas manométricas totales	74
a. Carga de succión (H_s)	74
b. Sumergencia mínima (ΔH)	75
c. Carga de impulsión (H_i)	76
2.2.11. Criterios para la selección del equipo de bombeo	77
A. Potencia del equipo de bombeo	77
B. Número de unidades de bombeo	78
C. Tipos de bombas	78
a. Bombas centrífugas horizontales	79
b. Bombas centrífugas verticales	80
c. Bombas sumergibles	81
D. Tipos de motores	82
a. Motores eléctricos	83
b. Motores de combustión interna	83
2.2.12. Criterios para el diseño de tuberías y accesorios	84
A. NPSH (Carga de succión neta positiva)	90
a. NPSH requerido	91
b. NPSH disponible	91
2.2.13. Criterios para la selección de tuberías y accesorios	92
A. Selección del material	92
B. Selección de la presión nominal	93
C. Selección del diámetro nominal	93
D. Cálculo para determinar el espesor mínimo	94
E. Selección de la tubería normalizada	95
2.2.14. Criterios para el diseño del sistema eléctrico	95

A.	Determinación de la altura de suspensión de las luminarias	95
B.	Distribución de las luminarias	96
C.	Cálculo del flujo luminoso a producir	98
D.	Cálculo para la selección del conductor eléctrico e interruptores termomagnéticos	101
E.	Cálculo para determinar la resistencia de la puesta a tierra	103
2.2.15.	Criterios para el diseño de la subestación eléctrica	104
2.2.16.	Criterios para el diseño del sistema de control automatizado	105
2.2.17.	Criterios para la operación de la estación de bombeo	107
2.2.18.	Criterios para el mantenimiento de la estación de bombeo	110
2.3.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	111

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1.	TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	118
3.2.	POBLACION Y MUESTRA	118
3.3.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	119
3.4.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCION DE DATOS	120
3.4.1.	Estrategias para el objetivo	120
A.	Para el objetivo específico 1	120
B.	Para el objetivo específico 2	122
C.	Para el objetivo específico 3	123
3.4.2.	Técnicas de recolección de datos	124
3.4.3.	Instrumentos y equipos	124
3.5.	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	125

CAPÍTULO IV: DISEÑO CONCEPTUAL DEL POZO PROFUNDO

4.1.	DISEÑO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN	126
------	---------------------------------	-----

4.1.1.	Ubicación de los pozos profundos y estaciones de bombeo	126
4.1.2.	Caudal y tiempo de explotación proyectado del pozo profundo	130
4.1.3.	Diámetro del ademe o entubado del pozo profundo	130
4.1.4.	Diámetro de perforación para la instalación del entubado	131
4.1.5.	Diseño del pozo profundo	131
4.1.6.	Diseño del ademe o entubado del pozo profundo	136
A.	Selección del material de la tubería	136
B.	Especificaciones del diámetro nominal y exterior de la tubería	137
C.	Determinación del espesor y diámetro interno de la tubería	137
4.1.7.	Diseño del filtro	143
4.1.8.	Diseño de la instalación del entubado del ademe y el filtro	145
A.	Diseño de las uniones de las tuberías	145
B.	Selección de la abrazadera y accesorios para la instalación.	148
4.1.9.	Especificaciones para la cementación, sello bentónico y pre-filtro	149
A.	Especificaciones de la cementación para la cubierta	149
B.	Especificaciones de la cementación para la losa de fondo	149
C.	Especificaciones de la cementación para el entubado del pozo	149
D.	Especificaciones del sello bentónico	150
E.	Especificaciones del pre-filtro	150
4.1.10.	Diseño del pre-pozo para el sello sanitario	151
4.1.11.	Diseño del procedimiento de perforación del pozo profundo	152
4.1.12.	Diseño del desarrollo del pozo profundo	153
4.2.	DISEÑO DEL SISTEMA DE PERFORACIÓN	154
4.2.1.	Selección del método de perforación	154
4.2.2.	Cálculo de las variables de operación	155
A.	Velocidad de rotación	156
B.	Diámetro de perforación	157
C.	Fuerza de empuje	157

D.	Velocidad y caudal de aire de barrido	158
a.	Velocidad del fluido	158
b.	Caudal del fluido	159
c.	Presión del fluido	160
E.	Fuerza de tracción	160
4.2.3.	Selección de la máquina perforadora	161
4.2.4.	Selección de la herramienta de perforación	165
4.2.5.	Selección de la sarta de perforación	166

CAPÍTULO V: DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA ELECTROMECAÁNICO DE BOMBEO

5.1.	DISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO	167
5.1.1.	Ensayo de bombeo para el pozo profundo	167
5.1.2.	Selección del tipo de bomba	167
A.	Para el pozo profundo	167
B.	Para la cisterna	168
5.1.3.	Selección de la cantidad de bombas	168
A.	Para el pozo profundo	168
B.	Para la cisterna	169
5.1.4.	Caudal de bombeo	169
A.	Para el pozo profundo	169
B.	Para la cisterna	170
5.1.5.	Diseño de las tuberías	170
A.	Para el pozo profundo	170
a.	Selección del material	170
b.	Cálculo del diámetro nominal y espesor	171
B.	Para la cisterna	173
a.	Selección del material	173

b.	Cálculo del diámetro nominal y espesor	173
5.1.6.	Selección de los accesorios necesarios	175
A.	Para el pozo profundo	175
B.	Para la cisterna	177
5.1.7.	Selección del equipo de bombeo	179
A.	Profundidades de instalación	179
a.	Para el pozo profundo	179
b.	Para la cisterna	180
B.	Cálculo de pérdidas de altura y altura de la columna de bombeo en el sistema de instalación	181
a.	Para el pozo profundo	181
b.	Para la cisterna	185
C.	Selección del equipo de bombeo	193
a.	Para el pozo profundo	194
b.	Para la cisterna	196
5.1.8.	Cálculo de las presiones nominales para la selección de accesorios	200
A.	Para el pozo profundo	200
B.	Para la cisterna	202
5.2.	DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO	206
5.2.1.	Cálculo para el alumbrado interior de la caseta de bombeo	206
A.	Para el pozo profundo	206
B.	Para la cisterna	210
C.	Para la caseta del operador y servicio higiénico	215
5.2.2.	Cálculo para el alumbrado exterior de la caseta de bombeo	218
5.2.3.	Cálculo de tomacorrientes	219
5.2.4.	Cálculo de la potencia de instalación para el tablero de control de los equipos de bombeo	221

A.	Para el pozo profundo	221
B.	Para la cisterna	222
5.2.5.	Cálculo de la máxima demanda y circuitos en el tablero general	222
5.2.6.	Calculo para determinar el tipo de conductor, entubado y accesorios	223
5.2.7.	Cálculo de la resistencia del pozo a tierra	228
5.2.8.	Diseño de la subestación eléctrica	229
5.3.	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO	230
5.3.1.	Para el pozo profundo	230
5.3.2.	Para la cisterna	235

CAPÍTULO VI: OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO

6.1.	OPERACIÓN DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO	241
6.1.1.	Hoja de reporte diario de operación	241
6.1.2.	Procedimiento para la operación del pozo profundo	241
A.	Antes de dar marcha al equipo de bombeo	241
B.	Para dar marcha al equipo de bombeo	242
C.	Durante el funcionamiento del equipo de bombeo	243
D.	Para parar el equipo de bombeo	243
6.1.3.	Procedimiento para la operación de la cisterna	244
A.	Antes de dar marcha al equipo de bombeo	244
B.	Para dar marcha al equipo de bombeo	244
C.	Durante el funcionamiento del equipo de bombeo	245
D.	Para parar el equipo de bombeo	247
6.2.	MANTENIMIENTO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO	247
6.2.1.	Análisis de criticidad de los equipos	247
6.2.2.	Plan y programa de mantenimiento	249
6.2.3.	Hoja de reporte de mantenimiento de los equipos de bombeo	252

6.2.4. Procedimiento para el mantenimiento del pozo profundo	253
6.2.5. Hoja de reporte de mantenimiento del pozo profundo	256
6.3. NORMATIVAS DE CUMPLIMIENTO	256

CAPÍTULO VII: ANÁLISIS FINANCIERO

7.1. COSTO DE INVERSIÓN	257
7.1.1. Cronograma de desarrollo	257
7.1.2. Presupuesto de inversión	257
7.2. FINANCIAMIENTO	267
7.3. INGRESOS, COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	267
7.3.1. Ingresos del proyecto	267
7.3.2. Costos de operación y mantenimiento del proyecto	268
7.4. ANÁLISIS DE RENTABILIDAD	269

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

PLANOS

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Proyección de la población	6
Tabla 2. Balance hídrico, demanda total y oferta sin proyecto	7
Tabla 3. Especificaciones comerciales de tabletas de bentonita	38
Tabla 4. Especificaciones comerciales de gravas para perforación	40
Tabla 5. Diámetros de tubería y filtro según el caudal	42
Tabla 6. Espesores para profundidades máximas recomendadas	43
Tabla 7. Comparación entre los diferentes métodos de perforación	50
Tabla 8. Clasificación de la dureza de las rocas	55
Tabla 9. Velocidades de rotación según la dureza de las rocas	56
Tabla 10. Fuerza de empuje según tipo de roca	59
Tabla 11. Velocidad ascensional del fluido según el tipo de roca	62
Tabla 12. Utilización de aparatos según la altura del local	97
Tabla 13. Uniformidad de iluminación	97
Tabla 14. Tipo de tarea visual o actividad	99
Tabla 15. Iluminación de servicio	100
Tabla 16. Operacionalización de variables	119
Tabla 17. Ubicación proyectada para los pozos de explotación PEEPS	127

Tabla 18. Estado y distanciamiento de los pozos vecinos respecto a los pozos propuestos de explotación	128
Tabla 19. Permeabilidad de los estratos hidrogeológicos	132
Tabla 20. Espesores y profundidades de los estratos hidrogeológicos	133
Tabla 21. Profundidades de instalación del entubado para el pozo proyectado PEEPS-02	134
Tabla 22. Profundidades de instalación de la cementación, sello bentónico y pre-filtro para el pozo proyectado PEEPS-02	135
Tabla 23. Alturas del agua	140
Tabla 24. Alturas del concreto y de la grava	141
Tabla 25. Requisitos técnicos mínimos para la máquina perforadora	161
Tabla 26. Especificaciones técnicas básicas de la máquina perforadora T3W	164
Tabla 27. Nivel dinámico estimado de los pozos propuestos en el estudio hidrogeológico	179
Tabla 28. Profundidad de instalación de la bomba sumergible	180
Tabla 29. Cálculo de las máximas demandas en los circuitos	223
Tabla 30. Cálculo de las capacidades de corrientes	224
Tabla 31. Cálculo de las caídas de tensión	225
Tabla 32. Evaluación de la caída de tensión permisible	226

Tabla 33. Selección del diámetro de la tubería de PVC para cableado eléctrico	227
Tabla 34. Cálculo y selección del interruptor magneto-térmico	228
Tabla 35. Plan de mantenimiento	250
Tabla 36. Resumen del análisis de costo unitario por tarea	258
Tabla 37. Costo de inversión segregado	266
Tabla 38. Análisis del flujo neto efectivo anual	269

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Balance hídrico, demanda total y oferta sin proyecto	8
Figura 2. Estación de bombeo de agua subterránea abandonado en la Yarada - Tacna	12
Figura 3. Extensión de la contaminación de origen superficial a través de un pozo de construcción deficiente y/o abandonada en presencia de flujos verticales	14
Figura 4. Distribución vertical del agua subterránea	27
Figura 5. Esquema típico de una estación de bombeo	29
Figura 6. Vista de detalle de un pozo engravado	41
Figura 7. Flujo hacia afuera y hacia adentro del filtro para lograr un correcto desarrollo del pozo	49
Figura 8. Comparación entre los diferentes métodos de perforación	51
Figura 9. Método de rotación con circulación directa	52
Figura 10. Método de rotación con circulación inversa	53
Figura 11. Campo de aplicación de los métodos de perforación y diámetro de herramienta	57
Figura 12. Campo de aplicación de las herramientas de perforación	65

Figura 13. Esquema del tricono	66
Figura 14. Esquema de la sarta de perforación	68
Figura 15. Disposición de bombas centrífugas de eje horizontal en una cisterna de bombeo	70
Figura 16. Dimensiones mínimas recomendadas y disposición de las cisternas de bombeo	71
Figura 17. Esquema de variación de los niveles de agua en el bombeo	73
Figura 18. Sumergencia mínima para evitar ingreso de aire en la tubería de succión y deficiencias en el funcionamiento de la bomba	76
Figura 19. Bomba centrífuga de eje horizontal	79
Figura 20. Bomba centrífuga de eje vertical	80
Figura 21. Bomba sumergible	82
Figura 22. Esquema de instalación típico de automatización de motores eléctricos por medio de variador de frecuencias	106
Figura 23. Mapa de ubicación de zonas favorables, pozos propuestos y pozos existentes	129
Figura 24. Esquema gráfico de los materiales que componen el pozo profundo	136
Figura 25. Esquema gráfico de las presiones actuantes en la camisa del	139

pozo profundo

Figura 26. Perforadora de pozos de agua T3W 163

Figura 27. Codo de descarga y árbol de descarga 172

Figura 28. Esquema de instalación del sistema de bombeo para el pozo 176

profundo

Figura 29. Esquema de instalación del sistema de bombeo para la cisterna 178

Figura 30. Esquema de instalación de la tubería al reservorio de agua 192

Figura 31. Gráfica de curvas características de bombas sumergibles 194

Figura 32. Gráfica de curvas características de la bomba sumergible S07SH 195

Figura 33. Gráfica de curvas características de bombas centrífugas 197

Figura 34. Gráfica de curvas características de la bomba centrífuga 65-160 198

Figura 35. Esquema de conexión para bomba sumergible, circuito de 231

fuerza y mando

Figura 36. Conexión estrella de la bomba sumergible en arranque directo 233

de 380V

Figura 37. Esquema de conexión del circuito de fuerza para las dos 236

electrobombas centrífugas horizontales

Figura 38. Esquema de conexión del circuito de mando para las 237

electrobombas centrífugas horizontales.

RESUMEN

El presente trabajo de tesis tuvo como objetivo principal realizar el diseño de una estación de bombeo automatizada para mejorar la explotación de recurso hídrico subterráneo en la región de Tacna. Esta investigación es del tipo técnico-aplicativo ya que se realiza sobre hechos concretos y específicos, de carácter netamente utilitarios y del tipo de diseño no-experimental transversal, ya que no se controlan las variables y se utiliza el método de análisis deductivo por cálculo para definir el diseño de la estación de bombeo automatizada mediante un proceso ordenado y sistematizado que a su vez se puede utilizar como una referencia en el diseño de otras estaciones de bombeo de diferentes capacidades.

Para el cumplimiento del objetivo, se desarrolló una metodología de diseño para el sistema de captación o el pozo profundo, para el sistema de perforación que realizará el pozo profundo, para el sistema hidráulico, eléctrico y del control automatizado del sistema de bombeo; diseñados para la explotación continua de un caudal máximo de 30 L/s de agua subterránea, el cual no afectará al equilibrio natural del acuífero y prolongará la vida útil de la estación de bombeo, generando un volumen diario de 2 592 000 litros de recurso hídrico subterráneo para uso poblacional.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso indispensable, ya que es el elemento vital para la conservación y desarrollo de todos los seres vivos que habitan el planeta; y el problema principal por el que atraviesa actualmente la región de Tacna, es la escasez del recurso en mención, existiendo actualmente un déficit de 300 L/s para abastecer la demanda. El recurso hídrico subterráneo, representa una fracción importante de la masa de agua presente en los continentes, y se aloja en los acuíferos bajo la superficie de la tierra; en las últimas décadas, la explotación de este recurso se ha convertido en una excelente alternativa para suplir las necesidades de abastecimiento de agua potable en muchas regiones y sectores económicos del país; sin embargo, en los antecedentes, el mal diseño y la mala aplicación de métodos con equipos rudimentarios para la construcción de las estaciones de bombeo, ha ocasionado que estos no rindan lo proyectado, generando grandes pérdidas económicas, el prematuro abandono de las instalaciones y la contaminación del recurso hídrico subterráneo. Por ello, el presente trabajo titulado “Diseño de estación de bombeo automatizada para la explotación de recurso hídrico subterráneo en la Región de Tacna”, se desarrolla como solución a la problemática mencionada.

El contenido de la presente investigación, tiene seis capítulos: El primer capítulo, contiene las generalidades como la descripción y formulación del problema, la justificación e importancia, los alcances y limitaciones, los objetivos e hipótesis. El segundo capítulo, trata sobre la recopilación de los antecedentes del estudio, las bases teóricas y la definición de términos en el estudio. En el tercer capítulo, se describe el marco metodológico donde se especifica el tipo y diseño de la investigación, la población y muestra, la operacionalización de variables, las técnicas e instrumentos para la recopilación de datos, el procesamiento y análisis de los datos.

El cuarto capítulo, describe el diseño conceptual del pozo profundo agrupado en dos partes metodológicas para su realización que sería el diseño del sistema de captación o el pozo profundo y el diseño del sistema de perforación. El quinto capítulo, engloba el diseño del sistema hidráulico, eléctrico y del control automatizado para el funcionamiento de la estación de bombeo. El sexto capítulo, engloba el desarrollo de las herramientas administrativas para realizar la operación y mantenimiento de la estación de bombeo. Y en el séptimo capítulo, se presenta el costo para llevar a cabo la investigación presentada. Finalmente se puntualiza las conclusiones y recomendaciones, incluyendo los anexos y planos del estudio.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. Antecedentes del problema

El departamento de Tacna, cuenta con un área de 14 766,63 km² y albergó en el año 2015 una población de 341 838 habitantes¹; teniendo como principal problema, la escasez de recurso hídrico por estar ubicada en la zona de la vertiente del Pacífico (1,8 % de los recursos hídricos) y en la cabecera del desierto de Atacama, actualmente existiendo un déficit de 300 L/s para abastecer la demanda.

Para el manejo y la gestión del recurso hídrico, la región de Tacna crea instituciones autónomas que prestan servicio a la población, las cuales son:

- **Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento Tacna S.A. (EPS Tacna S.A.):** es una empresa pública de derecho privado, organizada como Sociedad Anónima, en virtud de lo dispuesto por Ley General de Servicios

¹ INEI (2016). *Población 2000 al 2015*. Recuperado de <http://proyectos.inei.gob.pe/web/poblacion/>

de Saneamiento, Ley N° 26338 y su Reglamento aprobado por Decreto Supremo N° 09-95-PRES y Texto Único Ordenado aprobado por Decreto Supremo N° 023-2005-VIVIENDA, cuya actividad principal es la prestación de los servicios de saneamiento, los cuales están comprendidos por los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario, y sus principales objetivos se rigen en garantizar el recurso hídrico y brindar un producto de calidad a la ciudadanía.

- **Región Tacna y el Proyecto Especial Tacna (P.E.T.):** constituye un Órgano Desconcentrado del Gobierno Regional de Tacna, creado en el año de 1984 con Decreto Supremo N° 047-84-PCM, Decreto Supremo N° 059-84-PCM, y su modificatoria con el Decreto Supremo N° 024-87-MIPRE, transferido mediante Decreto Supremo N° 005-2005-PCM del 22 de Enero del 2005, del Instituto Nacional de Desarrollo (INADE) al Gobierno Regional de Tacna, constituye una Unidad Ejecutora del Gobierno Regional de Tacna que cuenta con autonomía técnica, económica, administrativa y financiera. La finalidad del Proyecto Especial Tacna es dar solución a la escasez de recursos hídricos de la región y su optimización.

Desde el año 2012 la EPS TACNA S.A., cuenta con dos fuentes de agua bien definidas: superficial y subterránea, las cuales no han variado por la capacidad específica de los emplazamientos.

La fuente superficial es proporcionada por los ríos Uchusuma y Caplina, que en total proporcionan un aproximado de 400 L/s, dichas aguas son tratadas en las plantas de tratamiento de agua potable, Planta Pachia (8 L/s) y Planta Alto Lima (100 L/s). La fuente de agua subterránea es proporcionada por los siguientes pozos: pozo Sobraya (12 L/s), pozos de Viñani 1 y 2 (153 L/s), pozos de Viñani 3 y 4 (182 L/s), pozos el Ayro PA-09, 10, 12 y 13 (200 L/s), produciendo un total de 520 L/s. Sin embargo, la producción ha bajado a 300 L/s por factores ambientales².

En la tabla 1, se muestra la estimación de la población proyectada, que constituye la parte más importante para determinar la demanda de agua potable, se utilizó como base el número de poblacional determinado en el onceavo Censo de Población y el sexto de Vivienda del INEI realizados en el año 2007, con una tasa de crecimiento poblacional de 3,52 %.

² EPS TACNA S.A. (2012). *Sistema de tratamiento de agua potable resumen*. Recuperado de http://www.epstacna.com.pe/eps-pw/getf.v2.php?t=pdf&f=admin/dbfiles/public.det_contenido/1360153291.pdf

Tabla 1*Proyección de la población*

Año	Población	
	Total de habitantes	Crecimiento
2011	278 434	3,52 %
2012	288 235	3,52 %
2013	298 381	3,52 %
2014	308 884	3,52 %
2015	319 756	3,52 %
2016	331 012	3,52 %
2017	342 663	3,52 %
2018	354 725	3,52 %
2019	367 212	3,52 %
2020	380 137	3,52 %
2030	537 258	3,52 %
2035	638 711	3,52 %

Fuente: Estudio hidrogeológico para la perforación de 04 pozos con fines de uso poblacional, HGSPERU S.A., 2012.

En la tabla 2, se presenta el balance hídrico, resultado de integrar la proyección de la oferta sin la realización de proyectos y la demanda de agua,

determinando el déficit para satisfacer la demanda de agua a lo largo de los periodos.

Tabla 2

Balance hídrico, demanda total y oferta sin proyecto

AÑO	DEMANDA TOTAL (L/s)	OFERTA SIN PROYECTOS (L/s)	DÉFICIT (L/s)
2011	908,94	610	298,94
2015	1061,83	712	349,83
2018	1193,52	712	481,52
2019	1237,42	712	525,42
2023	1439,06	712	727,06
2027	1670,63	712	958,63
2031	1936,56	712	1224,56
2035	2241,96	712	1529,96

Fuente: Estudio hidrogeológico para la perforación de 04 pozos con fines de uso poblacional, HGSPERU S.A., 2012

En la figura 1, se presenta la gráfica de los resultados del balance hídrico presentados en la tabla 2.

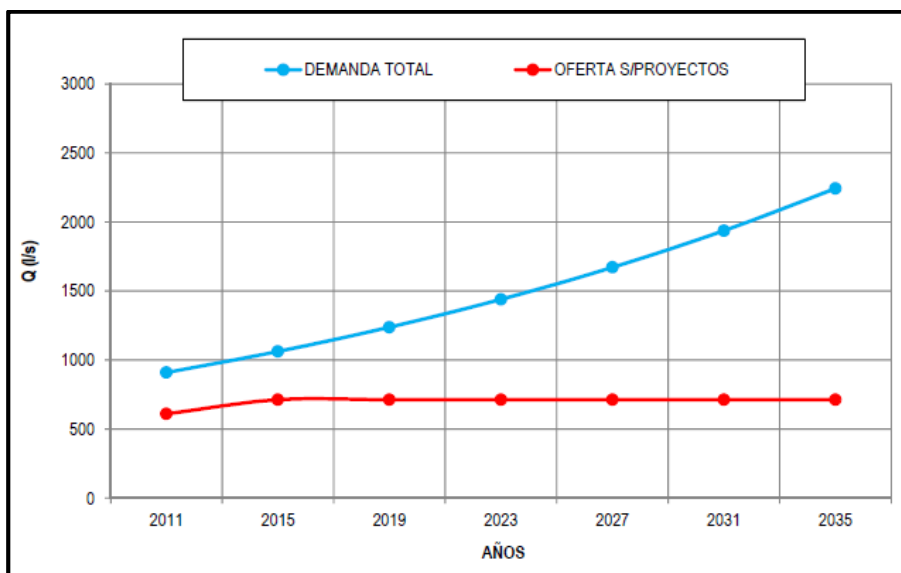


Figura 1. Balance hídrico, demanda total y oferta sin proyecto

Fuente: Estudio hidrogeológico para la perforación de 04 pozos con fines de uso poblacional, HGSPERU S.A., 2012

De acuerdo al ANA, el agua subterránea en el Perú, es una fuente de suministro para uso agrícola, doméstico, industrial y pecuario; existiendo el peligro de sobreexplotación en los valles de Ica, Pisco, Chincha, La Yarada en Tacna y La Leche en Lambayeque. El ANA viene realizando una serie de investigaciones a través de los inventarios de fuentes de aguas subterráneas, monitoreos, estudios hidrogeológicos y modelamiento de los principales acuíferos.

El resultado de los inventarios de agua subterránea realizados desde el 2003, muestran un total de 46 392 pozos en 48 acuíferos a nivel nacional. De las fuentes de agua subterránea inventariadas en los 48 acuíferos a nivel nacional, destacan los

sistemas de Chancay Huaral (4 069 pozos) y Pucallpa (3 388 pozos) con el mayor número de pozos inventariados. Los sistemas que presentan menor número de pozos inventariados son Yauca y Sama con 52 y 49 pozos respectivamente.

Por otro lado, la distribución de las fuentes de agua subterránea según el estado que se encontraban en el momento que fueron inventariadas, se clasifican de la siguiente manera:

- **Pozos utilizados**, son aquellos que se encuentran operativos, cuyas aguas extraídas son utilizadas en sus diferentes usos y hacen un total de 31 899.
- **Pozos utilizables**, son aquellos que se encuentran sin equipo de bombeo, abandonados por bajo rendimiento, sellado en reserva, con el equipo malogrado y/o en perforación; a nivel nacional se presentan 12 428 pozos.
- **Pozos no utilizables**, son aquellos que se encuentran derrumbados, desviado la tubería, enterrados y secos permanentemente; son un total de 4 358 pozos.

El inventario de las estaciones de bombeo de recurso hídrico subterráneo para la Región Tacna, fue realizado por Hydrogeological y Geotechnical Services Perú S.A., en los meses de setiembre del 2011 y setiembre del 2012, para ello fue necesario contar con personal técnico y especializado, cuya función fue la

recolección "in situ" de datos de los pozos, indispensables para el presente estudio, evaluando la información técnica de los pozos³. En dicho estudio, se identificó 20 pozos tubulares distribuidos en los distritos: Pocollay, Ciudad Nueva, Tacna cercado y Coronel Albarracín. La ubicación de los pozos tubulares inventariados con licencia de funcionamiento, pueden ser observados en el anexo 1, donde también se muestran las características técnicas y las medidas de los niveles de agua realizados en dichos pozos, y en el anexo 2 se muestra la ubicación geográfica en el mapa de la región de Tacna; para la identificación de los pozos inventariados se tomaron los códigos IRHS (Inventario de Recursos Hídricos Subterráneos) designado por el ANA, y los pozos de código PV (Pozo Viñani) designados por la EPS Tacna S.A., cada uno de los pozos fueron designados con su respectivo código en el momento de su instalación. Sin embargo, en este inventario no se consideran las reubicaciones y nuevos pozos realizadas en el año 2013 como los pozos de Sobraya N° 02 y 04 ubicados en el parque Perú y los pozos perforados en la región del Ayro de código PA (pozo Ayro) también realizados en el 2013; además sin contar la aparición de múltiples pozos ilegales realizados en algunas inmediaciones agrícolas de la ciudad, de los cuales se desconoce su ubicación exacta y se espera su próxima clausura.

³ Hydrogeological & Geotechnical Services PERÚ S.A. (2012). *Estudio hidrogeológico para la perforación de 04 pozos con fines de uso poblacional* (pp.120-121). Lima: Autor.

Las causas más extendidas del abandono de estaciones de bombeo de recurso hídrico subterráneo en la región Tacna, es atribuible al uso de una tecnología inadecuada en su diseño y construcción en las partes que conforman la instalación, siendo los principales casos, los siguientes:

- La máquina perforada utilizada no es la adecuada, impidiendo ubicar y llegar al acuífero a explotar.
- Al no realizar en la construcción del pozo profundo un sello sanitario adecuado en su parte superior, ocasiona la rápida corrosión de la camisa (tuberías) y la contaminación del agua extraída.
- El ingreso de arena en el interior del pozo profundo que erosiona los rodetes de las electrobombas y contamina la fuente de agua, debido a una mala selección de la abertura de los filtros y de la granulometría del macizo de gravas, y/o la falta de desarrollo en los pozos.
- El sobredimensionamiento en el diseño y la selección del equipo de bombeo utilizado en la estación de bombeo, termina por secar el pozo profundo, esto es porque no permite su recarga.
- La mala instalación del equipo de bombeo en el pozo profundo, al sumergirlos a profundidades inadecuadas o no incorporarles los accesorios necesarios para la protección del motor eléctrico, ha conllevado que los equipos presenten fallas constantemente.



Figura 2. Estación de bombeo de agua subterránea abandonado en la Yarada - Tacna

Fuente: ANA, 2010.

En la mayoría de los casos, se opta por la construcción de un nuevo pozo como solución al problema, con lo cual el pozo anterior se abandona; en pocas ocasiones, una construcción deficiente provoca la oclusión de gran parte de la superficie abierta de las rejillas, con la consiguiente pérdida de productividad del recurso hídrico, ya sea por crecimientos bacterianos, por ausencia de desarrollo, etc.

Cuando una estación de bombeo de recurso hídrico subterráneo se abandona por cualquiera de los motivos antes expuestos, o por otros, en muchas ocasiones se abandona con la bomba incluida; en otros casos se saca la bomba y se coloca una tapa de madera o de metal en la emboquilladura (ésta última a veces soldada o a veces no), aunque muchas veces se queda abierto. En muy contadas ocasiones el

pozo se rellena de arena. Todos éstos son débiles intentos de asegurar que el pozo profundo perforado y la estación de bombeo no suponga un peligro público; desafortunadamente tales procedimientos fallan puesto que la mera existencia de un pozo abandonado de forma incontrolada, supone una vía directa de inyección de contaminantes en el acuífero (bien por el interior del entubado, bien a través del anular si el sello sanitario es deficiente o está ausente) al permitir la entrada de aguas superficiales contaminadas y facilitar el flujo entre la parte más superficial del acuífero (contaminada, sobre todo en la zona del casco urbano) y la parte profunda (en principio exenta de contaminación).

Además, un pozo abandonado llega a ser con frecuencia un receptáculo para el vertido esporádico de basuras y otros residuos (se introducirá en el pozo todo aquello que estorbe y pueda caber en él, incluyendo animales muertos, baterías de coches, etc.) o de vertido más o menos continuo, de tal modo que lo que acostumbraba a ser un pozo de abastecimiento pasa a ser un pozo negro con vertido de residuos domésticos, industriales, aceites del motor de vehículos, etc. Por otro lado, parte de los pozos abandonados no son accesibles actualmente al estar cubiertos por cimientos de otras estructuras, con el correspondiente riesgo de que se conviertan en focos de contaminación al acuífero ya imposible de controlar.⁴

⁴ Hernández, M.; Llamas, M. & Cruces, J. (1998), *Jornadas sobre la contaminación de las aguas subterráneas: un problema pendiente* (pp.399-406). Valencia: AIH-GE.

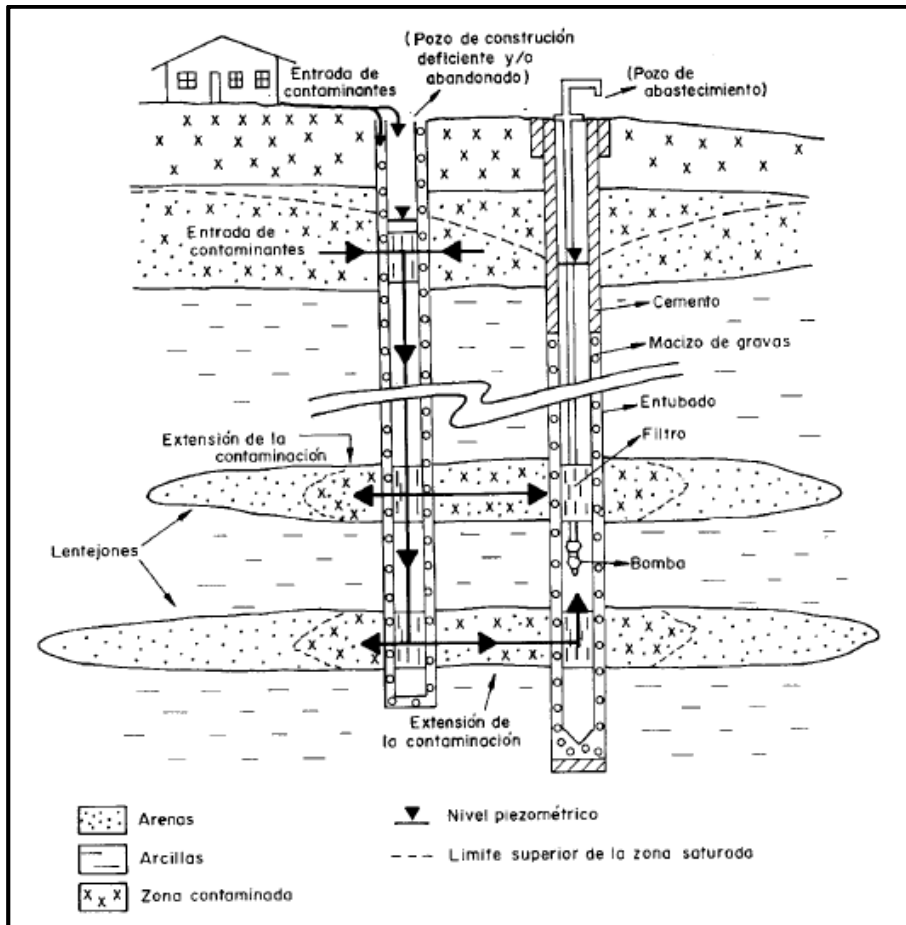


Figura 3. Extensión de la contaminación de origen superficial a través de un pozo de construcción deficiente y/o abandonada en presencia de flujos verticales

Fuente: Jornadas sobre la contaminación de las aguas subterráneas: un problema pendiente, Hernández, 1998.

La realización de un pozo de bajo costo y deficiente, no sólo pone en peligro el futuro rendimiento del mismo (por entrada de arenas en el sondeo o aumento de las pérdidas de carga), sino, que además potencia el riesgo de contaminación del acuífero natural, para el caso de la región de Tacna sería el acuífero del río Caplina.

Asimismo, para realizar estudios, exploraciones, explotaciones u otras obras, alguna persona natural o jurídica descubriese agua, está obligada a informar a la autoridad nacional y a brindar la información técnica correspondiente al hallazgo. Y el derecho a utilizar dichos recursos, deberá ser parte de un permiso específico, otorgado por la autoridad correspondiente.⁵

Finalmente, es importante destacar, que es competencia de la autoridad nacional de establecer zonas de veda y zonas de restricción respecto de la exploración y uso de aguas subterráneas, en casos donde la situación de la cuenca así lo amerite. Con la finalidad de prevenir estos fenómenos, desde el año 1966, se viene declarando zonas de veda en aquellos acuíferos donde la extracción del agua es superior a su recarga. Así tenemos:

- Veda en el valle de Chilca (Lima)
- Veda en el Sector Gramadal (Lima)
- Veda en el centro de Lima (lima)
- Veda en la zona de la quebrada Canto Grande (Lima)
- Veda en el acuífero del valle del Río Motupe (Lambayeque)
- Veda en los acuíferos de Ica, Yillacurí y Pampa de Lanchas (Ica)

⁵ Legislación Ambiental SPDA (2016). *Aguas subterráneas*. Recuperado de http://www.legislacionambientalspda.org.pe/index.php?option=com_content&view=article&id=237&Itemid=4126

- Veda en el acuífero del valle del río Caplina (Tacna), Decreto Supremo N° 065-2006-AG, de fecha 06 de noviembre de 2006. Declara de necesidad pública y preferente interés nacional la conservación y preservación del recurso hídrico del valle del río Caplina, el cual se encuentra ubicado en la provincia y departamento de Tacna, distritos de Tacna, Pocollay, Calana y Pachía; para ello decreta establecer veda en la zona indicada, quedando prohibido ejecutar todo tipo de obra destinada a la explotación de recursos hídricos, así como el incremento de los volúmenes actuales de explotación.

Sin embargo, el 13 de noviembre del 2013 se emitió la Resolución Jefatural N° 488-2013-ANA (ver anexo 3) en la cual se autoriza la perforación de pozos de remplazo y nuevos, siempre que se cumplan con las condiciones y las obligaciones a cargo de la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento Tacna S.A. (EPS Tacna S.A.), expuestas en la misma Resolución Jefatural.

1.1.2. Problemática de la investigación

El principal problema en la investigación, es el alto costo para el desarrollo de la investigación propuesta y de los ensayos o pruebas que se pueden realizar en estaciones similares en la misma región, debido a que se requiere utilizar equipos especiales y personal capacitado, por lo que sería necesario contar con patrocinio

de entidad pública o privada que se implemente con los mismos; para corregir esta falencia y ratificar los procedimientos, se realizó la investigación documental de archivos corroborados en la práctica, con recomendaciones de autores y fabricantes de los equipos; además de realizar la simulación digital para el funcionamiento del sistema de control automatizado y visitas a las estaciones de bombeo operativas en la región de Tacna.

Otro problema, es que los estudios previos de investigación y material bibliográfico no están actualizados, presentando estas algunas variaciones en la actualidad. Además de que los datos de estudios geológicos e hidrogeológicos son realizados por empresas privadas y entidades del gobierno las cuales no justifican detalladamente los resultados de sus estudios, por lo que podrían variar en la práctica; además de tener en consideración, que para la construcción del pozo profundo se recomienda supervisión y muestreo constante del material extraído, para realizar los ensayos descritos en el presente trabajo.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es el diseño de estaciones de bombeo automatizada para mejorar la explotación de recurso hídrico subterráneo para uso poblacional en la Región de Tacna?

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El problema principal y actual que enfrenta la Región de Tacna es la escasez del recurso hídrico superficial potable debido a razones de carácter geográfico, político y social; como solución para cubrir la demanda poblacional se inicia la explotación del recurso hídrico subterráneo, sin embargo, de manera ineficiente, generando múltiples estaciones de bombeo abandonadas por: altos costos por desperfectos en la construcción por realizarlas con maquinaria y herramientas de perforación inadecuados; altos costos de funcionamiento por reparaciones constantes del equipo de bombeo a causa de una mala instalación y mantenimientos; además, del secado del pozo profundo de agua de la estación de bombeo, por sobreexplotación y mal diseño del sistemas de bombeo.

En este sentido, la investigación va a permitir corregir todos estos múltiples problemas, siendo la causa raíz, el mal diseño electromecánico de la estación de bombeo para explotación de agua subterránea. Logrando un uso más eficiente y prologado de las instalaciones, evitando la contaminación y sobreexplotación del acuífero; por medio de procedimientos de cálculo y análisis para establecer las pautas de diseño y selección óptima de: la maquinaria y herramientas de perforación; tuberías y filtros del pozo profundo; equipo de bombeo, tuberías, válvulas y tablero de control automatizado que conformará la estación de bombeo;

además de la identificación de problemas comunes y recurrentes en la operación de las instalaciones para establecer un plan y programa de mantenimiento preventivo aplicable al diseño, desarrollado en la presente investigación; aplicable a otras estaciones de bombeo de explotación de agua subterránea.

El desarrollo de la investigación y la razón principal del autor, es el de beneficiar a la población de la Región Tacna quien viene afectada, brindándoles un estudio para el aumento eficiente de desarrollo sostenible, en la explotación de recurso hídrico subterráneo de calidad y de bajo costo para todos los habitantes.

1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES

Dada la amplitud del tema y el requerimiento de estudios multidisciplinarios que se exige para un desarrollo adecuado, esta investigación será realizada principalmente para solucionar problemas pertenecientes a la especialidad de Ingeniería Mecánica, en donde se han identificado las principales causas de cierre de las estaciones de bombeo en la región, como: altos costos por el diseño y construcción inadecuada de las estaciones de bombeo para explotación de recurso hídrico subterráneo, en la selección de las partes que la conforman, selección de maquinaria y herramientas de perforación inadecuados, selección e instalación

inadecuada del sistema de bombeo, remplazos recurrentes del equipo de bombeo, plan y programa de mantenimiento deficiente.

En consideración, que la investigación se centra principalmente en resolver problemas de origen mecánico, no se ignoran los problemas concernientes a otras especialidades, ya que estos repercuten significativamente en la integridad de toda la estación de bombeo (por ejemplo: La cementación de la parte superior del espacio anular, además de prolongar la vida útil del entubado al protegerlo de la corrosión exterior, protege al pozo profundo frente a la infiltración de aguas superficiales contaminadas y evita la migración vertical de aguas no deseadas a través del anular que pueden distorsionar la calidad natural del agua del pozo), por lo que se hará mención de estos en el desarrollo y se enfatizará en la solución adecuada de los mismo.

El estudio presentado, se desarrolla para la región de Tacna y su población, en donde el recurso hídrico se está volviendo escaso y es el principal problema que la aqueja, por consiguiente, la investigación se desarrolla considerando las características hidrogeológicas de la zona; sin embargo, la metodología de diseño y los procedimientos desarrollados son aplicables en otros entornos o regiones. Además, en los cálculos de costo, de mano de obra, materiales y equipos necesarios, se cotizan en el mercado nacional.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo general

Diseñar una estación de bombeo automatizada para mejorar la explotación del recurso hídrico subterráneo para uso poblacional en la región de Tacna.

1.5.2. Objetivos específicos

- Diseñar el pozo profundo para explotación del recurso hídrico subterráneo para uso poblacional y el sistema de perforación para su realización.
- Diseñar el sistema electromecánico de bombeo para la estación de bombeo para la explotación del recurso hídrico subterráneo para uso poblacional.
- Establecer los procedimientos y estándares de funcionamiento, como el plan y programa de mantenimiento para la estación de bombeo de explotación de recurso hídrico subterráneo para uso poblacional.

1.6. HIPÓTESIS

El diseño de una estación de bombeo automatizada, mejorará la explotación del recurso hídrico subterráneo para uso poblacional en la Región de Tacna.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

Un primer trabajo corresponde a Hydrogeological y Geotechnical Services PERÚ S.A. (2012), quien se encargó de realizar el “Estudio hidrogeológico para la perforación de 04 pozos con fines de uso poblacional”; contiene investigaciones tales como: la geología de los estratos porosos favorables al paso del agua, geofísica de la prospección eléctrica y sísmica, hidráulica subterránea, hidroquímica y el modelo hidrogeológico conceptual del acuífero del río Caplina; desarrollados con el propósito de determinar la cantidad y calidad del agua subterránea en la región de Tacna, y el estado de todas las estaciones de bombeo y sus pozos profundos ubicados en la región; también se analizaron datos físicos, químicos y bacteriológicos del muestreo de aguas subterráneas, dichos análisis implican la comparación de parámetros de pH, conductividad eléctrica, TDS y otros estudios, en cumplimiento con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y el Reglamento de la Calidad del Agua Para Consumo Humano. Como conclusión final del estudio, se encontró 4 zonas favorables para la explotación de aguas subterráneas, en donde se podrán desarrollar en cada una el pozo profundo para la estación de bombeo, el

caudal esperado de captación es de 30 L/s, y con la realización de las 4 estaciones de bombeo se podrá explotar un total de 120 L/s de agua subterránea.

Este trabajo se relaciona con la investigación en curso, ya que determina las zonas favorables para la ubicación de las futuras estaciones de bombeo para explotación de agua subterránea en la región de Tacna.

Un segundo trabajo es de Auge, Miguel (2005), se denomina: “Perforaciones hidrogeológicas” desarrollado en la Universidad de Buenos Aires, con la colaboración de la Municipalidad del Pilar de Buenos Aires, Argentina; su objetivo principal es el de brindar las bases técnicas para la ejecución de perforaciones seguras, destinadas a la captación de agua potable; consta de 8 divisiones principales en donde se agrupa los fundamentos teórico necesario para el diseño de un pozo profundo de agua, que son las siguientes: ciclo hidrológico, acuíferos Pampeano y Puelche, sistemas de perforación, diseño del pozo de captación, instalación del filtro, limpieza y desarrollo, ensayos hidráulicos e informe técnico final.

Este trabajo se relaciona con la investigación, ya que plantea el fundamento teórico y recomendaciones sustentadas en la práctica que conforman los procedimientos para un diseño y construcción eficiente de los pozos profundos, que

serán el sistema de captación del agua subterránea, para el cual se diseña la estación de bombeo.

Un tercer trabajo es de Pariente, Christian (2013) lleva por título: “Diseño y simulación de perforadora hidráulica para pozos de agua”; se trata de un trabajo de tesis cuyo objetivo principal fue el de diseñar una perforadora hidráulica que pueda ser empleada en la construcción de pozos en la región de Piura, así como en otras regiones agrícolas del país, con un diámetro promedio de 60,33 mm y con un alcance máximo de 150 m de profundidad; finalmente se presentan los costos y los planos de descripción.

Este trabajo se relaciona con la investigación planteada, ya que determina cual es el procedimiento para el diseño de una perforadora hidráulica para pozos de agua; donde el procedimiento y los parámetros calculados serán los necesarios para realizar una selección de la máquina de perforación para realizar el pozo profundo para captar agua subterránea.

Un cuarto y quinto trabajo es de la Organización Panamericana de Salud (2005) titulado “Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable” y “Guías para la construcción de estaciones de bombeo de agua potable”; su objetivo principal es el de establecer los criterios y procedimientos básicos de construcción,

aplicables en las obras civiles y en la implementación de pequeñas estaciones de bombeo de agua potable; fijando los parámetros y estableciendo criterios, que sirvan como guía para diseñar y construir las estaciones de bombeo de agua potable, y las partes que la conforman como las obras civiles, tuberías, accesorios hidráulicos y equipos de bombeo; y recomendaciones para la instalación de los mismos.

Estos trabajos se relacionan con la investigación, ya que plantea los procedimientos y recomendaciones sustentadas en la práctica, para desarrollar el diseño y construcción eficiente de la estación de bombeo de agua potable.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. El recurso hídrico subterráneo o agua subterránea

Para comprender las manifestaciones del agua subterránea, se requiere estudiar la distribución vertical de los materiales geológicos subsuperficiales o formaciones, considerando que a mayor o menor profundidad la mayoría de los

materiales de la corteza terrestre, son de carácter poroso; los poros o aberturas pueden encontrarse parcial o totalmente saturados de agua.⁶

A. Zona de aireación

Es el estrato superior, en donde los poros o aberturas están sólo parcialmente llenos de agua, esta zona se divide en tres franjas: la humedad del suelo, la franja intermedia y la franja capilar.

B. Zona de saturación

Se encuentra por debajo de la zona de aireación, los poros o aberturas se encuentran completamente llenos de agua, también se le llama zona de agua sostenida.

C. El nivel freático

Corresponde al nivel superior de una capa freática o de un acuífero en general, a menudo, en este nivel la presión de agua del acuífero es igual a la presión

⁶ Organización Panamericana del Sur (2004). *Manual de perforación manual de pozos y equipamiento con bombas manuales* (pp.18-19). Lima: Autor.

atmosférica. Al perforar un pozo de captación de agua subterránea en un acuífero libre, el nivel freático es la distancia a la que se encuentra el agua desde la superficie del terreno.

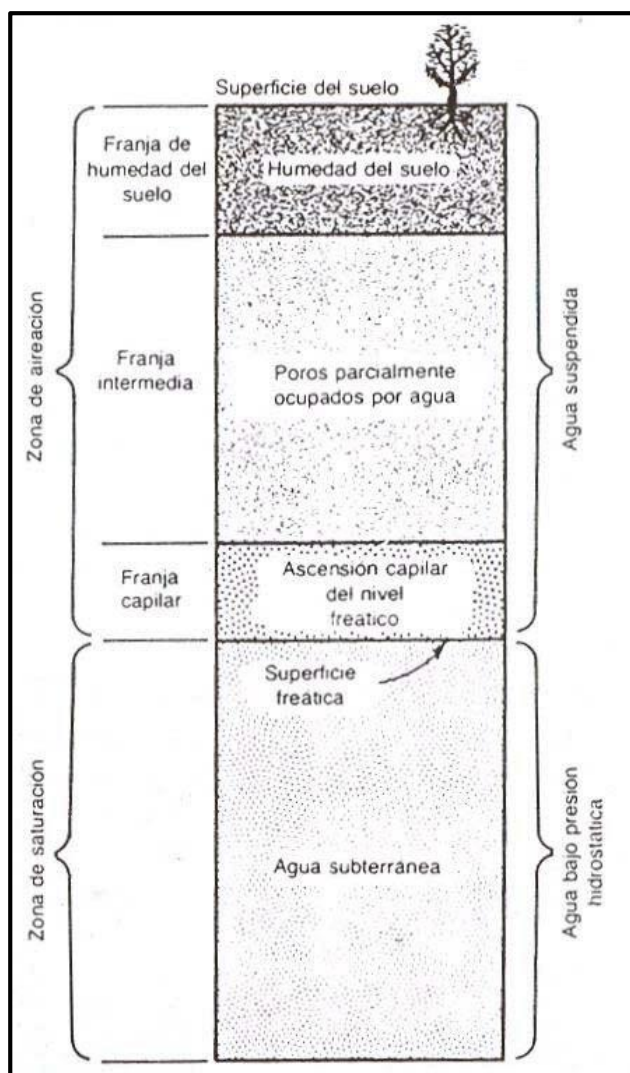


Figura 4. Distribución vertical del agua subterránea

Fuente: Manual de perforación manual de pozos y equipamiento con bombas manuales, Bellido, 2004

2.2.2. La estación de bombeo

Koutoudjian (2005) afirma: “Una estación de bombeo (también llamada estación elevadora), es una instalación hidroelectromecánica destinada a forzar el escurrimiento de una vena líquida para que ésta llegue a destino en las condiciones previstas en su diseño” (p.3).

La Organización Panamericana del Sur (2005a) afirma:

Las estaciones de bombeo son un conjunto de estructuras civiles, equipos, tuberías y accesorios, que toman el agua directa o indirectamente de la fuente de abastecimiento y la impulsan a un reservorio de almacenamiento o directamente a la red de distribución. (p.3)

De hidroelectromecánica se entiende que es aquella instalación donde se combinan componentes y estructuras hidráulicas, mecánicas, eléctricas y electrónicas, con el objetivo de trasladar líquido de un punto a otro, ya sea un reservorio de almacenamiento o conectado directamente a una red de distribución. Además, de que toda la instalación se conformará de variedad de obras civiles, motivo por el cual, el diseño de una estación de bombeo es una labor de carácter multidisciplinario para determinar las partes que la conforman.

En la figura 5 se presenta el esquema básico de los componentes típicos que conforman el sistema hidroelectromecánico en una caseta de estación de bombeo.

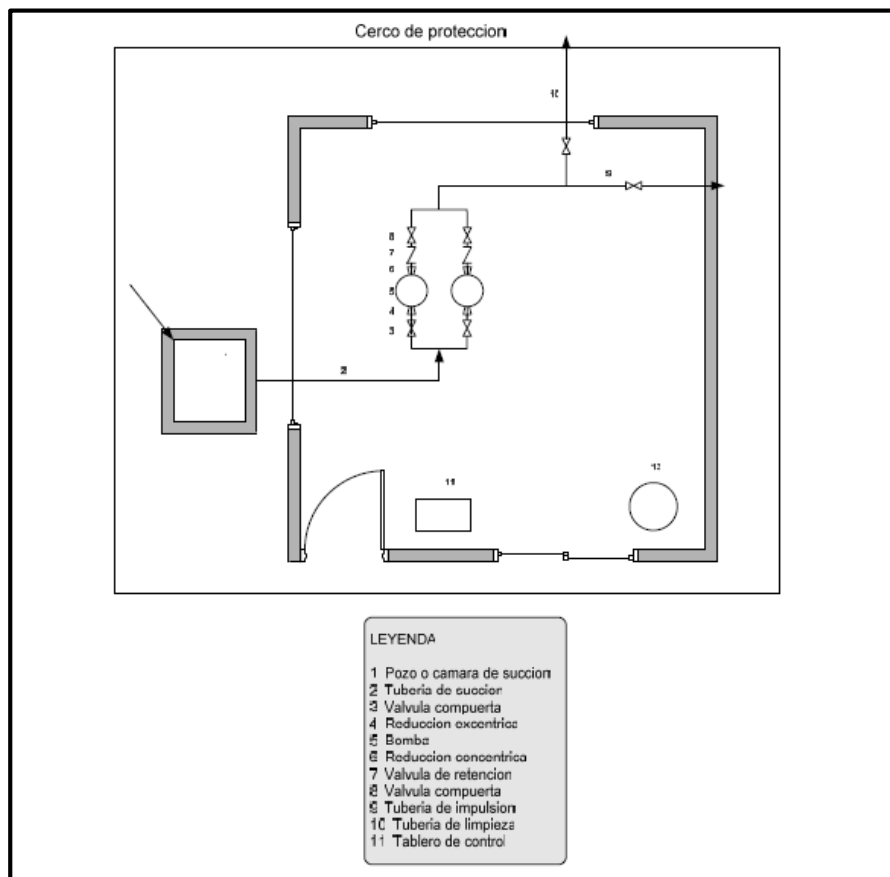


Figura 5. Esquema típico de una estación de bombeo

Fuente: Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable, Organización Panamericana del Sur, 2005

Para determinar la capacidad de la estación de bombeo. Organización Panamericana del Sur (2005a) afirma: “La determinación del caudal de bombeo

debe realizarse sobre la base de la concepción básica del sistema de abastecimiento, de las etapas para la implementación de las obras y del régimen de operación previsto para la estación de bombeo” (p.10). Se requerirá calcular el caudal mínimo de demanda, sin embargo, para las estaciones de bombeo de agua subterránea, el caudal de bombeo dependerá de los resultados obtenidos en el ensayo de bombeo y del estudio hidrogeológico de la zona, considerando las capacidades y comportamiento de las estaciones de bombeo cercanas a la obra, con la finalidad de determinar las características hidráulicas del acuífero.

Además, al finalizar la obra del pozo profundo, se debe realizar un ensayo de bombeo, con la finalidad de ratificar el caudal de bombeo para la estación de bombeo diseñada.

En el diseño, hay que considerar la operación y mantenimiento de la estación de bombeo. Koutoudjian (2005) afirma: “Es obvio que el diseño de una estación de bombeo debe considerar la facilidad en la operación de sus elementos, así como la sencillez en las tareas de mantenimiento” (p.11). Sin embargo, es muy importante destacar algunos aspectos del entorno donde va a estar en funcionamiento la estación de bombeo, que pueden modificar los criterios técnicos con que el proyectista diseñe la instalación. Otro aspecto, muchas veces olvidado en los proyectos es la intercambiabilidad de partes; esto presupone no sólo la instalación

de equipos de bombeo iguales (con sus elementos de maniobra y control), sino la posibilidad de intercambiarse con equipos de otras estaciones de bombeo, diseñadas obviamente para condiciones semejantes.

2.2.3. Criterios para el diseño del sistema de captación

Para un correcto diseño del pozo profundo de captación de agua subterránea, es necesario conocer las características de la hidrogeología de la zona e identificar los puntos favorables para su explotación. Auge (2005) afirma: “El diseño de una perforación depende de la finalidad para la que se construya y de las características y comportamiento hidrogeológico de las capas productivas (acuíferos) e improductivas (acuitardos, acuicludos)” (p.24). Por lo que es necesario realizar y basarse en un estudio hidrogeológico de la zona de estudio.

A. El caudal de explotación

Auge (2005) afirma: “El caudal requerido, es uno de los principales condicionantes del diámetro del pozo y su entubamiento, dado que, para lograr caudales elevados, se necesitan grandes equipos de bombeo, cuya instalación requiere de cañerías de gran diámetro” (p.25). Por lo tanto, se considera, que el caudal de explotación determinará el diámetro del pozo, el cual deberá ser

establecido por estudios hidrogeológicos en la zona, que consideren las capacidades y los comportamientos de las estaciones de bombeo cercanas a la obra.

B. La profundidad de perforación

Ordoñez (2011) afirma:

Depende del perfil litológico del terreno (corte del terreno que permite la identificación de las diferentes rocas o estratos constitutivos) en el lugar de emplazamiento. Si está explotando un acuífero confinado o semiconfinado podrá alcanzar como máximo la profundidad del piso de ese acuífero o comienzo del estrato confinante inferior. (p.34)

Por consiguiente, la profundidad total del pozo va a estar determinada por el perfil litológico, el cual será desarrollado en el estudio hidrogeológico de la zona y corroborado en el muestreo del pozo piloto.

C. El diámetro de perforación

Auge (2005) afirma: “El diámetro de la perforación definitiva o de explotación, depende de varios factores estrechamente relacionados, entre los que

se destacan: caudal requerido, productividad del acuífero, diámetro del entubamiento, características del equipo de bombeo” (p.25). Como se menciona, las dimensiones de las partes que conforman el pozo, serán consideradas desde el inicio del diseño, por lo tanto, es necesario establecer una metodología de diseño basado en recomendaciones comprobadas en la práctica.

Auge (2005) señala: “El diámetro del entubamiento condiciona al diámetro de perforación del pozo, porque para que la cañería pueda entrar, el diámetro del pozo tiene que ser mayor” (p.25). Además, en los pozos para agua potable es necesario lograr una buena aislación para evitar posibles contaminaciones por flujo a través del espacio anular, desde el acuífero freático, por lo que se debe considerar los espesores de la cementación y el pre-filtro requeridos.

D. El pre-pozo para sello sanitario-

Es la etapa inicial de la perforación de un pozo y se realiza con la finalidad de garantizar la estabilidad del pozo. El Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia (1999) indica:

En un pozo de abastecimiento público la construcción del sello sanitario es lo que primero se debe hacer para evitar cualquier riesgo de contaminación

desde el inicio de la perforación. Inicialmente se hace una perforación de un diámetro tal que permita la instalación de un tubo metálico de un diámetro mayor que la tubería de revestimiento del pozo más el filtro de grava. En el espacio anular entre el hueco perforado y el tubo metálico se instala una lechada de cemento de un espesor mínimo de tres pulgadas. Su profundidad depende de las características de diseño del pozo. El cemento debe ser inyectado con una bomba por medio de tubería. El fondo del sello debe quedar apoyado sobre una roca o capa impermeable, como arcilla, para garantizar un mayor grado de impermeabilización. (p.49)

Se considera que el desarrollo del sello sanitario, es el primer trabajo que se debe realizar para proteger el pozo, por contaminación externa de la capa superior.

E. El pozo piloto

Auge (2005) afirma:

El pozo piloto o de exploración es una perforación de diámetro pequeño, que se ejecuta para conocer las características litológicas del subsuelo y las propiedades hidráulicas y químicas de los acuíferos, a fin de diseñar, en el caso de un resultado exitoso, la perforación definitiva o de captación. (p.25)

Por lo tanto, en el diseño es necesario incluir la perforación de un pozo piloto para evaluar la litología de la zona, las propiedades hidráulicas y químicas de los acuíferos, a fin de ratificar el diseño o considerar posibles cambios por factores reales⁷.

El Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia (1999) afirma: “Inicialmente se hace un sondeo exploratorio en diámetro pequeño 203,2 mm (8 in) o 304,8 mm (12 in) hasta la profundidad total, luego después de definido el diseño del pozo se amplía a los diámetros y profundidades definitivas” (p.49).

En el momento de la perforación del pozo piloto, se puede evaluar la velocidad del avance en el momento de la perforación y el desgaste de la herramienta de perforación. Auge (2005) afirma:

Otra práctica que brinda un buen indicio del comportamiento de las unidades geológicas atravesada por el trépano, es la medición de la velocidad de avance del mismo. Para ello, se marca el vástago cada 1 m y se mide el tiempo que tarda en recorrerlo. Pese a que en la velocidad de avance incide además de la litología, la velocidad de rotación, el tipo y estado del trépano, el caudal de inyección y el peso ejercido por la herramienta en el fondo del

⁷ Auge, M. (2005). *Perforaciones hidrogeológicas* (pp.21-24). Buenos Aires: Pilar.

pozo, generalmente se obtienen buenos resultados, aunque no puedan precisarse algunos de estos factores (presión de la herramienta en el fondo). (pp.22-23)

Además de medir la velocidad de avance en el momento de la perforación, se debe de realizar un perfilaje eléctrico al culminar la perforación del pozo piloto. Auge (2005) afirma:

Luego de alcanzar la profundidad final y con el pozo lleno de inyección, pero sin entubamiento, se puede correr un perfilaje, que comúnmente se denomina eléctrico. El perfilaje eléctrico en pozos para agua subterránea, normalmente está compuesto por 2 tipos de registros (potencial espontáneo y resistividad). (p.23)

F. La cementación para el sello sanitario y el sello bentónico

Considerando que la contaminación del pozo procede desde la superficie o de acuíferos superiores contaminados, es de necesidad realizar un sello sanitario.

El Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia (1999) afirma: “El sello sanitario consiste en aislar las primeras capas en la perforación por medio de

una lechada de cemento o mortero cuya profundidad puede oscilar entre 20 a 50 m dependiendo de la profundidad del pozo” (p.42).

La Organización Panamericana del Sur (2005b) afirma: “Se utilizará cemento fresco, sin terrones y en buenas condiciones de estacionamiento; la piedra será de los diámetros requeridos, según los espesores de concreto a vaciar; la arena a emplear será limpia” (p.6). Esto debe ser evaluado y verificado por el supervisor en la obra, además de las demás partes cementadas como son: la losa de fondo, la cubierta y la pared del ademe; la dosificación se puede ver en el anexo 4.

Además, para la cementación del ademe, Auge (2005) afirma: “Para lograr una buena cementación, es necesario disponer de un diámetro de pozo de 101,6 mm (4 in) mayor que el diámetro de la camisa” (p.26).

El sello bentónico tendrá la función principal de separar el engravado de la cementación y evitar que haya trasvase de la mezcla de concreto al pre-filtro, e impermeabilizar el concreto de la humedad proveniente de la zona del pre-filtro.

Para construir un sello bentónico, se utilizará tabletas de bentonita, que están compuestas de bentonita de sodio puro, las cuales poseen un alto índice de

ensanchamiento cuando está en contacto con el agua, por lo menos, de 10 a 15 veces su volumen original.

Las tabletas de 6,3 mm (1/4 in) son ideales para espacios cilíndricos estrechos, mientras que las de 9,5 mm (3/8 in) y las de 12,7 mm (1/2 in) sirven para pozos grandes. En la tabla 3 se presenta las especificaciones comerciales según normativa ANSI.

Tabla 3

Especificaciones comerciales de tabletas de bentonita

PULGADAS (in)	CENTÍMETROS (cm)	DENSIDAD (lb/ft³)
1/4	0,63	80,72
3/8	0,95	79,42
1/2	1,27	75,99

Fuente: CETCO NSF/ANSI 60.

G. El pre-filtro

El pre-filtro es necesario para aumentar la productividad de captación de agua subterránea que dependerá de la permeabilidad y del espesor saturado. Auge (2005) afirma:

Un mayor espesor del pre-filtro 101,6 mm (4 in) redundará en un mejor funcionamiento del pozo, al aumentar considerablemente la permeabilidad a una distancia a 0,10 m de la pared exterior del filtro, lo que se traduce en una disminución de las pérdidas de carga por flujo no laminar. Para incrementar el espesor del cilindro de grava, pueden utilizarse ensanchadores o considerar aumentar conjuntamente el diámetro de toda la perforación. (p.46)

Auge (2005) afirma: “La correcta elección de un pre-filtro, está supeditada a la representatividad del muestreo litológico, con la finalidad de identificar los tramos más y menos permeables del acuífero” (p.24). Se debe identificar la sección más permeable para instalar y engravar los filtros; y considerar que la instalación de un pre-filtro mediante el agregado de grava, se hace necesario en los acuíferos granulares uniformes y suelos, típicamente arenosos, de tamaños mediano a fino; en aquellos formados por materiales heterogéneos como gravas arenosas, puede evitarse el engravado artificial y efectuar uno natural.

Para acuíferos como el del río Caplina, en donde el estrato hidrogeológico de la zona saturada es de depósitos fluviales, que litológicamente están compuestas por niveles intercalados de gravas, arenas, limos y arcillas; en la práctica la uniformidad y el tamaño del grano, hacen necesario el engravado artificial.

Para elegir el tamaño medio de la grava. Auge (2005) afirma: “De ser necesario el engravado artificial, el tamaño de la grava se elige multiplicando por 5 el diámetro correspondiente al 50 % retenido en peso (Dm)” (p.24). Se selecciona el número de la grava según la tabla 4, determinado por la dimensión de la ranura del filtro. Otra forma de su cálculo será invirtiendo el método, eligiendo primero la ranura del filtro según el caudal a explotar y eligiendo la dimensión de la grava para el tipo de filtro, que será el método a utilizado en el presente trabajo.

Tabla 4

Especificaciones comerciales de gravas para perforación

N°	DIÁMETRO (mm)	DENSIDAD (gr/cm³)
0	De 18 a 40	1,6
2	De 12 a 18	1,6
3	De 9 a 12	1,6
4	De 5 a 9	1,6
6	De 4 a 6	1,6
2/4 = 12 esp	De 2 a 4	1,6
12	De 1,5 a 2	1,5
15	De 1 a 1,5	1,5
20	De 0,5 a 1	1,5

Fuente: Perforaciones hidrogeológicas, Miguel Auge, 2005

Una grava adecuada, es aquella que cumple con los siguientes requisitos:

- Bien redondeada y uniforme ($Cu \leq 1,5$).
- Sin clastos calcáreos.
- Con muy poca mica (menos del 2%).
- Con clastos silíceos (cuarzo, cuarcita, calcedonia).
- Sin hierro ni arcilla.

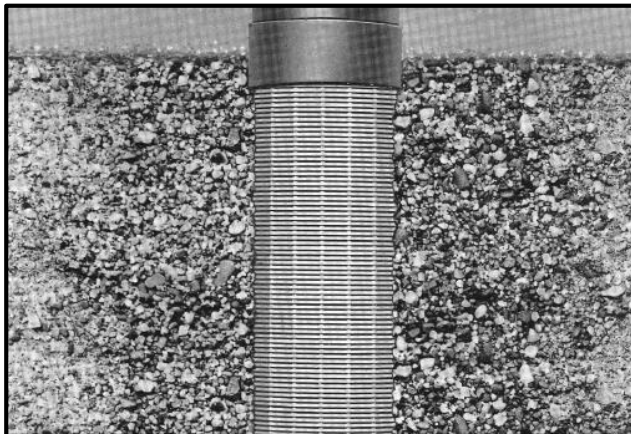


Figura 6. Vista de detalle de un pozo engravado

Fuente: Perforaciones hidrogeológicas, Miguel Auge, 2005

H. El ademe, encamisado o entubado

El Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia (1999) afirma: “El diámetro de los filtros y tuberías de revestimiento van a estar condicionados por el

caudal a extraer” (p.53). Esto es por lo mencionado anteriormente, que, para lograr caudales elevados, se requiere equipos de mayor capacidad y dimensión para el bombeo, cuya instalación requiere de tuberías de mayor diámetro.

Tomando en cuenta estas consideraciones, en la tabla 5 se presenta las recomendaciones de los diámetros de tubería y filtro estandarizados según diámetro nominal para tuberías, en función al caudal requerido; los cuales han sido evaluados en la práctica en conformidad con la normativa API (American Petroleum Institute).

Tabla 5

Diámetros de tubería y filtro según el caudal

Caudal (L/s)	Diámetro de tuberías y filtros (in)
<10	8
10 – 30	10
30 – 60	12
60 – 100	14 x 10
100 – 150	16 x 10 ó 18 x 12

Fuente: Operación y mantenimiento de pozos profundos para acueductos, Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia, 1999.

Auge (2005) afirma: “Los materiales más empleados en las cañerías para encamisados son: Acero, acero con revestimiento galvanizado y/o acero inoxidable

y PVC” (p.30). En el mercado actual, los precios del acero inoxidable no son tan altos, debido a que hay varias empresas que los trabajan, y considerando que las tuberías fabricadas de este material serán más resistentes a la tensión de compresión lateral y axial, y aseguran la vida útil del pozo al ser resistentes a la corrosión. Para la selección del espesor, la normativa API recomienda los siguientes espesores, en función al diámetro nominal y la profundidad, presentados en la tabla 6.

Tabla 6
Espesores para profundidades máximas recomendadas

DIÁMETRO (in)	ESPESOR (in)	PROFUNDIDAD MÁXIMA	
		METROS (m)	PIES (ft)
10	3/16	165	541,3
12	3/16	115	377,2
14	3/16	95	311,6
10	1/4	300	984,2
12	1/4	210	688,9
14	1/4	170	557,7
10	5/16	475	1558,4
12	5/16	330	1082,6
14	5/16	270	885,8

Fuente: Norma API.

I. El filtro

Básicamente, consiste en un tubo con orificios a través de los cuales ingresa el agua contenida de un acuífero, pero no debe ingresar el material granular natural de la formación productiva o el que se hubiese agregado artificialmente en el caso de haber engravado el pozo, por lo que la grava a seleccionar, deberá ser de un diámetro mayor a las ranuras del filtro. Auge (2005) afirma: “Un filtro eficiente debe permitir el ingreso a la perforación, durante las tareas de desarrollo, de los componentes finos naturales del acuífero y de los introducidos artificialmente durante la ejecución del pozo” (p.35). De esta forma, se logra un incremento eficiente de la permeabilidad del filtro, que puede aumentar considerablemente con el engravado artificial, lo que implicará realizar una buena selección del engravado y del filtro a utilizar.

Los filtros que logran mayor eficiencia y generan menos costos, son los filtros ranurados y filtros agujereados. Auge (2005) afirma: “De acuerdo a la forma y distribución de los orificios o aberturas, los filtros tienen diferente denominación y capacidad filtrante. Los más empleados en pozos para agua son: filtros ranurados y filtros agujereados” (p.35). Los filtros ranurados, se pueden construir manualmente mediante el empleo de una sierra o de un soplete para cortar el tubo. El ranurado también puede fabricarse industrialmente empleando tornos cortadores.

Por lo tanto, la selección del tipo de filtro, se puede simplificar en el cálculo del área filtrante que ofrece el filtro, calculada por la siguiente ecuación:

$$\text{Si:} \quad Q = V \times A \quad [1]$$

$$Q = V_f \times A_t$$

$$A_t = Q / V_f \quad [2]$$

Donde:

- Q = caudal de explotación, cm^3/s
- A_t = área de infiltración, cm^2
- V_f = velocidad de entrada del agua a través de la rejilla, cm/s

En el cálculo, hay que tener en consideración el área que se pierde en las ranuras, debido a la obturación por la grava u otro elemento que debe ser filtrado.

Auge (2005) afirma:

Como se verá en el punto longitud del filtro, al área abierta de la rejilla fuera del pozo, hay que quitarle aproximadamente un 30%, debido a la obturación que inevitablemente sufrirá la misma, sea por el componente natural o por el engravado artificial, cuando el filtro se coloca en la perforación. (p.37)

Por lo mencionado, para el cálculo se le aumenta un 30 % al área de infiltración considerando las pérdidas. Para la selección del filtro, en los catálogos de fabricantes de los filtros, se especifican las áreas abiertas para diferentes tipos y tamaños de abertura, como se muestra en las tablas del anexo 5, para filtro del tipo ranurado industrialmente.

J. Instalación del entubado del ademe y el filtro

En la práctica, la instalación de la camisa se realiza por medio del izaje de las tuberías, con el uso de una grúa telescópica o con la misma máquina de perforación; los tubos se unen en el momento del izaje, según el método escogido, e irán descendiendo conforme se va uniéndolos, siempre verificando la verticalidad y alineamiento de estos. Cuando se instala tubería y filtros, éstas deben suspenderse de la superficie con una abrazadera de carga pesada, esta abrazadera puede estar soportada por vigas en la superficie o puede descansar sobre la tubería de protección en la superficie. La tubería de protección en la superficie, a su vez, debe estar soportada por vigas o cementada en la posición deseada. El propósito de suspender las tuberías y rejillas, es asegurar que se mantengan derechas y centradas en el pozo. En el anexo 6, se muestra un rango típico de tamaños de abrazaderas para diversos diámetros y pesos totales de tubería y rejillas.

Realizar la selección del tipo de unión para las tuberías, repercutirá de forma positiva o negativa en el funcionamiento y la vida útil del pozo profundo. Roscoe Moss Company (2004) afirma:

En toda columna, la resistencia a la tensión está limitada por la resistencia de las conexiones entre sus componentes. Las observaciones demuestran que la mayoría de los fracasos en pozos de agua involucran la ruptura de la tubería o de la rejilla, su colapso o deformación. Con frecuencia, el problema se origina en las uniones. (p.42)

Además, de los requisitos de resistencia mecánica, al diseñarse las uniones deben considerarse los siguientes factores: homogeneidad de la superficie interna de la pared, minimización del diámetro externo, alineación, facilidad de instalación y economía. Los cuatro tipos principales de conexión que se usan en la industria de los pozos de agua son: las uniones con hilos y acopladas, uniones con extremos de corte liso o en bisel, uniones de campana y espiga para soldadura de recubrimiento, y uniones con collares de soldadura para realizar trabajos de soldadura de recubrimiento⁸.

⁸ Roscoe Moss Company (2004). *Guía para la selección de cañerías y rejillas para pozos de agua* (pp.41-45). California: Autor.

K. El desarrollo del pozo

Auge (2005) afirma: “La limpieza y fundamentalmente el desarrollo, son prácticas esenciales para el correcto funcionamiento del pozo” (p.48). La limpieza consiste en extraer los materiales ingresados a la perforación durante su ejecución, como los materiales finos incorporados en la inyección, al atravesar estratos limosos y/o arcillosos, o aquellos agregados artificialmente como la bentonita.

Los materiales finos pueden eliminarse mediante la circulación con agua limpia, luego del entubado y engravado, o también mediante bombeo, con equipos provisorios, que posteriormente serán reemplazados por la bomba definitiva.

El desarrollo consiste en extraer los granos finos (limo y arcilla) y los medianos (arena fina), emplazados en el pre-filtro de grava y en la formación productiva vecina al mismo.

Para ello es necesario generar un flujo de direcciones contrarias que pueda llegar hacia fuera del filtro, para facilitar la movilización de las partículas y luego hacia adentro, para que puedan ser extraídas, como se detalla en la figura 7.

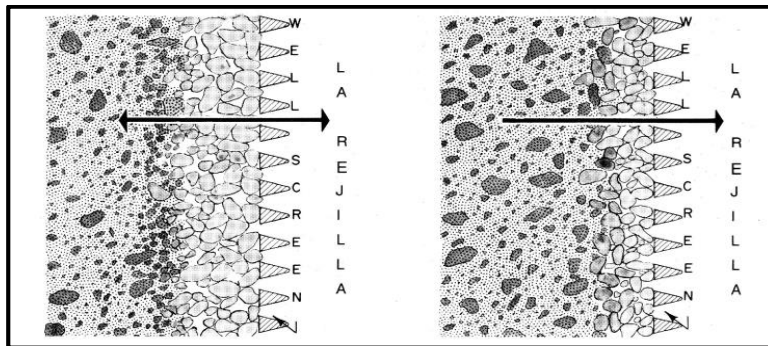


Figura 7. Flujo hacia afuera y hacia adentro del filtro para lograr un correcto desarrollo del pozo

Fuente: Perforaciones hidrogeológicas, Miguel Auge, 2005

La finalidad del desarrollo, es incrementar la permeabilidad en la vecindad del filtro, para lograr que el pozo funcione con un elevado rendimiento. Los métodos más empleados⁹ para el desarrollo son: chorro de alta velocidad o jet pistoneo, inyección de aire, bombeo, cuchareo y productos químicos.

2.2.4. Criterios para el diseño del sistema de perforación

Para determinar el método de perforación. El Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (2012) afirma: “Los métodos de perforación de pozos profundos con maquinaria más utilizados en la actualidad son el método de percusión con cable, rotación y rotoperCUSión” (p.48). Las características de cada método para su comparación y selección se presentan en la tabla 7.

⁹ Auge, M. (2005). *Perforaciones hidrogeológicas* (pp.48-55). Buenos Aires: Pilar.

Tabla 7*Comparación entre los diferentes métodos de perforación*

Ventajas	Método rotativo	Método de rotopercusión	Método a percusión con cable
Avance.	10 a 50 m/día.	40 a 50 m/día.	1 a 10 m/día.
Tipo de material que puede atravesar.	Terrenos sedimentarios.	Principalmente rocas duras (graníticos).	Todo tipo de terrenos.
Facilidad en determinar napas portadoras.	Baja. Se enmascaran debido al uso de lodo de perforación.	Alta. Se determinan fácilmente.	Alta. Se determinan fácilmente.
Tubería de maniobra.	No necesita.	Imprescindible en determinados materiales.	Imprescindible en determinados materiales.
Muestreo.	Pobre.	Regular.	Bueno.
Ventajas.	Alcanza grandes profundidades y realiza pozos de gran diámetro.	El más rápido en roca dura.	Simplicidad del método. Adaptable a todo tipo de terrenos.

Continuación de la tabla 7

Inconvenientes.	Enmascara todos los aportes de agua.	No perfora en materiales no consolidados.	Avance lento en rocas duras.
Calidad constructiva.	Buena.	Buena.	Buena.

Fuente: Manual de aguas subterránea, Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, Montevideo – Uruguay, 2012.

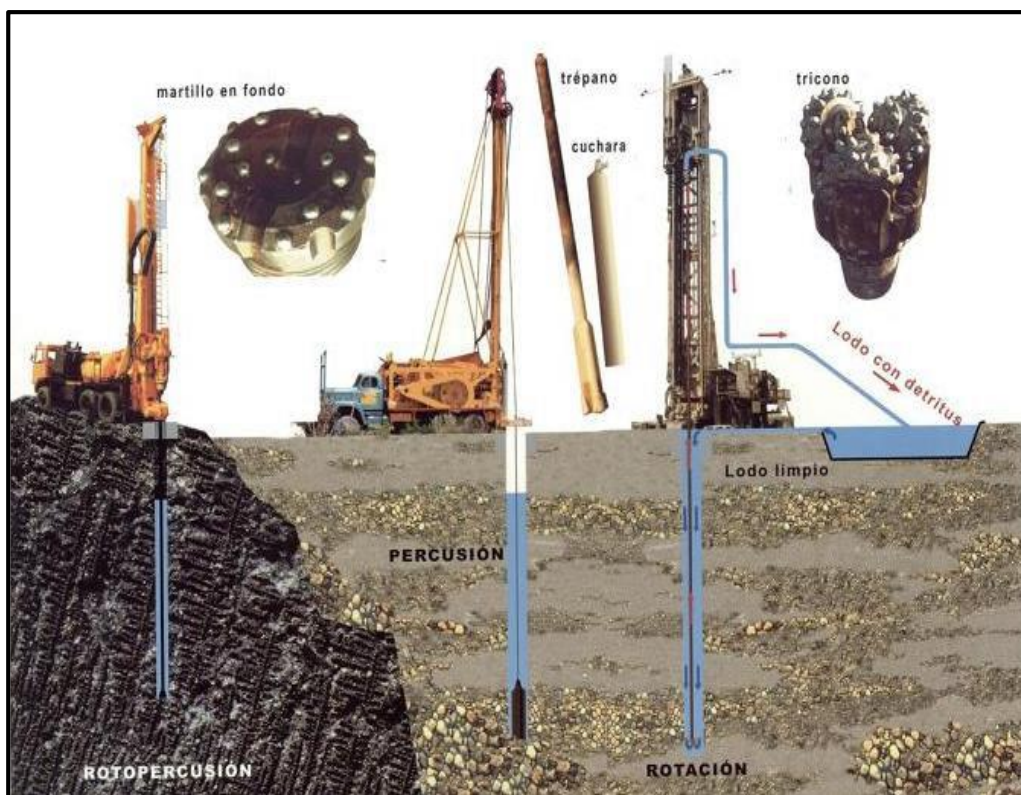


Figura 8. Comparación entre los diferentes métodos de perforación

Fuente: <http://cerdaperforaciones.cl/servicios/contruccion-de-pozos-profundos/>

El método rotativo tiene dos formas de aplicación: Auge (2005) afirma:

El método de rotación con circulación directa, basado en la rotación del trépano y la inyección del fluido a través de las barras, es el más difundido y empleado, tanto en perforaciones para agua, como en las petrolíferas. Su mayor ventaja radica en la velocidad de avance en diámetros reducidos y grandes. (p.21)

Su esquema de funcionamiento se describe en la figura 9.

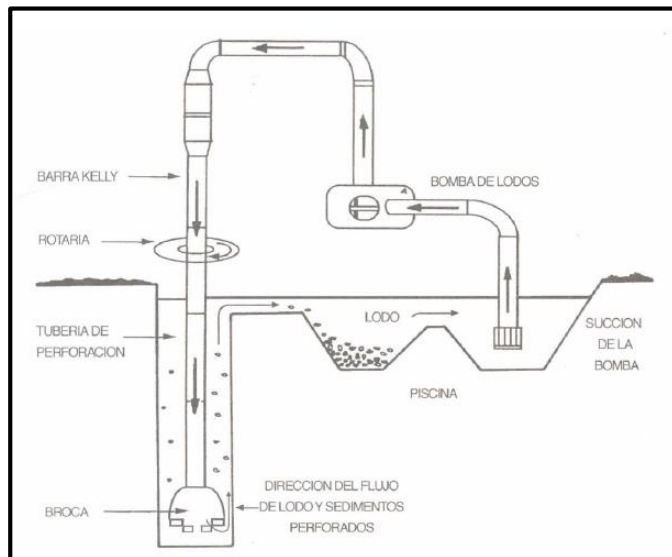


Figura 9. Método de rotación con circulación directa

Fuente: Operación y mantenimiento de pozos profundos para acueductos, Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia, 1999

Auge (2005) afirma:

El método de rotación con circulación inversa, este sistema está mucho menos empleado que el anterior, pese a que para profundidades menos de 100 m, posee ventajas apreciables respecto a la circulación directa. (p.48)

Su esquema de funcionamiento se describe en la figura 10.

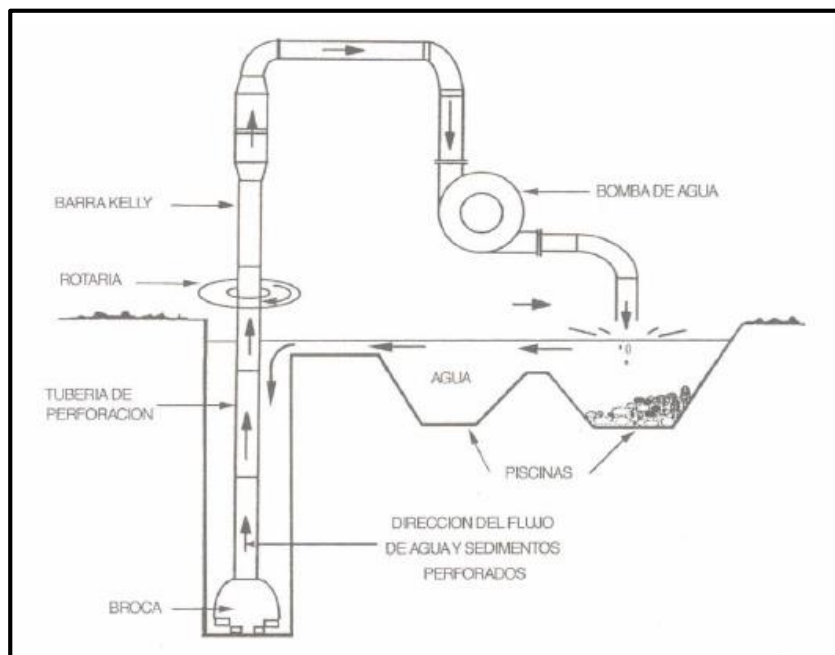


Figura 10. Método de rotación con circulación inversa

Fuente: Operación y mantenimiento de pozos profundos para acueductos, Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia, 1999

2.2.5. Criterios para la selección y operación de la máquina perforadora

Ortiz (2003) afirma: “Las variables de operación inherentes al sistema, que inciden en su eficiencia (velocidad de penetración)” (p.116). Son las siguientes:

- Velocidad de rotación (rpm)
- Fuerza de empuje
- Diámetro de perforación
- Velocidad y caudal del aire de barrido
- Desgaste de los trépanos (selección del tricono)

Ortiz (2003) afirma: “Que, a su vez, estas variables dependen de un factor externo al sistema: la dureza o resistencia de la roca” (p.116). En el caso de la perforación rotativa, la evidencia empírica indica tanto a partir de las investigaciones a nivel de ensayos como de lo observado en la práctica, que existe una buena correlación entre la resistencia a la compresión de la roca y la velocidad de penetración.

No existe una clasificación universalmente aceptada de las rocas en función de su resistencia a la compresión (S_c). En la literatura técnica sobre el tema se encuentran diversas proposiciones. Ortiz (2003) afirma: “Haciendo una síntesis,

para los efectos del análisis que sigue, se adoptará la clasificación que se enuncia en el cuadro siguiente” (p.116). La clasificación se presenta en la tabla 8.

Tabla 8

Clasificación de la dureza de las rocas

TIPO DE ROCA	Sc (kg/cm²)	Sc (MPa)
Muy blandas	< 400	< 40
Blandas	400 – 800	40 – 80
Medianas	800 – 1 200	80 – 120
Duras	1 200 – 2 000	120 – 200
Muy duras	> 2 000	> 200

Fuente: Apuntes de curso de explotación de minas, Ortiz C., Julián, 2003

A. Velocidad de rotación

Ortiz (2003) afirma: “La velocidad de rotación (N), expresada en [rpm], es inversamente proporcional a la resistencia a la compresión de la roca (Sc)” (p.116). En la tabla 9 se indican las velocidades observadas en la práctica, para los diferentes tipos de rocas identificadas previamente.

Tabla 9

Velocidades de rotación según la dureza de las rocas

TIPO DE ROCA	Sc (kg/cm²)	N (rpm)
Muy blandas	< 400	120 – 100
Blandas	400 – 800	100 – 80
Medianas	800 – 1 200	80 – 60
Duras	1 200 – 2 000	60 – 40
Muy duras	> 2 000	40 – 30

Fuente: Apuntes de curso de explotación de minas, Ortiz C., Julián, 2003

Ahora, según el tipo de dientes, esta velocidad de rotación varía en un rango de 60 a 120 rpm para los triconos con dientes estampados, y entre 40 a 80 rpm en el caso de los triconos con insertos.

B. Diámetro de perforación

El Instituto Geológico y Minero de España (2003) afirma: “Según el tipo de trabajo que realice en minería u obra pública de superficie de los equipos que más se utilizan y diámetros más comunes” (pp.2-3). Los métodos de perforación y sus diámetros de herramienta se detallan en la figura 11.

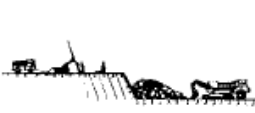


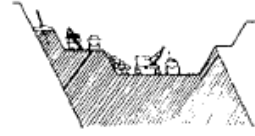




METODOS DE PERFORACION EN BANCO	PERFORACION ROTOPERCUTIVA		PERFORACION ROTATIVA	
	MARTILLO EN CABEZA	MARTILLO EN FONDO	TRITURACION	CORTE
 OBRAS DE CONSTRUCCION	 27-127 mm (1"-5")	 76-216 mm (3"-8 1/2")	(80-200 mm, poco común)	(80-200 mm, poco común)
 MINERIA A CIELO ABIERTO	 89-127 mm (3 1/2"-5")	 76-216 mm (3"-8 1/2")	 80-440 mm (3 1/8"-17 1/2")	 80-251 mm (3 1/8"-9 7/8")

Figura 11. Campo de aplicación de los métodos de perforación y diámetros de herramienta

Fuente: Manual de perforación y voladura de rocas, Instituto Geológico y Minero de España, Instituto Geológico y Minero de España, 2003

C. Fuerza de empuje

Ortiz (2003) afirma: “La fuerza de empuje (F) que es necesario aplicar, aumenta directamente con la dureza de la roca, y debe alcanzar una magnitud suficiente para sobrepasar su resistencia a la compresión” (p.117). Por otra parte,

esta fuerza no puede exceder un determinado valor límite, para evitar daños prematuros en el trépano. En formaciones rocosas duras o muy duras, una fuerza excesiva conduce a la destrucción de los rodamientos, lo que significa el término de la vida útil de la herramienta.

A su vez, la mayor o menor resistencia de los rodamientos depende del tamaño del trépano o, en último término, del diámetro de perforación. A mayor diámetro, más grande es el trépano y por consiguiente más robustos y resistentes son sus rodamientos. En suma, la fuerza de empuje es función de dos variables: la dureza de la roca y el diámetro de perforación. Según la dureza de la roca, la fuerza de empuje mínima necesaria para vencer su resistencia a la compresión, está dada por la siguiente fórmula empírica¹⁰:

$$F_{min} = 28,5 * Sc * \emptyset \quad [3]$$

Donde:

- $F_{mín}$ = fuerza de empuje mínima, lb
- Sc = es la resistencia de la compresión de la roca, MPa
- \emptyset = diámetro de perforación, pulg

¹⁰ Ortiz, J. (2003). *Apuntes de curso de explotación de minas* (p.117). Santiago: Autor.

La fuerza de empuje, se acostumbra a expresarla en libras-peso (lb) por unidad de diámetro de la herramienta, expresado en pulgadas. En la tabla siguiente se comparan los valores mínimos que resultan de aplicar la fórmula anterior con los valores observados en la práctica minera según la dureza de la roca.

Tabla 10

Fuerza de empuje según tipo de roca

TIPO DE ROCA	Sc (kg/cm²)	F' min (lb/'de Ø)	F'prác (lb/'de Ø)
Muy blandas	< 400	< 1 150	< 1 500
Blandas	400 – 800	1 150 – 2 300	1 500 – 3 000
Medianas	800 – 1 200	2 300 – 3 400	3 000 – 5 000
Duras	1 200 – 2 000	3 400 – 5 700	5 000 – 7 000
Muy duras	> 2 000	> 5 700	7 000 – 9 000

Fuente: Apuntes de curso de explotación de minas, Ortiz C., Julián, 2003

El Instituto Geológico y Minero de España (2003) afirma: “El empuje máximo, por encima que produce el enterramiento del tricono, se considera que vale el valor anterior” (p.58). La ecuación empírica que permite estimar la fuerza de empuje máxima es la siguiente:

$$F_{max} = 2 * F_{min} \quad [4]$$

Donde:

- F_{max} = fuerza de empuje máxima, lb
- $F_{mín}$ = fuerza de empuje mínima, lb

Ortiz (2003) afirma: “Por otra parte, también se establece una fórmula empírica, que permite estimar la fuerza de empuje límite máxima que soportan los rodamientos de un tricono, en función del diámetro de perforación (\emptyset)” (p.118). La ecuación empírica que permite estimar la fuerza límite es la siguiente:

$$F_{lim} = 810 * \emptyset^2 \quad [5]$$

Donde:

- F_{lim} = fuerza de empuje límite máxima, lb
- \emptyset = diámetro de perforación, pulg

D. Velocidad y caudal del aire de barrido.-

Ortiz (2003) afirma: “El fluido comprimido, que se inyecta por el interior de la columna de barras hacia el fondo del barreno” (p.119). Cumple los siguientes objetivos:

- Remoción o barrido del detritus desde el fondo del tiro.
- Extracción del detritus hacia afuera.
- Refrigeración y lubricación de los rodamientos del tricono.

a. Velocidad del fluido:

Ortiz (2003) afirma: “La velocidad ascensional mínima para la extracción del detritus, es función de la densidad de la roca y del tamaño promedio de las partículas” (pp.119-120). La fórmula empírica que permiten estimar esta velocidad es la siguiente:

$$V = 573 * \frac{\delta r}{\delta r + 1} * d^{0,6} \quad [6]$$

Donde:

- V = es la velocidad ascensional mínima, m/min
- δr = es la densidad de la roca, gr/cm³
- d = es el diámetro promedio de las partículas, mm

Las velocidades de aire recomendadas atendiendo al tipo de roca, son las que se indican en la tabla siguiente:

Tabla 11

Velocidad ascensional del fluido según el tipo de roca

TIPO DE ROCA	VELOCIDAD MÍNIMA		VELOCIDAD MÁXIMA	
	(m/min)	(pies/min)	(m/min)	(pies/min)
Blandas	1 200	4 000	1 800	6 000
Medianas	1 500	5 000	2 100	7 000
Duras	1 800	6 000	2 400	8 000

Fuente: Apuntes de curso de explotación de minas, Ortiz C., Julián, 2003

Es necesario saber, que la velocidad ascensional máxima indicada, obedece al problema de desgaste de las barras o tubos de perforación. El flujo que circula por el espacio anular, lleva en suspensión un material que puede ser altamente abrasivo, especialmente si hay presencia de cuarzo u otros minerales de gran dureza, como ocurre frecuentemente en la minería metálica.

b. Caudal del fluido:

Ortiz (2003) afirma: “El caudal de aire de barrido (Q), se calcula a partir de la fórmula básica que lo relaciona con la sección del ducto de circulación y con la velocidad de flujo” (p.120). La fórmula empírica que permiten estimar esta caudal es la siguiente:

$$Q = 224 * D^{3/2} \quad [7]$$

Donde:

- Q = caudal del fluido, m³/min
- D = diámetro del barreno, m

c. Presión del fluido de barrido:

Ortiz (2003) afirma:

Los resultados de las investigaciones realizadas por los fabricantes, indican que la caída de presión (AP) del aire al pasar por el tricono requerida para una adecuada refrigeración de sus rodamientos se ubica en un rango de 30 a 50 psi, lo que equivale a 2,1 y 3,5 bar respectivamente. Si se suma la pérdida de carga que experimenta el flujo de aire entre el compresor y la herramienta, estimada en unas 10 psi, se concluye que el valor promedio de la presión manométrica requerida a la salida del compresor es del orden de 3,5 bar. (p.121)

Esta presión final, incide significativamente en el consumo de energía del compresor, y en último término en el costo de operación del equipo.

E. Fuerza de tracción

La fuerza de tracción se va a dar cuando el cabezal tiene la tubería y la broca de perforación suspendidas por el efecto del levante de la extracción de las mismas. Para este caso se debe tomar en cuenta el peso de la tubería de perforación, el peso de la broca, el peso del terreno impregnado en la tubería y el peso del lodo de perforación dentro de la tubería. En etapa los cálculos aplicados para conocer los pesos tienen escasas posibilidades de aplicación, dado las dificultades para obtener datos confiables acerca de las densidades exactas del material. Se puede considerar que la maquinaria de perforación realizará el entubado se determina que el cabezal deberá tener la fuerza suficiente para soportar la todo el entubado cuando este suspendido para realizar su instalación y alineación en el pozo perforado.

2.2.6. Criterios para la selección de la herramienta de perforación

Ortiz (2003) afirma: “Existen básicamente dos tipos de herramienta: trépanos cortantes y trépanos triturantes” (p.111). Los primeros consisten en una herramienta provista de elementos aguzados, con filos de diversas geometrías, que ejercen sobre la roca una acción de corte o desgarre. Su aplicación es sólo posible en formaciones rocosas blandas o semiconsolidadas, tales como material de relleno fluvial, suelos u otros. Los trépanos triturantes están conformados por tres rodillos

endentados, de forma cónica, que ruedan sobre el fondo del pozo, fracturando la roca por un proceso de indentación y corte. En las aplicaciones mineras con fines de fragmentación de rocas, en la actualidad se utilizan exclusivamente los trépanos triturantes, conocidos con el nombre de triconos. En la figura 12, se detalla el método gráfico para la selección de las herramientas.

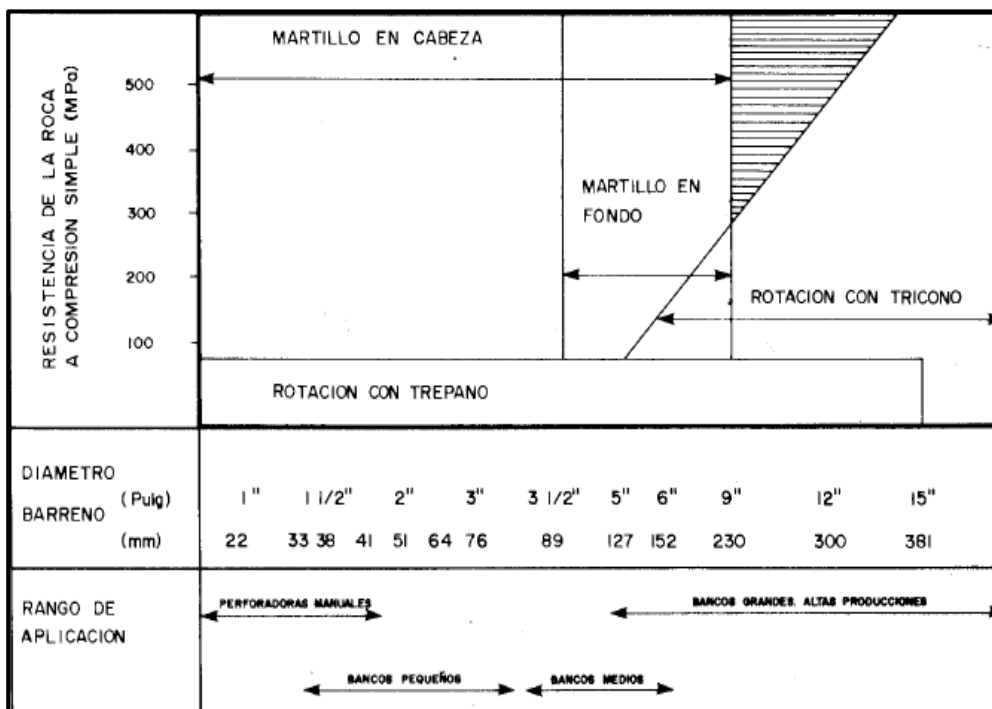


Figura 12. Campo de aplicación de las herramientas de perforación

Fuente: Manual de perforación y voladura de rocas, Instituto Geológico y Minero de España, Instituto Geológico y Minero de España, 2003

Ortiz (2003) afirma: “En un principio, los triconos sólo eran aplicables en formaciones rocosas más bien blandas a medianas; vale decir, rocas de baja

resistencia a la compresión” (p.111). Hoy en día, gracias a las innovaciones introducidas, este sistema de perforación rotativa, predomina sin contrapeso en la minería a rajo abierto de gran tamaño, tanto en rocas blandas como incluso muy duras, en el rango de diámetros de perforación superiores a 175 mm.

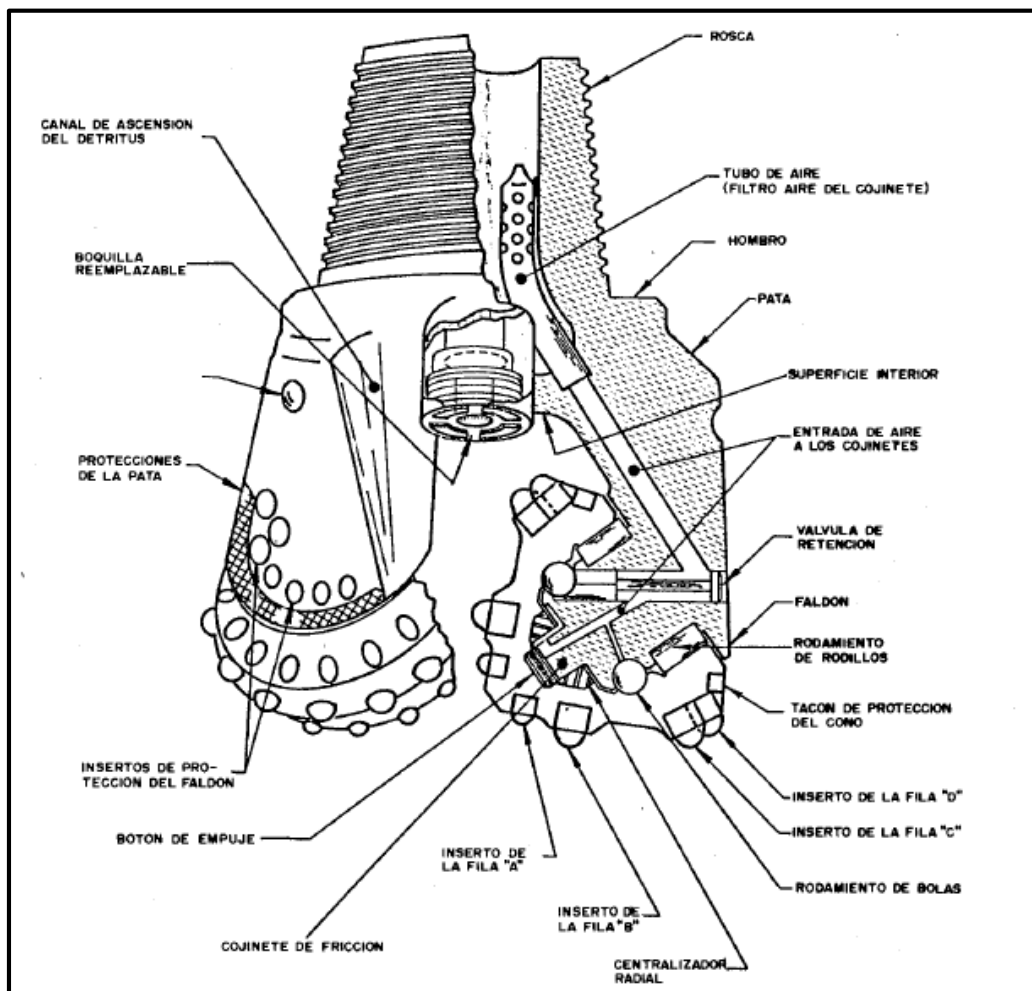


Figura 13. Esquema del tricono

Fuente: Manual de perforación y voladura de rocas, Instituto Geológico y Minero de España, Instituto Geológico y Minero de España, 2003

Ortiz (2003) sostiene: “Se fabrican dos tipos de triconos: con dientes estampados y con insertos de carburo de tungsteno” (p.112). Los primeros son los más antiguos, con un campo de aplicación restringido a rocas blandas y medianas. Los de insertos son capaces de perforar hasta rocas muy duras, pero tienen un precio del orden de cinco a uno en relación con los anteriores, relación que es compensada por su mayor vida útil.

El Instituto Geológico y Minero de España (2003) indica:

El código IADC (International Association of Drilling Contractors) es un sistema de designación de los triconos con los que se especifica el tipo de broca (de dientes o insertos), la formación rocosa para la que está previsto y algunos criterios de diseños del mismo. (p.76)

En el anexo 7 se presenta la descripción de los dígitos que conforman el código IADC.

2.2.7. Criterios para la selección de la sarta de perforación

El Instituto Geológico y Minero de España (2003) afirma: “La sarta de perforación estará formada principalmente por acoplamiento de rotación, las barras,

el estabilizador y el tricono” (p.54). En la figura 14, se describen las partes que conforman la sarta de perforación.

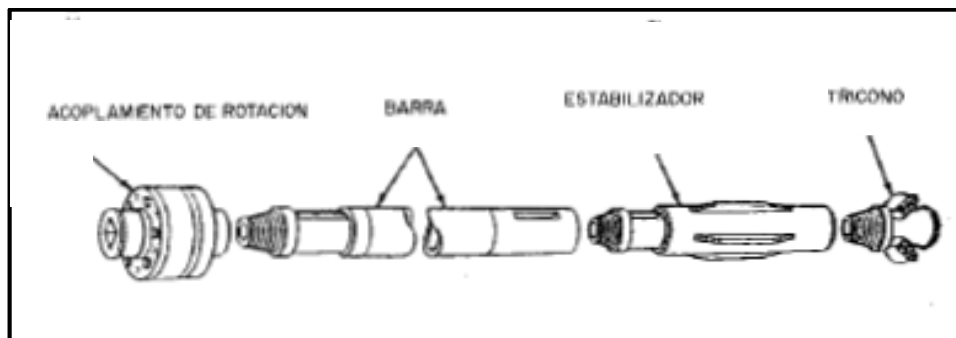


Figura 14. Esquema de la sarta de perforación

Fuente: Manual de perforación y voladura de rocas, Instituto Geológico y Minero de España, Instituto Geológico y Minero de España, 2003

2.2.8. Criterios para el diseño para la caseta de bombeo

La Organización Panamericana del Sur (2005a) afirma: “El dimensionamiento de la caseta de bombeo, debe ser el adecuado para albergar el total de los equipos necesarios para la elevación del agua. Cuando fuese necesario, la caseta albergará los dispositivos de maniobra y desinfección” (p.32).

El dimensionamiento de la caseta dependerá del tipo de bomba que se emplee. Los casos más comunes son:

- Cuando se emplean bombas estacionarias de eje horizontal y de eje vertical: estarán albergadas en la caseta de bombeo, junto con los motores, generadores, tableros, circuitos y válvulas de accionamiento necesarias.
- Cuando se empleen bombas sumergibles: la caseta de bombeo servirá para alojar los circuitos y tablero de control, eventualmente el generador y válvulas de accionamiento de la línea de impulsión.

Las dimensiones de la sala de bombas deben permitir igualmente facilidad de movimiento, mantenimiento, montaje, desmontaje, entrada y salida de los equipamientos; por lo que se debe considerar dejar un espacio libre para la circulación en torno a cada bomba, debe preverse de preferencia con un valor mayor a 1,5 m pero no menor a 1 m, en el caso de bombas de escurrimiento axial, la distancia mínima es de tres veces el diámetro de la bomba. Todos los accesos a la sala de bombas deben situarse a un mínimo de 1 m por encima de nivel máximo del pozo de succión, si fuera el caso, cuando la sobre elevación del piso de la sala de bombas fuera menor que 1 m con relación al nivel máximo de agua en el pozo de succión, el asentamiento de la misma debe estar previsto en caso de inundación; en el caso que el piso de la sala de bombas se localizase por debajo del nivel máximo de agua en el pozo de succión, deben ser previstas bombas de drenaje. La superficie de la sala de bombas, deberá ser establecida tomando en cuenta el tamaño del pozo de succión, y las dimensiones complementarias deben ser estudiadas a fin de

posibilitar una buena distribución, minimizando la construcción civil. La disposición de los grupos electrobombas del tipo horizontal, debe obedecer, tanto como sea posible, las disposiciones en zig-zag o en diagonal (véase figura 15).

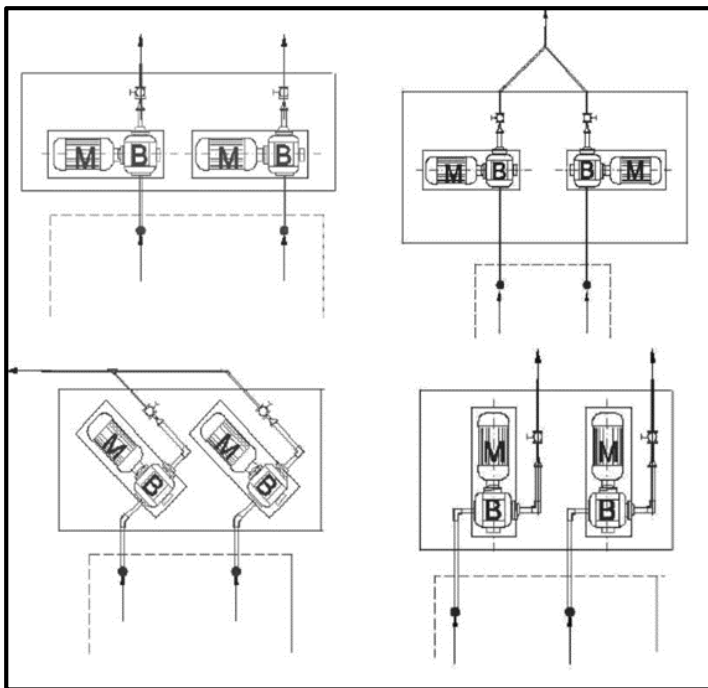


Figura 15. Disposición de bombas centrífugas de eje horizontal en una cisterna de bombeo

Fuente: Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable, Organización Panamericana del Sur, 2005

2.2.9. Criterios para el diseño para la cisterna de bombeo

La Organización Panamericana del Sur (2005a) afirma: “Las especificaciones siguientes son referentes a la posición y disposición de las bombas de eje vertical; sin embargo, también pueden ser aplicadas para las bombas de eje

horizontal” (p.28). En el cálculo del volumen de las cámaras de bombeo se presentan dos casos:

- Cisterna de bombeo con almacenamiento, que se debe emplear cuando el rendimiento de la fuente no sea suficiente para suministrar el caudal de bombeo.
- Cisterna de bombeo sin almacenamiento, que se debe emplear cuando la fuente de provisión de agua tenga una capacidad mayor o igual al caudal de bombeo.

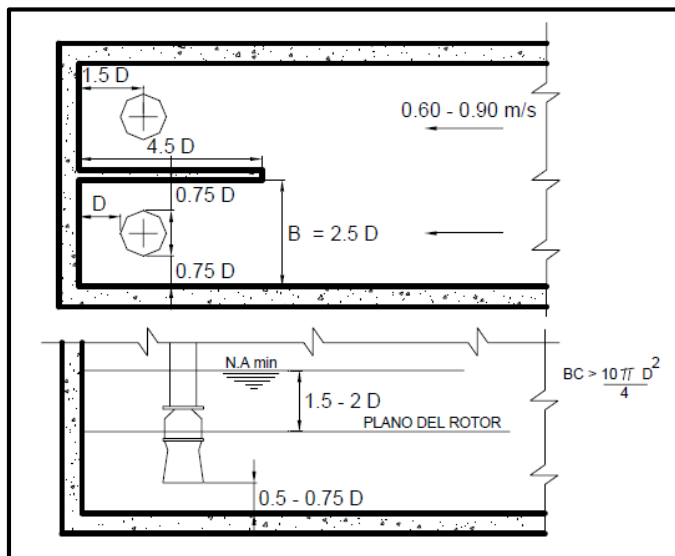


Figura 16. Dimensiones mínimas recomendadas y disposición de las cisternas de bombeo

Fuente: Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable, Organización Panamericana del Sur, 2005

2.2.10. Criterios para el diseño del sistema hidráulico

Un sistema hidráulico está compuesto generalmente por el equipo de bombeo, las válvulas, las tuberías y los depósitos hacia donde se traslada el fluido; su diseño se centra en la disposición y selección de sus componentes, debido a que estos obedecen a normas y estándares para su fabricación.

A. Ensayo de bombeo para el pozo profundo

El Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (2012) indica:

El ensayo de bombeo, es una prueba que se realiza luego de finalizada la obra. Permite determinar los parámetros hidráulicos de los acuíferos (permeabilidad, transmisividad, coeficiente de almacenamiento) y es imprescindible para conocer el nivel de trabajo y el caudal real de explotación del pozo. (p.48)

Existen diversos tipos de ensayos de bombeos (a caudal constante y a caudal variable), pero solo nos referiremos aquí al ensayo de bombeo a caudal constante. Desde el punto de vista práctico, antes de comenzar con el ensayo se debe determinar la profundidad a la que se encuentra el nivel del agua o nivel estático

(NE) en el pozo. Se debe encender la bomba y medir cada cierto tiempo el nivel de agua que comienza a descender como consecuencia del bombeo a caudal constante (Q). Inicialmente las medidas se deben realizar a cada minuto y luego se van espaciando cada 5, 10, 15, 30 y 60 minutos, estos tiempos se establecen previos a la prueba. Transcurrido un cierto tiempo el nivel del agua se estabilizará o variará tan poco, que puede considerarse estabilizado (nivel dinámico). Cuando se detiene el bombeo, dicho nivel comienza a ascender hasta alcanzar el nivel de agua inicial antes del bombeo (nivel estático), estamos frente a la recuperación del pozo (figura 17). Todos los descensos y ascensos del agua en función del tiempo, deberán registrarse en planillas adecuadas, para luego proceder a la interpretación de los datos.

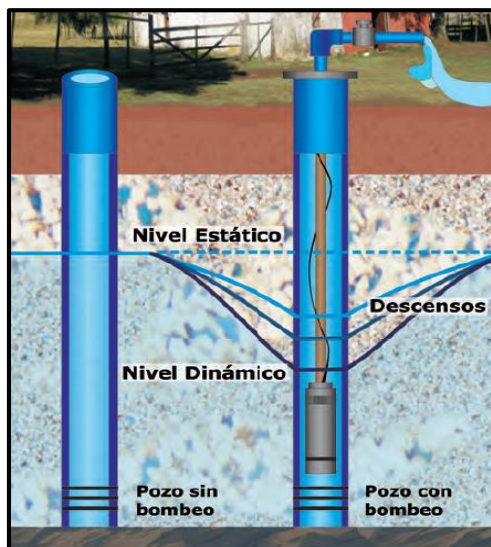


Figura 17. Esquema de variación de los niveles de agua en el bombeo

Fuente: Manual de Aguas Subterránea, Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, 2012

B. Cargas dinámicas o alturas manométricas totales¹¹

Es la suma de la carga de succión más la carga de impulsión:

$$Hb = Hs + Hi \quad [8]$$

Donde:

- Hb = Altura dinámica o altura de bombeo, m
- Hs = Carga de succión, m
- Hi = Carga de impulsión, m

a. Carga de succión (Hs)

La carga de succión, es la diferencia de elevación entre el eje de la bomba y el nivel mínimo del agua en la fuente de captación, afectado por la pérdida de carga en el lado de la succión.

$$Hs = hs + \Delta hs \quad [9]$$

Donde:

¹¹ Organización Panamericana del Sur (2005a). *Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable* (pp.6-11). Lima: Autor.

- h_s = Altura de succión, esto es, altura del eje de la bomba sobre el nivel inferior del agua, m
- Δh_s = Pérdida de carga en la succión, m

b. Sumergencia mínima (ΔH)

La sumergencia mínima, es la altura del agua entre el nivel mínimo y la unión de la rejilla, o la boca de entrada a la tubería, que debe ser igual o superior a los límites siguientes (véase figura 18):

- Para dar cumplimiento a requerimientos hidráulicos y considerando la velocidad para el caudal de bombeo requerido:

$$\Delta H = \frac{v^2}{2g} + 0,20 \text{ m} \quad [10]$$

- Para impedir ingreso de aire, según el diámetro de la tubería de succión (d):

$$\Delta H = 2,5d + 0,10 \text{ m} \quad [11]$$

- Se seleccionará el valor mayor de ambos cálculos.

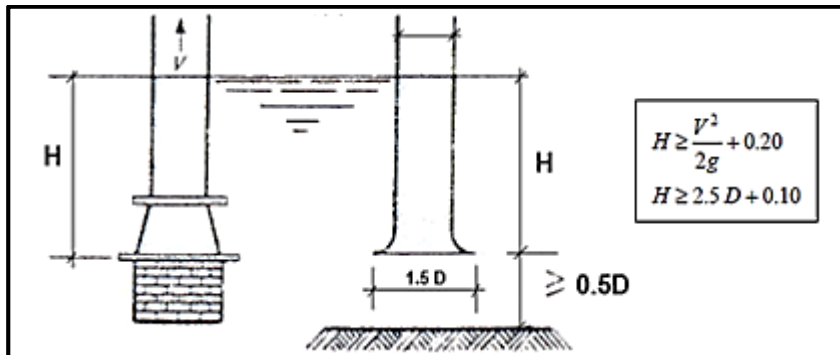


Figura 18. Sumergencia mínima para evitar ingreso de aire en la tubería de succión y deficiencias en el funcionamiento de la bomba

Fuente: Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable, Organización Panamericana del Sur, 2005

c. Carga de impulsión

Está dada, por la diferencia de elevación entre el nivel máximo de las aguas en el sitio de llegada y el eje de las bombas más la pérdida de carga del lado de la tubería de impulsión:

$$H_i = h_i + \Delta h_i \quad [12]$$

Donde:

- h_i = Altura de impulsión, o sea, la altura del nivel superior en relación al eje de la bomba, m.
- Δh_i = Pérdida de carga en la tubería de impulsión, m

2.2.11. Criterios para la selección del equipo de bombeo

A. Potencia del equipo de bombeo¹²

El cálculo de la potencia de la bomba y del motor debe realizarse con la siguiente fórmula:

$$Pb = \frac{Qb Hb}{76 \eta} \quad [13]$$

Donde:

- Pb = Potencia de la bomba y del motor (HP).
- Qb = Caudal de bombeo (L/s)
- Hb = Altura manométrica total (m)
- η = Eficiencia del sistema de bombeo, $\eta = \eta$ motor η bomba

Debe consultarse al proveedor o fabricante, sobre las curvas características de cada bomba y motor para conocer sus capacidades y rendimientos reales. La bomba seleccionada debe impulsar el volumen de agua para la altura dinámica deseada, con una eficiencia (η) mayor al 70 %.

¹² Organización Panamericana del Sur (2005a). *Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable* (p.11). Lima: Autor.

B. Número de unidades de bombeo¹³

Depende del caudal de bombeo y de sus variaciones, además, de la necesidad de contar de equipos de reserva para atender situaciones de emergencia.

En situaciones donde se requiere solo un equipo de bombeo, es recomendable instalar uno idéntico de reserva, estableciendo un coeficiente de seguridad del 200 %; pero si el tamaño de los equipos resulta muy grande, es recomendable incrementar el número de ellos, estableciendo coeficientes de seguridad menores, pero mayores alternativas y menores costos de operación. En tales casos puede admitirse hasta 150% como coeficiente de seguridad de los equipos.

C. Tipos de bombas¹⁴

Las bombas más frecuentemente usadas en el abastecimiento de agua son las bombas centrifugas tipo horizontal y vertical, y las bombas sumergibles. Según las características del proyecto, se seleccionará el tipo de bomba en consideración a las alturas manométricas y el caudal de fluido que se requiere transferir.

¹³ Organización Panamericana del Sur (2005a). *Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable* (p.12). Lima: Autor.

¹⁴ Organización Panamericana del Sur (2005a). *Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable* (pp.12-17). Lima: Autor.

a. Bombas centrífugas horizontales

Son equipos que tienen el eje de transmisión de la bomba en forma horizontal. Tienen la ventaja de poder ser instaladas en un lugar distinto de la fuente de abastecimiento, lo cual permite ubicarlas en lugares secos, protegidos de inundaciones, ventilados, de fácil acceso, etc. Este tipo de bomba se debe emplear en cisternas, fuentes superficiales y embalses. Por su facilidad de operación y mantenimiento es apropiado para el medio rural. Su bajo costo de operación y mantenimiento es una ventaja adicional. Se pueden clasificar, de acuerdo a la posición del eje de la bomba con respecto al nivel del agua en la cisterna de bombeo, en bombas de succión positiva y bombas de succión negativa, si la posición del eje está sobre la superficie del agua.

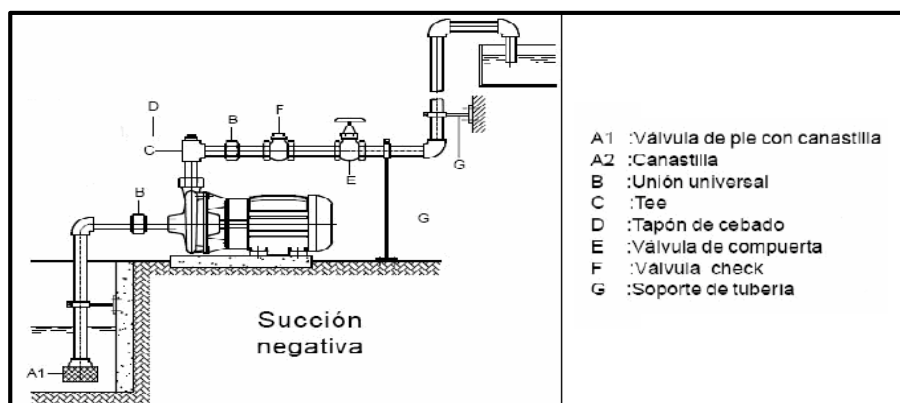


Figura 19. Bomba centrífuga de eje horizontal

Fuente: Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable, Organización Panamericana del Sur, 2005

b. Bombas centrifugas verticales

Son equipos que tienen el eje de transmisión de la bomba en forma vertical, sobre el cual se apoya un determinado número de impulsores que elevan el agua por etapas. Deben ubicarse directamente sobre el punto de captación, por lo cual casi se limita su uso a pozos profundos. Estas bombas se construyen de diámetros pequeños, a fin de poder introducirlas en las perforaciones de los pozos, los cuales exigen diámetros pequeños por razones de costo.

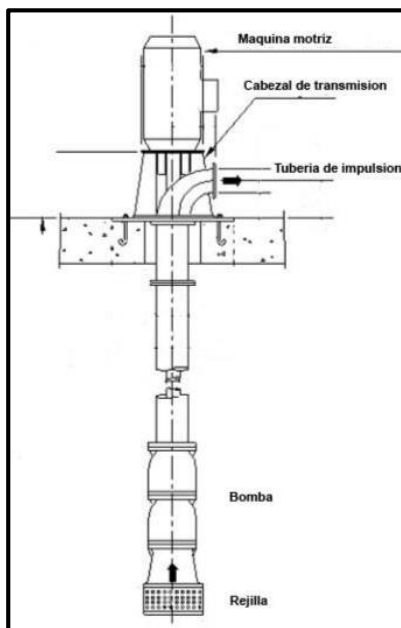


Figura 20. Bomba centrífuga de eje vertical

Fuente: Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable, Organización Panamericana del Sur, 2005

De acuerdo al tipo de lubricación del eje de transmisión de la bomba, pueden ser de dos tipos: lubricadas con el mismo líquido que se bombea y lubricadas con aceite. Los motores eléctricos para montaje vertical y sobre todo los especiales llamados de eje hueco, son los más utilizados para accionar este tipo de bombas. La ventaja principal de estos equipos, es su versatilidad y su capacidad para trabajar en un amplio rango de velocidades. Entre sus desventajas están lo ruidosas que son y la estricta verticalidad que exige a los pozos para su instalación, además la operación y mantenimiento, exige cuidado especial y mayores costos.

c. Bombas sumergibles

Son equipos que tienen la bomba y el motor, acoplados en forma compacta, de modo que ambos funcionan sumergidos en el punto de captación; se emplean casi exclusivamente en pozos muy profundos, donde tienen ventajas frente al uso de bombas de eje vertical. Estas bombas tienen la desventaja de poseer eficiencia relativamente baja, por lo cual, aun cuando su costo puede ser relativamente bajo, el costo de operación es elevado por su alto consumo de energía, otra desventaja es que, al estar el motor y la bomba sumergidos, no existe forma de llegar a ellos cuando están instalados, en otras palabras, la unidad no es susceptible de recibir mantenimiento sin paralizar el bombeo. Los motores sumergibles están concebidos con velocidades de operación altas y son máquinas muy rígidas con respecto.

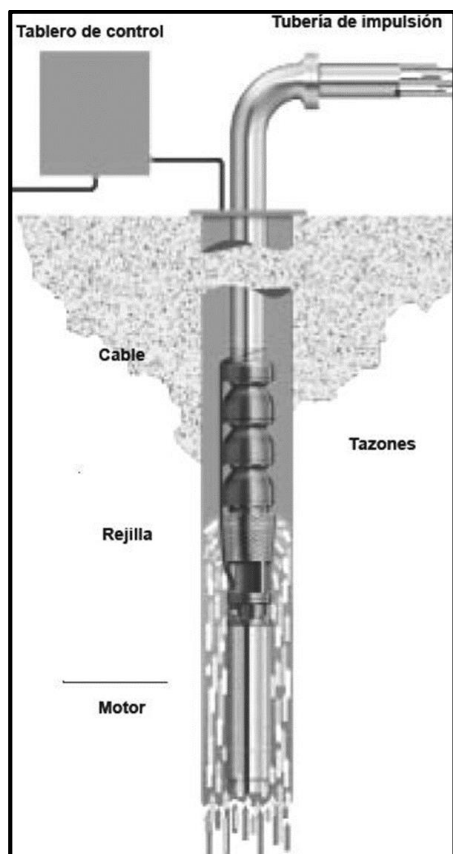


Figura 21. Bomba sumergible

Fuente: Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable, Organización Panamericana del Sur, 2005

D. Tipos de motores¹⁵

Los motores para las bombas se clasifican en dos grupos principales: de combustión y eléctricos.

¹⁵ Organización Panamericana del Sur (2005a). *Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable* (pp.17-20). Lima: Autor.

a. Motores eléctricos

Estos motores utilizan la corriente eléctrica como fuente exterior de energía. Los más empleados en abastecimiento de agua son los de velocidad constante o los que tienen velocidad relativamente constante. Es decir, se puede considerar únicamente los siguientes dos tipos:

- Motor síncrono de velocidad rigurosamente constante, dependiente del número de polos y la frecuencia de la línea de alimentación.
- Motor asíncrono o de inducción, es decir, con velocidad dependiente al valor de la carga.

b. Motores de combustión interna

La potencia es desarrollada al quemar el combustible dentro de los cilindros del motor. Se pueden emplear los motores alimentados con combustible diésel, gas natural o propano, en algunos casos se han instalado motores a gasolina, pero su uso no es recomendable por los problemas derivados del almacenamiento del combustible. Estos equipos tienen una velocidad de giro menor que los motores eléctricos, generalmente se encuentran entre 1700 a 2 00 rpm.

El empleo de estos motores es recomendable para el accionamiento de bombas en lugares muy apartados en donde no se dispone de suministro eléctrico o este es muy poco fiable.

2.2.12. Criterios para el diseño de las tuberías y accesorios¹⁶

La tubería de succión debe ser lo más corta posible, evitándose al máximo, piezas especiales como curvas, codos, etc. La tubería de succión debe ser siempre ascendente hasta alcanzar la bomba. Se pueden admitir pequeños tramos perfectamente horizontales.

El diámetro de la entrada de la bomba, no debe ser tomado como indicación para el diámetro de la tubería de succión. Para la tubería se adoptan diámetros mayores, con el objeto de reducir las pérdidas de carga. El diámetro de las tuberías de succión e impulsión, debe ser tal que la velocidad en su interior no supere los siguientes valores recomendados:

- Tubería de aspiración: 1,8 m/s
- Tubería de impulsión: 2,5 m/s

¹⁶ Organización Panamericana del Sur (2005a). *Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable* (pp.34-38). Lima: Autor.

El análisis, debe considerar que, si el diámetro adoptado es grande, la pérdida de carga en la tubería será pequeña y por tanto la potencia de la bomba será reducida; consecuentemente el costo de la bomba será reducido, pero el de la tubería de impulsión será elevado. El análisis inverso también es valedero, es decir, si adoptamos un diámetro pequeño, al final, el costo de la tubería de impulsión será reducido y el de la bomba será elevado. El diámetro interno de la tubería de succión puede calcularse con la siguiente expresión:

Si:

$$Q = V * A$$

$$V = Q / A$$

$$V = Q / (\pi d^2/4)$$

$$V = 4Q / \pi d^2 \quad [14]$$

$$d^2 = 4Q / \pi V$$

$$d = 1,1284 \sqrt{Q/V} \quad [15]$$

Donde:

- d = Diámetro interno de la tubería de succión, m
- Q = Caudal de bombeo, m³/s
- V = Velocidad media de succión, m/s

Otros aspectos que deben tomarse en consideración en el diseño y cálculo de tubería de succión son los siguientes:

- En la entrada de la tubería de succión, debe ser instalada una rejilla, con un área libre de los orificios de la criba de 2 a 4 veces la sección de la tubería de succión.
- En el caso de que no se disponga de otro medio de cebar la bomba, deberá ser prevista la utilización de válvula de pie, en la entrada de la tubería de succión.
- Cuando el diámetro de la tubería de succión es mayor que el de admisión de la bomba, la conexión debe realizarse por medio de una reducción excéntrica con su lado horizontal en la parte superior, a fin de evitar la formación de bolsas de aire.
- En tuberías de succión verticales, las reducciones serán concéntricas.
- La tubería de succión generalmente tiene un diámetro comercial inmediatamente superior al de la tubería de descarga.
- En una tubería de succión con presión positiva, debe instalarse una válvula de compuerta.
- En una tubería de succión que no trabaje con presión positiva, debe instalarse una válvula de retención en su extremo inferior, para evitar el cebado.

- Siempre que las diversas bombas tuvieran sus tuberías de succión conectadas a una tubería única (de mayor diámetro), las conexiones deberán ser hechas por medio de uniones de tipo Y, evitando el empleo de uniones del tipo T.
- No deben ser instaladas curvas horizontales, codos o uniones de tipo T, junto a la entrada de las bombas.

En el diseño y cálculo de tuberías de impulsión, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Dotar al sistema de los dispositivos que aseguren los riesgos debido al fenómeno del golpe de ariete.
- A la salida de la bomba debe proyectarse una válvula de retención y una de compuerta. Asimismo, debe considerarse la instalación de uniones flexibles para mitigar los efectos de vibración.
- En todo cambio de dirección debe considerarse elementos de anclaje y sujeción.
- El diámetro de las tuberías largas, debe ser calculado con velocidades relativamente bajas, generalmente entre 0,65 a 1,5 m/s.
- El diámetro de la tubería de impulsión, para distancias cortas, debe calcularse para velocidades mayores, que esté entre 1,5 a 2,0 m/s.

La tubería de impulsión no debe ser diseñada con cambios bruscos de dirección de flujo; deben instalarse los dispositivos necesarios para evitar el contra flujo del agua, cuando la bomba deja de trabajar o en caso de que existan fallas en el motor. Para el cálculo de las pérdidas localizadas en la tubería de succión o impulsión se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$h_f = K \frac{v^2}{2g} \quad [16]$$

Donde:

- h_f = Pérdida de carga, m
- K = Coeficiente de pérdida de carga singular adimensional
Para entradas 0,5 y para salidas 1,0
- v = Velocidad promedio del flujo, m/s
- g = Aceleración de la gravedad, m/s²

Para el cálculo de las pérdidas de carga por fricción localizadas en la tubería de succión o impulsión, se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$h_f = f \frac{Le}{D} \frac{v^2}{2g} \quad [17]$$

Donde:

- h_f = Pérdida de carga, m
- f = Factor de fricción obtenida del diagrama de Moody o del anexo 8 para acero comercial
- L_e/D = Longitud equivalente por diámetro calculados u obtenidos para accesorios del anexo 9
- v = Velocidad promedio del flujo, m/s
- g = Aceleración de la gravedad, m/s^2

Para determinar la fricción, se evalúa través del diagrama de Moody (ver anexo 11) y con el cálculo del número de Reynolds.

$$N_R = \frac{vD\rho}{n} \quad [18]$$

Donde:

- N_R = Número de Reynolds, adimensional
- v = Velocidad promedio del flujo, m/s o ft/s
- D = Diámetro interno de la tubería, m o ft
- n = Viscosidad dinámica, Pa.s o lb-s/ft² (ver anexo 14).
- ρ = Densidad, kg/m³ o slugs/ft³ (ver anexo 14).

Cuando el número de Reynolds es menor a 2 000 el flujo es laminar y cuando el número de Reynolds es mayor a 4 000 el flujo es turbulento.

Para determinar la fricción, se evalúa través del diagrama de Moody (ver anexo 11) y con el cálculo de la rugosidad relativa.

$$\frac{D}{\varepsilon} \quad [19]$$

Donde:

- D = Diámetro interno de la tubería, m o ft
- ε = Rugosidad, m o ft (ver anexo 13).

A. NPSH (Carga de succión neta positiva)¹⁷

El NPSH es la carga de succión neta positiva, medida con relación al plano de referencia, considerando el aumento de la altura correspondiente a la presión atmosférica, y considerando la disminución de la altura, debido a la tensión de vapor del líquido.

¹⁷ FPS (2010). *Manual de ingeniería de bombas industriales e irrigación* (pp.11-12). Lima: Autor. Recuperado de <https://franklinlinkmx.files.wordpress.com/2010/04/mi1008-fps-ii-manual-de-ingenieria.pdf>

a. NPSH requerido

Es la NPSH mínima que se necesita para evitar la cavitación. Depende de las características de la bomba, por lo que es un dato regularmente proporcionado por el fabricante.

b. NPSH disponible

Depende de las características de la instalación y del líquido a bombear. Esta es independiente del tipo de bomba y se calcula de acuerdo a las condiciones atmosféricas y de instalación u operación. El conocimiento del NPSHd por el instalador es fundamental para la elección adecuada de la bomba y evitar así futuros problemas en el funcionamiento.

$$\text{NPSHd} = \text{Ha} - \text{Hvp} - \text{Hf} - \text{Hs} \quad [20]$$

Donde:

- Ha = Presión atmosférica, metros de columna de agua
- Hvp = Presión de vapor, metros de columna de agua
- Hf = Pérdidas de fricción en la tubería de succión, m
- Hs = Altura de succión, m

Por lo tanto, para evitar cavitación en la bomba y asegurar el correcto funcionamiento, el NPSH disponible debe ser siempre mayor al NPSH requerido por la bomba.

$$\text{NPSH disponible} > \text{NPSH requerido} \quad [21]$$

2.2.13. Criterios para la selección de tuberías y accesorios

A. Selección del material

La tubería que se empleará en las estaciones de bombeo podrá ser de los siguientes materiales¹⁸:

- Hierro fundido dúctil (HFD), clase K-9 (normas ISO 2531).
- Fierro fundido, norma AWWA C106.
- Hierro galvanizado.
- Policloruro de vinilo (PVC), clase 10 ó 15 (normas ISO 4422).
- Acero Schedule 40 sin costura (ASTM A 53).

¹⁸ Organización Panamericana del Sur (2005a). *Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable* (pp.7-8). Lima: Autor.

Estos materiales permiten la interconexión fácil y segura, al mismo tiempo pueden resistir altas presiones. La ventaja de las tuberías de fierro, es que son muy durables y resistentes al impacto, su desventaja es que su costo es relativamente elevado.

B. Selección de la presión nominal

La presión nominal (PN), es la presión máxima de agua para la cual la tubería o accesorio se ha diseñado. Para cada valor de presión nominal, se debe introducir un coeficiente de seguridad en función de las condiciones de diseño ya que afecta a los accesorios (bridas principalmente).

La presión nominal según la norma ANSI se mide en libras (lb). En el anexo 16 se muestran las presiones nominales según la temperatura (°F) y la presión (psi). Existen presiones nominales de 150, 300, 400, 600, 900, 1500 y 2500 lb; y en el sistema internacional en presiones nominales de 10 y 20 bar.

C. Selección del diámetro nominal

Los diámetros nominales según la normativa ANSI, son los estipulados en el anexo 15.

D. Cálculo para determinar el espesor mínimo

El resultado del espesor mínimo calculado (sin márgenes ni tolerancias), depende del diámetro, la presión de diseño y la tensión admisible del material. Según el apartado 2 de la norma ASME B31.1, el espesor se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$t_m = 0,5 \frac{P \cdot D_0}{(SE + P \cdot y)} \quad [22]$$

Donde:

- t_m = espesor mínimo de pared, mm
- P = presión de diseño, kPa
- D_0 = diámetro exterior (DE), mm. Se determina directamente a partir del diámetro nominal (DN) en el anexo 15
- SE = esfuerzo admisible del material, kPa. En el anexo 16 recoge las tensiones admisibles para distintas temperaturas de diseño de los materiales utilizados en la aplicación. Éstos se recogen en los Apéndices de la norma: A-1 Aceros al carbono, A-2 Aceros de baja y media aleación, A-3 Inoxidables, A-4 Ni y aleaciones de alto Ni, A-5 Fundición A-6 Cobre y aleaciones de Cu, A-7 Aluminio y aleaciones, A-8 Temperaturas > 1200°F, A-9 Titanio y aleaciones

- y, coeficiente que depende del material y la temperatura de diseño, según el anexo 17

E. Selección del tubo normalizado.-

En el anexo 18 y 19, se indica el espesor y el diámetro interior (mm) de las tuberías normalizadas, según la normativa ANSI.

2.2.14. Criterios para el diseño del sistema eléctrico

A. Determinación de la altura de suspensión de las luminarias

Castillo (2000) afirma: “La altura de suspensión de los aparatos de alumbrado es una característica fundamental de todos los proyectos de alumbrado de interiores” (p.238). En la práctica, se desarrolla la siguiente ecuación para determinar las alturas o distancias verticales.

$$d' = 0,25 * h \quad [23]$$

$$d = h - d' \quad [24]$$

Donde:

- d = distancia vertical de las luminarias al plano útil de trabajo
- d' = distancia vertical de las luminarias al techo
- h = altura desde el techo al plano útil de trabajo

B. Distribución de las luminarias

Castillo (2000) explica: “En la mayoría de los casos, los locales por iluminar, tienen una vista de planta de forma rectangular, las luminarias se sitúan formando hileras paralelas al eje mayor o al eje menor del local” (p.238). En otros casos, la situación de los aparatos de alumbrado, dependerá de las formas que tuviera la superficie de trabajo. En la práctica se establece la siguiente relación:

$$e/d \quad [25]$$

Donde:

- e = distancia horizontal entre dos fuentes de luz adyacente
- d = distancia vertical de las luminarias al plano útil de trabajo

Considerando la relación entre la utilización de los aparatos de alumbrado y la altura del local, se determina la siguiente tabla:

Tabla 12*Utilización de aparatos según la altura del local*

APARATOS DE ALUMBRADO	ALTURA DEL LOCAL (m)
Extensivos	Menor o igual a 4
Semiextensivos	Entre 4 y 6
Semintensivos	Entre 6 y 10
Intensivos	Mayor que 10

Fuente: Montaje y diseño de instalaciones eléctricas interiores en edificaciones, Castillo, 2000

Para asegurar una uniformidad de iluminación, prima la relación de la distancia horizontal entre la distancia vertical (e/d).

Tabla 13*Uniformidad de iluminación*

APARATOS DE ALUMBRADO	FRACCIÓN DEL FLUJO LUMINOSO (K_6)	RELACIÓN e/d
Extensivos	Menor que 0,40	Menor o igual a 1,60
Semiextensivos	Entre 0,40 y 0,45	Menor o igual a 1,50
Semintensivos	Entre 0,45 y 0,50	Menor o igual a 1,20
Intensivos	Mayor que 0,50	Menor o igual a 1,00

Fuente: Montaje y diseño de instalaciones eléctricas interiores en edificaciones, Castillo, 2000

En todos los sistemas de iluminación, para determinar la distancia desde las luminarias a las paredes (e'), se adopta la siguiente relación:

$$e' = e/2 \quad [26]$$

C. Cálculo del flujo luminoso a producir

El flujo luminoso total que tendrá que producirse, se obtendrá aplicando la siguiente ecuación.

$$f = E * S / Cu * fm = N_{totlamp} * \phi_{lamp} \quad [27]$$

Donde:

- f = flujo luminoso, lúmenes
- E = iluminación, luxes
- S = superficie de trabajo, m^2
- Cu = coeficiente de utilización
- fm = factor de mantenimiento
- $N_{totlamp}$ = número total de lámparas
- ϕ_{lamp} = lúmenes por lámpara

La relación empleada para determinar el índice local, es la siguiente:

$$K = A * L / d * (A + L) \quad [28]$$

Donde:

- K = índice local
- L = largo total del ambiente a iluminar, m
- A = ancho total del ambiente a iluminar, m
- d = distancia vertical de las luminarias al plano útil de trabajo

En la tabla 14 y 15 se presenta la iluminación según CNE y norma EM 0.10.

Tabla 14

Tipo de tarea visual o actividad

CALIDAD	TIPO DE TAREA VISUAL O ACTIVIDAD
A	Tareas visuales muy exactas.
B	Tareas visuales con alta exigencia.
C	Tareas visuales de exigencia y grado de concentración normales.
D	Tareas visuales de bajo grado de exigencia de concentración.
E	Tareas de baja demanda visual.

Fuente: Norma RNE - EM 0.10.

Tabla 15*Iluminación de servicio*

AMBIENTES	ILUMINACIÓN	CALIDAD
	[luxes]	
LÍNEAS DE ENSAMBLAJE:		
Trabajo pesado (ensamblaje de maquinarias)	300	C – D
Trabajo normal (industria liviana)	500	B – C
Trabajo fino (ensamblajes eléctricos)	750	A – B
Trabajos muy finos (ensamblaje de instrumentos)	1500	A – B
OFICINAS:		
Sala de conferencias	300	A – B
Oficinas generales y salas de cómputo	500	A – B
AREA GENERAL EN EDIFICIOS		
Pasillos, corredores	100	D – E
Baños y vestidores	100	C – D
Almacén	100	D – E
HOTELES Y RESTAURANTES:		
Comedores	200	B – C
Cocinas	500	B – C

Fuente: Norma RNE - EM 0.10.

D. Cálculo para selección del conductor eléctrico¹⁹ e interruptores termomagnéticos

El cálculo de la capacidad de corriente, está expresado en la siguiente ecuación:

$$I_d = 1,25 * MDT / K_1 * V * \text{Cos } \emptyset \quad [29]$$

Donde:

- I_d = corriente máxima en el conductor del alimentador, en amperios.
- 1,25 = coeficiente de seguridad que representa la reserva para el incremento futuro.
- MDT = máxima demanda, en vatios
- K_1 = coeficiente supeditado 1,0 para monofásico y 1,73 para trifásico
- V = voltaje disponible en la red de suministro público 220 monofásica y 380 trifásica, en voltios
- $\text{Cos } \emptyset$ = factor de potencia de 0,35 a 0,9, para efectos de cálculos es 0,70

El cálculo de la caída de tensión, está expresado en la siguiente ecuación:

¹⁹ Castillo, P. (2000). *Montaje y diseño de instalaciones eléctricas interiores en edificaciones* (pp.240-241). Tacna: Autor.

$$\Delta V = K_2 * I * r_u * L * \cos \phi / S \quad [30]$$

Donde:

- ΔV = caída de tensión, en voltios
- K_2 = coeficiente que será 1,73 para monofásico y 2 para trifásico
- I = corriente máxima en el conductor de alimentación, amperios
- r_u = resistividad del cobre que es 0,0175 ohmios-mm²/m
- L = longitud del cable, en metros
- S = sección del conductor en mm²
- $\cos \phi$ = factor de potencia, que se asume para cálculos un valor de 0,70

Castillo (2000) precisa: “El máximo porcentaje de caída de tensión permisible en el alimentador general es 2,5 %” (p.187). Por lo tanto, el conductor del alimentador general, pasará la sección de cobre a un calibre mayor, cuando esté por debajo del valor indicado.

El cálculo de la corriente máxima a circular por el interruptor termomagnético, está expresado en la siguiente ecuación:

$$I_i = I_d / 0,8 \quad [31]$$

Donde:

- I_i = corriente máxima en el conductor del interruptor, en amperios
- I_d = corriente máxima en el conductor del alimentador, en amperios

E. Cálculo para determinar la resistencia de la puesta a tierra

El cálculo de la resistencia del pozo a tierra, está expresado en la siguiente ecuación:

$$R = 0,366 * R_c / L * \log (2L/d) * (4h + 3L)/(4h + L) \quad [32]$$

Donde:

- R = resistencia de puesta a tierra en ohmios
- R_c = resistividad eléctrica del terreno en ohmios-metros
- L = longitud de la varilla en metros
- d = diámetro de la varilla en metros
- h = profundidad de enterramiento de la varilla en metros

Donde el valor de la resistencia de puesta a tierra, debe ser tal que, cualquier masa no pueda dar lugar a tensiones de contacto superiores a las permitidas y no

deben ser mayor a 25 ohm, indicado en el Código Nacional de Electricidad y NTP 370.310, 2005.

2.2.15. Criterios para el diseño de la subestación eléctrica

Una subestación eléctrica²⁰, es una instalación destinada a establecer los niveles de tensión, adecuados para la transmisión y distribución de la energía eléctrica. Su equipo principal es el transformador. Normalmente está dividida en secciones, por lo general, tres principales: medición, cuchillas de paso o interruptores y las demás son derivadas.

Las secciones derivadas, normalmente llevan interruptores de varios tipos hacia los transformadores. Como norma general, se puede hablar de subestaciones eléctricas elevadoras, situadas, en las inmediaciones de las centrales generadoras de energía eléctrica, cuya función es elevar el nivel de tensión hasta 132 kV o incluso 400 kV, antes de entregar la energía a la red de transporte; y subestaciones eléctricas reductoras, que reducen el nivel de tensión hasta valores que oscilan, habitualmente, entre 10 kV y 66 kV, y entregan la energía a la red de distribución. Posteriormente,

²⁰ Wikipedia (2010). *Subestación eléctrica*. Madrid: Autor. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Subestaci%C3%B3n_el%C3%A9ctrica

los centros de transformación reducen los niveles de tensión hasta valores comerciales (baja tensión) aptos para el consumo doméstico e industrial.

En la práctica, los transformadores de distribución deben tener el tamaño adecuado para cumplir con los requerimientos de potencia [KVA], se establece la siguiente relación para el cálculo de la potencia:

$$\text{Potencia [KVA]} = K_3 * V * I / 1000 \quad [33]$$

Donde:

- K_3 = coeficiente que será 1 para monofásico y 1,732 para trifásico
- V = voltaje disponible en la red de suministro público 220 monofásica y 380 trifásica, en voltios
- I = corriente máxima en el conductor de alimentación, amperios

2.2.16. Criterios para el diseño del sistema de control automatizado

En la práctica, se establecen métodos y formas esquematizadas para realizar la automatización de motores eléctricos²¹.

²¹ Servicio Nacional de Adiestramiento en Trabajo Industrial (2000). *Automatización de motores eléctricos por contactores*. Tacna: Autor.

Por ejemplo, en la figura 22 se presenta un esquema típico para la automatización de un motor eléctrico por medio de un variador de frecuencia.

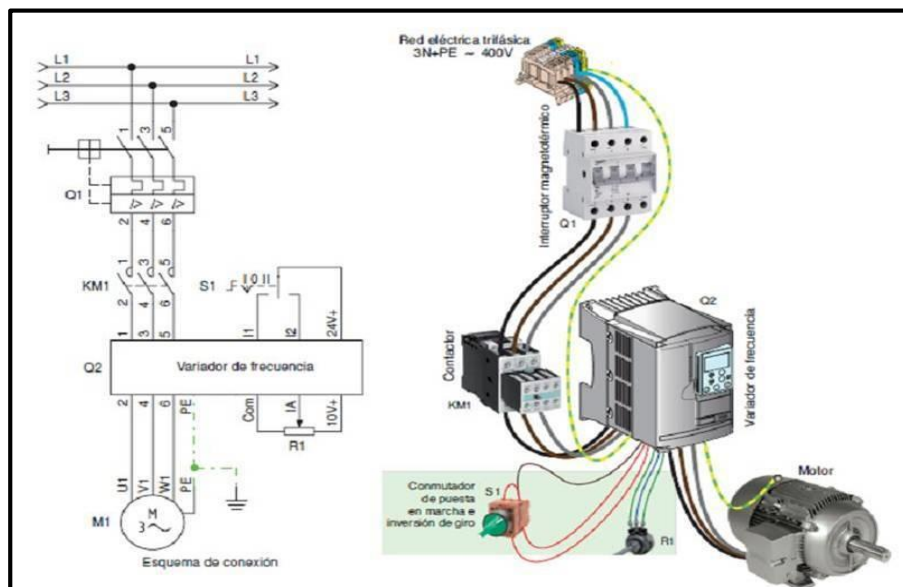


Figura 22. Esquema de instalación típico de automatización de motores eléctricos por medio de variador de frecuencias

Fuente: <https://automatismoidustrial.com/d-automatizacion/1-7-arrancadores-electronicos-y-variadores-de-velocidad/el-variador-de-frecuencia/>

De la figura 22, se identifica los componentes básicos para realizar el arranque y funcionamiento seguro del motor eléctrico:

- Q1 = Interruptor termomagnético tripolar
- KM1 = Contactor disyuntor

- Q2 = Variador de frecuencia
- S1 = Conmutador de 3 posiciones
- R1 = Resistencia
- M1 = Motor
- Borneras de conexión de 4 puntos (L1, L2, L3, N)
- Borneras de conexión de 3 puntos (U1, V1, W1)

De la figura 22, se podrán derivar otros esquemas de instalación, conformados por más tipos de sensores, según el requerimiento para la automatización del motor eléctrico.

2.2.17. Criterios para la operación de la estación de bombeo

Según el Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia (1999) en su libro “Operación y mantenimiento de pozos profundos para acueductos”, señala que, las labores básicas que debe realizar un operador en una estación de bombeo, son las siguientes:

- Medir los niveles del agua en el pozo antes de prender la bomba y durante el bombeo, es decir, el nivel estático y los niveles de bombeo.
- Aforar el caudal del pozo o leerlo en el contador.

- Observar cómo sale el agua en el tubo de descarga, si tiene arena, sedimentos, grava, etc. y anotar las anomalías.
- Registrar las medidas del voltaje en la línea leídas en el monitor.
- Registrar las medidas de voltaje y amperaje del motor.
- Registrar las lecturas de presión del manómetro.
- Registrar el tiempo de operación diario.
- Medir la temperatura del agua.
- Observar en la tubería de alimentación del filtro de grava para ir completándolo en la medida que descienda en el pozo.
- Registrar el tiempo entre arranques sucesivos del motor sumergible.

También deberá realizar las labores complementarias que son las siguientes:

- Mantener limpio el tablero de control, libre de polvo y humedad.
- Apretar cables sueltos o flojos.
- Observar y anotar en la hoja de reporte diario vibraciones, golpes hidráulicos, ruidos y cualquier.
- Anomalía que se presente durante el funcionamiento del pozo.
- Controlar fugas de agua en las tuberías de descarga y conducción.
- Lavar y desinfectar el tanque de almacenamiento periódicamente.
- Mantenimiento del sistema de tratamiento, si existe.

- Tomar muestras de agua para análisis de calidad.
- Mantener la caseta del pozo limpia y seca.
- Mantener los oídos de los filtros de grava limpios y protegidos.
- Evitar la entrada de personas extrañas o animales a la caseta de operación.

Los equipos y herramientas que se utilizan para realizar las labores de operación son:

- Sonda eléctrica.
- Reloj o cronómetro.
- Multitester tipo gancho.
- Termómetro digital infrarrojo.
- Kit de herramientas (alicate, destornilladores, llaves de tubo, herramientas varias).
- Utensilios de limpieza.
- Cinta aislante y vulcanizante.

Para las labores de operación, el operador deberá de realizar un reporte diario de operación en donde se registrará todas las medidas y observaciones, además deberá de contar con un procedimiento de puesta en servicio y parada de los equipos, para lo cual el operador también deberá estar facultado para poder

diagnosticar problemas comunes en la operación, los cuales estarán indicados en los manuales de operación de los equipos de bombeo²².

2.2.18. Criterios para el mantenimiento de la estación de bombeo

Según el Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia (1999) en su libro “Operación y mantenimiento de pozos profundos para acueductos”, señala que la importancia del mantenimiento de una estación de bombeo, son las siguientes:

- El mantenimiento es una labor indispensable que garantiza el máximo rendimiento de un pozo y la prolongación de su vida útil.
- El mantenimiento adecuado de los pozos puede aumentar su productividad, reducir al mínimo los requisitos de energía y los costos de bombeo, y a disminuir el descenso excesivo del nivel del agua cerca del pozo.
- Dada la importancia del pozo como fuente de abastecimiento público de una comunidad, este debe mantenerse en óptimas condiciones, para que garantice el suministro de agua en forma confiable y segura.

²² Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia (1999). *Operación y mantenimiento de pozos profundos para acueductos* (pp.100-107). Cinara: Autor.

- Pero para que el pozo funcione bien, también necesita que su equipo de bombeo se mantenga en buenas condiciones de operación, luego, su mantenimiento también es definitivo e importante.

Las principales causas de la disminución en el rendimiento de una estación de bombeo serán las siguientes:

- La obstrucción de los filtros y los alrededores del pozo con incrustaciones químicas, bacteriológicas y mecánicas.
- Descenso excesivo del nivel de bombeo por interferencias de pozos cercanos y veranos prolongados.
- Desgaste de la bomba por envejecimiento, mala calidad de los materiales o instalación deficiente.
- Corrosión de la tubería o filtros que pueden producir el derrumbamiento del pozo y pérdida total de las instalaciones sino es corregida a tiempo.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

- **Agua subterránea:** Se refiere a aquella agua que queda almacenada, o se desliza, cuando el agua superficial llega hasta las capas impermeables de la tierra, luego de atravesar las permeables.

- **Estrato:** Masa mineral en forma de capa que constituye los terrenos sedimentarios.
- **Estación de bombeo:** Es una instalación hidroelectromecánica, cuyo objetivo principal es el de poder impulsar el fluido de un punto a otro.
- **Caudal:** Es la cantidad de fluido que circula a través de una sección del ducto por unidad de tiempo.
- **Pozo profundo:** Perforación hecha en el terreno a través de diferentes formaciones geológicas, hasta profundidades mayores de 30 m., con la finalidad de interceptar un acuífero para explotarlo.
- **Pozo piloto:** Es una perforación de diámetro pequeño, que se ejecuta para conocer las características litológicas del subsuelo y las propiedades hidráulicas, y químicas de los acuíferos.
- **Sello sanitario:** Capa compuesta de concreto que se instala alrededor del pozo profundo con la finalidad de evitar el ingreso de aguas superficiales.
- **Cementación:** Proceso que consiste en mezclar cemento seco y ciertos aditivos con agua, y realizar la aplicación del mismo.
- **Ademe:** También denominado entubado o encamisad, son los tramos de tubería sin perforaciones en sus paredes.
- **Filtro:** Los tramos de tubería con perforaciones hechas con herramienta mecánica o por medio de maquinado.

- **Pre-filtro:** Es grava seleccionada que se coloca entre el filtro y el acuífero con función es retener el ingreso de arena al pozo profundo.
- **Desarrollo del pozo:** Es el proceso de limpieza del pozo profundo al finalizar su construcción.
- **Perforación:** Realización de un agujero de forma que atraviese la superficie en la que se hace.
- **Resistencia a la compresión:** Resistencia a la compresión. Esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento.
- **Dureza de la roca:** Resistencia que ofrece la roca a ser penetrada.
- **Velocidad de rotación:** Término usado para indicar el cociente obtenido entre el número de revoluciones por unidad de tiempo.
- **Barrido:** Proceso de inyección de aire o fluido durante la perforación para evacuar el material particulado.
- **Trépano triturante:** También denominado tricono, es la herramienta de corte que se utiliza para la perforación.
- **Sarta:** Serie de cosas metidas por orden en un hilo, cuerda, etc.
- **Caseta:** Construcción pequeña no habitable, destinada a distintos usos.
- **Cisterna:** Depósito grande, generalmente subterráneo, para recoger y conservar el agua.

- **Bomba:** Es una máquina generadora que transforma la energía con la que es accionada (generalmente energía mecánica) en energía del fluido incompresible que mueve.
- **Motor:** Es la parte sistemática de una máquina capaz de hacer funcionar el sistema, transformando algún tipo de energía (eléctrica, de combustibles fósiles, etc.), en energía mecánica capaz de realizar un trabajo.
- **Perdidas de carga:** Es la pérdida de presión que se produce en un fluido debido a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las conduce.
- **Presión:** Fuerza que ejerce un gas, un líquido o un sólido sobre una superficie.
- **Densidad:** Relación entre la masa y el volumen de una sustancia.
- **Viscosidad dinámica:** También llamada viscosidad absoluta, es la resistencia interna entre las moléculas de un fluido en movimiento y determina las fuerzas que lo mueven y deforman.
- **Rugosidad:** Es el conjunto de irregularidades que posee una superficie.
- **Fricción:** Es la fuerza que existe entre dos superficies en contacto, que se opone al movimiento relativo entre ambas superficies
- **Cavitación:** Es un efecto hidrodinámico que se produce cuando se crean cavidades de vapor dentro del agua o cualquier otro fluido en estado líquido en el que actúan fuerzas que responden a diferencias de presión.

- **Tubería:** Conducto formado por tubos que sirve para distribuir líquidos o gases.
- **Brida:** Reborde circular en el extremo de los tubos de metal que sirve para ajustarlos unos con otros.
- **Válvula:** Dispositivo que abre o cierra el paso de un fluido por un conducto en una máquina, aparato o instrumento, gracias a un mecanismo, a diferencias de presión, etc.
- **Manómetro:** Instrumento para medir la presión de los fluidos, principalmente de los gases.
- **Caudalímetro:** Un caudalímetro es un instrumento de medida para la medición de caudal o gasto volumétrico de un fluido o para la medición del gasto másico.
- **Luminaria:** Es un dispositivo eléctrico que contiene una lámpara eléctrica que proporciona iluminación.
- **Flujo luminoso:** Es la medida de la potencia luminosa percibida.
- **Corriente:** Es el flujo de carga eléctrica que recorre un material.
- **Voltaje:** También denominado tensión eléctrica o diferencia de potencial es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos.
- **Frecuencia:** Es una magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier fenómeno o suceso periódico.

- **Factor de potencia:** Es la relación entre la potencia activa y la potencia aparente.
- **Conductor eléctrico:** Es un material que ofrece poca resistencia al movimiento de la carga eléctrica.
- **Interruptor termomagnético:** También denominado llave térmica, es un dispositivo capaz de interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando ésta sobrepasa ciertos valores máximos.
- **Tomacorriente:** Dispositivo de corriente eléctrica, generalmente fijado a la pared, donde se conectan los distintos enchufes de los artículos eléctricos.
- **Puesta a tierra:** Es la conexión de las superficies conductoras expuestas a algún punto no energizado; comúnmente es la tierra sobre la que se posa la construcción, de allí el nombre.
- **Subestación eléctrica:** Es una instalación destinada a establecer los niveles de tensión adecuados para la transmisión y distribución de la energía eléctrica.
- **Contactor:** Es un elemento electromecánico que tiene la capacidad de establecer o interrumpir la corriente eléctrica de una carga, con la posibilidad de ser accionado a distancia mediante la utilización de elementos de comando, los cuales están compuesto por un circuito bobina / electroimán por la cual circula una menor corriente que la de carga en sí (incluso podría utilizarse baja tensión para el comando).

- **Variador de frecuencia:** Es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor.
- **Relé:** Es un elemento que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de una bobina y un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes.
- **Operación:** Ejecución de acciones para el manejo de una máquina o equipo para realizar una tarea determinada.
- **Mantenimiento:** Ejecución de acciones que tienen como objetivo preservar un artículo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida.
- **Incrustación:** Capa de residuos minerales que se forma en la superficie de algunos cuerpos.
- **Corrosión:** Deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno.
- **Desgaste:** Es la erosión de material sufrida por una superficie sólida por acción de otra superficie.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación es del tipo técnico-aplicativo; ya que se realiza sobre hechos concretos y específicos, de carácter netamente utilitarios, para lo cual se desarrolla de conocimientos teóricos, que hagan posible explicar estos fenómenos.

El diseño empleado en el estudio, corresponde al diseño no-experimental transversal, ya que no se controlan las variables y se utiliza el método de análisis deductivo por cálculo, para definir el diseño de la estación de bombeo automatizada, mediante un proceso ordenado y sistematizado, que a su vez se puede utilizar, como una referencia para el diseño de otras estaciones de bombeo.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

Debido a que en esta investigación se analiza un caso específico, entonces, la población es unitaria (la estación de bombeo automatizada), realizando el análisis en función de la población y no basado en una muestra.

3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

En la tabla 16, se detalla las operaciones de variables en la presente investigación.

Tabla 16

Operacionalización de variables

VARIABLES	INDICADORES
DISEÑO DE ESTACIÓN DE BOMBEO AUTOMATIZADA	Caudal (L/s)
	Profundidad (m)
	Diámetro de perforación (mm)
	Velocidad de rotación (rpm)
	Fuerza de empuje (kN)
	Velocidad de aire de barrido (m/min)
	Caudal del aire de barrido (m ³ /min)
	Presión del aire de barrido (bar)
	Fuerza de tracción (kN)
	Diámetros de tuberías (mm)
	Nivel estático (m)
	Nivel dinámico (m)
	Potencia (hp) (kW)

Continuación de la tabla 16

	Tensión eléctrica (V)
	Intensidad o corriente eléctrica (A)
	Frecuencia (Hz)
	Factor de potencia (FP)
	Eficiencia (%)
	Resistencia eléctrica (ohmios)
	Potencia aparente (KVA)
EXPLOTACIÓN	Caudal (L/s)
	Tiempo de operación diario (h)

Fuente: Elaboración propia

3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1. Estrategias para el objetivo

A. Para el objetivo específico 1

1. Determinar la ubicación para la explotación del recurso hídrico subterráneo y sus características hidrogeológicas.

2. Determinar el caudal y tiempo de explotación (L/s) y (h)
3. Determinar el diámetro de instalación de la camisa (mm)
4. Determinar el diámetro de perforación (mm)
5. Determinar la profundidad de perforación (m)
6. Determinar el tipo de entubado, filtros, pre-filtro y accesorios del pozo profundo
7. Determinar el tipo de unión del entubado y filtros
8. Determinar el método de instalación, construcción del pre-pozo, desarrollo y limpieza del pozo profundo
9. Determinar el procedimiento y método de perforación
10. Calcular las variables de operación
 - La dureza de la roca (MPa)
 - La velocidad de rotación (rpm)
 - El diámetro de perforación por el tipo de herramienta (mm)
 - La fuerza de empuje (kN)
 - La velocidad, caudal y presión del fluido de barrido (m/min), (m³/min) y (bar)
 - La fuerza de tracción (kN)
11. Selección de la máquina, herramienta y la sarta de perforación

B. Para el objetivo específico 2

1. Selección del tipo y cantidad de bombas
2. Determinar el caudal de bombeo (L/s)
3. Selección del material y diámetros de las tuberías (mm)
4. Selección de los accesorios hidráulicos necesarios para la instalación
5. Determinar las cargas dinámicas, pérdidas de carga en el sistema y la altura total de la columna de bombeo (m)
6. Seleccionar el equipo de bombeo (hp)
7. Seleccionar el motor
8. Cálculo de las presiones nominales para la selección de accesorios
9. Determinar la disposición de los equipos, tuberías y accesorios de bombeo (por medio de plano)
10. Diseñar la instalación eléctrica, se requiere determinar:
 - Cálculo del flujo luminoso para la selección de luminarias necesarias (lúmenes)
 - Potencia eléctrica requerida de instalación (kW)
 - Capacidad de corriente (A)
 - Caída de tensión (V)
 - Selección de la sección y longitud del cable (mm^2) y (m).
 - Distribución de circuitos en el tablero general.

- Evaluación del porcentaje de caída de tensión en los circuitos.
- Selección del diámetro de la tubería de PVC para el cableado eléctrico.
- Selección de la sección y longitud del cable de puesta a tierra (mm^2) y (m).
- Cálculo de la resistencia para la realización del pozo a tierra.
- Cálculo de la potencia aparente para la selección del transformador en la subestación eléctrica (KVA).
- Determinar la disposición de la instalación eléctrica (por medio de plano).

11. Diseñar el sistema automatizado para el control del equipo de bombeo.

- Selección de los accesorios requeridos para la automatización y la protección del equipo a razón de la corriente y tensión (A) y (V).
- Determinar el esquema de conexión del circuito de fuerza y mando para el tablero de control de las bombas (por medio de esquema).

C. Para el objetivo específico 3

1. Investigar sobre las labores diarias y complementarias que debe hacer un operario de estaciones de bombeo.

2. Establecer una hoja donde se pueda registrar las observaciones y medidas diarias realizadas por el operador.
3. Realizar el procedimiento para la operación de la estación de bombeo.
4. Realizar el análisis de criticidad de los equipos, para determinar los trabajos de mantenimiento preventivo.
5. Determinar el plan y programa de mantenimiento de la estación de bombeo.
6. Establecer una hoja donde se pueda registrar las observaciones y acciones realizadas durante el mantenimiento de la estación de bombeo.
7. Realizar el procedimiento para la labor de mantenimiento de mayor criticidad en la estación de bombeo.

3.4.2. Técnicas de recolección de datos

Se aplicará la técnica documental o bibliográfica (investigación y aplicación de fórmulas y recomendaciones de investigaciones previas), para el desarrollo de todos los objetivos específicos.

3.4.3. Instrumentos y equipos

- Material documental de estudios previos.

- Material bibliográfico
- Calculadora.
- Computadora
- Softwares informáticos (Microsoft Word, Excel, Power Point, Adobe Acrobat Reader).
- Softwares de diseño Autocad 2018 y CADe_SIMU 2016.

3.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Para el desarrollo de todos los objetivos, se hará el uso de técnicas lógicas (inducción, deducción, análisis y síntesis), de la siguiente forma:

- Procesamiento manual de datos, realización de los cálculos con calculadoras mecánicas o electrónicas, codificación de ideas y respuestas obtenidas de bibliografías, tabulación y organización de ideas.
- Procesamiento electrónico de datos, tabulación de cálculos por medio de tablas elaboradas en Microsoft Excel y análisis de esquemas por medio de planos elaborados con software de diseño, Autocad 2018 y CADe_SIMU 2016.

CAPÍTULO IV

DISEÑO CONCEPTUAL DEL POZO PROFUNDO

Para un diseño metodológico adecuado y su aplicación en una construcción eficiente, se agruparán en sistemas los componentes y procedimientos necesarios, resultando:

- Sistema de captación o el pozo profundo.
- Sistema de perforación.

4.1. DISEÑO DEL SISTEMA DE CAPTACIÓN

4.1.1. Ubicación de los pozos profundos y estaciones de bombeo

Para el desarrollo de la investigación, en consideración de la necesidad de basarse en datos reales de la hidrogeología natural de la zona, se consideran los resultados obtenidos por Hydrogeological y Geotechnical Services PERÚ S.A. (2012) en su “Estudio hidrogeológico para la perforación de 04 pozos con fines de uso poblacional” solicitado y preparado para la EPS Tacna S.A., con autorización

de la Dirección de Conservación y Planeamiento de los Recursos Hídricos de la ANA, por medio de Resolución Directoral N° 0096-2010-ANA–DCPRH.

En dicho estudio, se identifican 4 zonas favorables para la explotación de agua subterránea en el acuífero del río Caplina, perteneciente a la región de Tacna, ubicadas en el área urbana.

En la tabla 17, se presentan las coordenadas de ubicación y codificación de los pozos propuestos de explotación del el estudio hidrogeológico²³.

Tabla 17

Ubicación proyectada para los pozos de explotación PEEPS

ZONA FAVORABLE	POZO DE EXPLOTACIÓN	COORDENADAS UTM WGS 84-19S	
		ESTE (m)	NORTE (m)
ZONA A	PEEPS - 01	368,512	8 008,103
ZONA B	PEEPS - 02	369,790	8 009,388
ZONA C	PEEPS - 03	370,699	8 009,153
ZONA D	PEEPS - 05	366,638	8 006,727

Fuente: Estudio hidrogeológico para la perforación de 04 pozos con fines de uso poblacional, HGSPERU S.A., 2012

²³ Hydrogeological & Geotechnical Services PERÚ S.A. (2012). *Estudio hidrogeológico para la perforación de 04 pozos con fines de uso poblacional* (pp.120-123). Lima: Autor.

En la tabla 18, se presenta las distancias de separación entre los pozos propuestos y los pozos vecinos existentes.

Tabla 18

Estado y distanciamiento de los pozos vecinos respecto a los pozos propuestos de explotación

POZOS PRO- PUES- TOS	NOM- BRE	POZOS EXISTENTES		ESTADO DEL POZO	DISTANCIA ENTRE POZOS [m]
		COORDENADAS			
		ESTE (m)	NORTE (m)		
PEEPS-01	IRHS 209	369,358	8 007,55	OPERA.	1 006
PEEPS-02	IRHS 180	369,103	8 010,00	INOPERA.	924
	IRHS 05	369,553	8 010,10	INOPERA.	751
	IRHS 07	371,717	8 010,09	INOPERA.	1 388
PEEPS-03	IRHS 06	372,169	8 009,65	OPERA.	1 553
	IRHS 03	372,158	7 994,48	INOPERA.	1 349
PEEPS-04	IRHS 173	367,058	8 007,62	INOPERA.	966
	IRHS 179	367,935	8 006,72	INOPERA.	1 298

Fuente: Estudio hidrogeológico para la perforación de 04 pozos con fines de uso poblacional, HGSPERU S.A., 2012

Se evalúa en la tabla 18, que los pozos de explotación propuestos en el estudio hidrogeológico identificados con códigos PEEPS y los pozos existentes en

la actualidad que los colindan, inventariados con código IRHS, no tendrán una influencia negativa, debido a que la mayoría de los pozos identificados, se encuentran en la mayoría inoperativos²⁴.

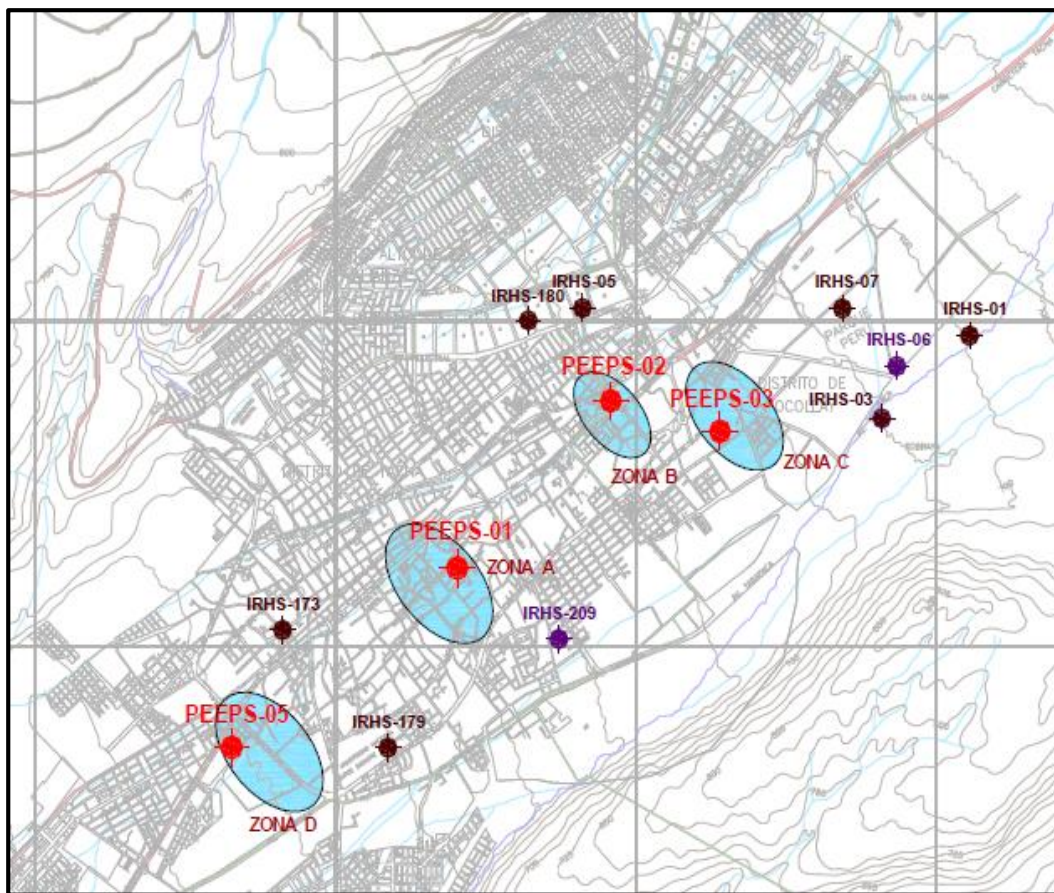


Figura 23. Mapa de ubicación de zonas favorables, pozos propuestos y pozos existentes

Fuente: Estudio hidrogeológico para la perforación de 04 pozos con fines de uso poblacional, HGSPERU S.A., 2012

²⁴ Hydrogeological y Geotechnical Services PERÚ S.A. (2012), *Estudio hidrogeológico para la perforación de 04 pozos con fines de uso poblacional* (p.122). Lima: Autor.

De los pozos propuestos, se selecciona el PEEPS-02 para continuar con el desarrollo del trabajo y el diseño de las partes que lo conforman.

4.1.2. Caudal y tiempo de explotación proyectado del pozo profundo

En el estudio hidrogeológico realizado en la zona, para la perforación de futuros pozos profundos. Hydrogeological y Geotechnical Services PERÚ S.A. (2012) afirma: “El caudal de explotación máximo diario será de 30 L/s para cada uno de los pozos proyectados PEEPS-01, PEEPS-02, PEEPS-03 y PEEPS-05 ubicados en las zonas favorables” (pp.120-121). Caudal que no afectará al equilibrio natural del acuífero y prolongará la vida útil de la estación de bombeo, pudiendo ser el caudal explotado por 24 horas diarias.

4.1.3. Diámetro del ademe o entubado del pozo profundo

De la tabla 5, para un caudal de 30 L/s, el entubado debe tener un diámetro nominal mínimo de 250 mm (10 in) y máximo de 300 mm (12 in). Por criterio de selección (dando un factor de seguridad a favor del aumento del caudal esperado a explotar) se selecciona un diámetro nominal del entubado de 300 mm (12 in) para el pozo proyectado PEEPS-02 y también aplicable para los demás pozos proyectados.

4.1.4. Diámetro de perforación para la instalación del entubado

Dado que el diámetro nominal de entubamiento es de 300 mm (12 in), para lograr una buena cementación es necesario perforar un diámetro mayor en 101,6 mm (4 in) al diámetro de la camisa, por lo tanto, el diámetro de perforación deberá ser mayor o igual a 406,4 mm (16 in). Considerando que se desea aumentar la productividad de captación de agua subterránea, sin hacer uso de ensanchadores u otro tipo de herramientas, y además asegurará la cementación, se utilizará un factor de seguridad de 1,5; resultando un diámetro de perforación de 457,2 mm (18 in), para el pozo proyectado PEEPS-02 y también aplicable para los demás pozos proyectados.

4.1.5. Diseño del pozo profundo

Para establecer las profundidades de instalación de los componentes, es necesario evaluar en la perforación las capas productivas (acuíferos) e improductivas (acuitardos, acuicludos), por medio de resistividad eléctrica en el perfilaje eléctrico del pozo piloto y los resultados obtenidos en el estudio hidrogeológico por correlación de geofísica-eléctrica. En la tabla 19, se presenta el resumen de las permeabilidades de los estratos hidrogeológicos encontrados en el estudio hidrogeológico de las zonas.

Tabla 19*Permeabilidad de los estratos hidrogeológicos*

ESTRATOS HIDROGEOLÓGICOS	PERMEABILIDAD (m/s)			
	PEEPS-01	PEEPS-02	PEEPS-03	PEEPS-05
Primer estrato (material de cobertura).	Media	Media	Baja	Alta
Segundo estrato (depósitos aluviales, fluvio-aluviales).	$2,19 \times 10^{-5}$	$1,32 \times 10^{-5}$	$1,28 \times 10^{-6}$	$4,71 \times 10^{-7}$
Tercer estrato (depósitos fluviales, fluvio-aluviales).	$2,39 \times 10^{-5}$	$2,54 \times 10^{-5}$	$3,61 \times 10^{-5}$	$1,61 \times 10^{-4}$
Cuarto estrato (estrato confinante, formación Moquegua).	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja

Fuente: Estudio hidrogeológico para la perforación de 04 pozos con fines de uso poblacional, HGSPERU S.A., 2012.

La permeabilidad del primer estrato hidrogeológico, no es exacta por ser el material o terreno de cobertura, generalmente tiende a ser baja o alta según la permeabilidad de los estratos inferiores. La permeabilidad del segundo estrato hidrogeológico, correspondería a una capa improductiva denominada zona

subsaturada o acuitado. El tercer estrato hidrogeológico, tiene mayor permeabilidad por lo que se considera la capa productiva, donde se ubica la zona saturada o el acuífero del cual se explotará el agua subterránea y en donde se deberá poner las tuberías tipo filtro. El cuarto estrato hidrogeológico, será el estrato confinante, perteneciente a la formación Moquegua, de muy baja permeabilidad. En la tabla 20, se presenta los espesores y las profundidades tentativas de los estratos hidrogeológicos, determinados en el estudio hidrogeológico para cada uno de los pozos proyectados PEEPS-01, PEEPS-02, PEEPS-03 y PEEPS-05.

Tabla 20

Espesores y profundidades de los estratos hidrogeológicos

ESTRATOS HIDROGEOLÓGICOS	PROFUNDIDAD (m)			
	PEEPS-01	PEEPS-02	PEEPS-03	PEEPS-05
Primer estrato	0	0	0	0
Segundo estrato	5	5	6	2
Tercer estrato	37	38	40	38
Nivel freático (zona saturada)	77	79	83	72
Cuarto estrato (formación Moquegua)	162	192	201	230

Fuente: Estudio hidrogeológico para la perforación de 04 pozos con fines de uso poblacional, HGSPERU S.A., 2012

En la instalación del entubado, se deberá tener en cuenta la instalación de una losa de fondo vaciada en el interior de una tubería ciega, cuya longitud será de 6 m, según el estándar de fabricación de los tubos acerados en el mercado²⁵. En consideración a lo mencionado, en la tabla 21, se presenta las profundidades de instalación del entubado para el pozo proyectado PEEPS-02.

Tabla 21

Profundidades de instalación del entubado para el pozo proyectado PEEPS-02

ELEMENTOS	PROFUNDIDAD (m)
Tubería	0 – 98
Filtro	98 – 194
Tubería con tapón	194 – 200

Fuente: Elaboración propia

Habiendo determinado estas profundidades de instalación, se procede a calcular las profundidades para la instalación del pre-filtro o engravado; se considera que la cementación deberá de ser hasta los 50 m de profundidad para asegurar un sello eficiente.

²⁵ POLIMETALES S.A.C. (2016). *Catálogo de productos*. Recuperado de <http://www.polimetales.com/wp-content/uploads/2015/09/Catalogo-Polimetales-2015-web1.pdf>

Y para evitar que el área del pre-filtro y el área cementada se junte, se deberá instalar un sello bentónico, que está compuesto por tabletas de bentonita, que desarrollan una capa impermeable con una altura promedio de 1 m.

En la tabla 22, se presenta los resultados de las profundidades de instalación, considerando lo mencionado anteriormente para el pozo proyectado PEEPS-02.

Tabla 22

Profundidades de instalación de la cementación, sello bentónico y pre-filtro para el pozo proyectado PEEPS-02

ELEMENTOS	PROFUNDIDAD (m)
Cementación	0 – 50
Sello bentónico	50 – 51
Pre-filtro	51 – 200

Fuente: Elaboración propia

En la figura 24, se presenta un esquema gráfico de los componentes del pozo profundo, representando su instalación en cada uno de los estratos.

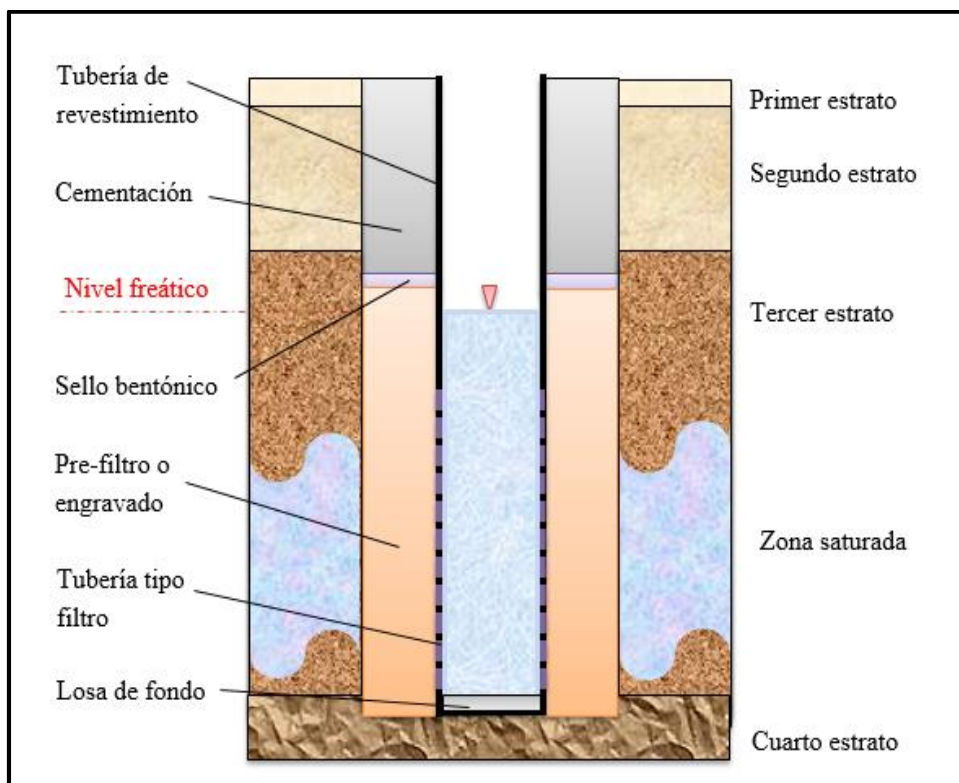


Figura 24. Esquema gráfico de los materiales que componen el pozo profundo

Fuente: Elaboración propia

4.1.6. Diseño del ademe o entubado del pozo profundo

A. Selección del material de la tubería

Se selecciona el acero inoxidable como material de fabricación del entubado, se puede clasificar de diferentes tipos, según su estructura cristalina en determinados grados de la serie 300, entre estos tenemos: AISI 420 para los

martensíticos, AISI 430 para los ferríticos, AISI 304 y AISI 316 para los austeníticos, AISI 201 y AISI 202 para los austenoferríticos; modificando uno o varios elementos de aleación obtenemos distintos grados dentro del mismo grupo, aptos para mejorar algunas de sus propiedades y/o usos.

Entre ellos se selecciona el AISI 304, que es el más empleado en diferentes industrias, que se usará en el entubamiento y en los filtros, debido a que no existe cambios bruscos en las condiciones de trabajo (temperatura y presión).

B. Especificaciones del diámetro nominal y exterior de la tubería

Del anexo 15, para una tubería de diámetro nominal de 300 mm (12 in), tiene un diámetro exterior de 323,8 mm según la normativa ANSI.

C. Determinación del espesor y diámetro interno de la tubería

Teniendo en consideración la siguiente expresión sobre la presión para un fluido estático:

$$Presion = \frac{peso}{\acute{a}rea} = \frac{mg}{A} = \frac{\rho Vg}{A} \quad [34]$$

Si:

$$V = altura * base = h * A \quad [35]$$

Remplazando la ecuación [35] en la ecuación [34], se obtiene:

$$Presion (P) = \frac{\rho V g}{A} = \frac{\rho h A g}{A} = \rho g h \quad [36]$$

Donde:

- P = presión, kPa
- ρ = densidad, kg/m³
- g = aceleración de la gravedad, m/s²
- h = altura, m

Entonces para depósitos abiertos, la presión variará conforme a la altura (h), desde la superficie en donde la presión será atmosférica y aumentando conforme a la profundidad, sin considerar la forma del depósito.

Se evalúa, que el entubado del pozo profundo, va estar afectado por diferentes medidas de presión, tanto internas como externas, en función a la profundidad y del tipo de material colindante. Para efectos de cálculo, se considerará un entubado uniforme en toda la camisa del pozo.

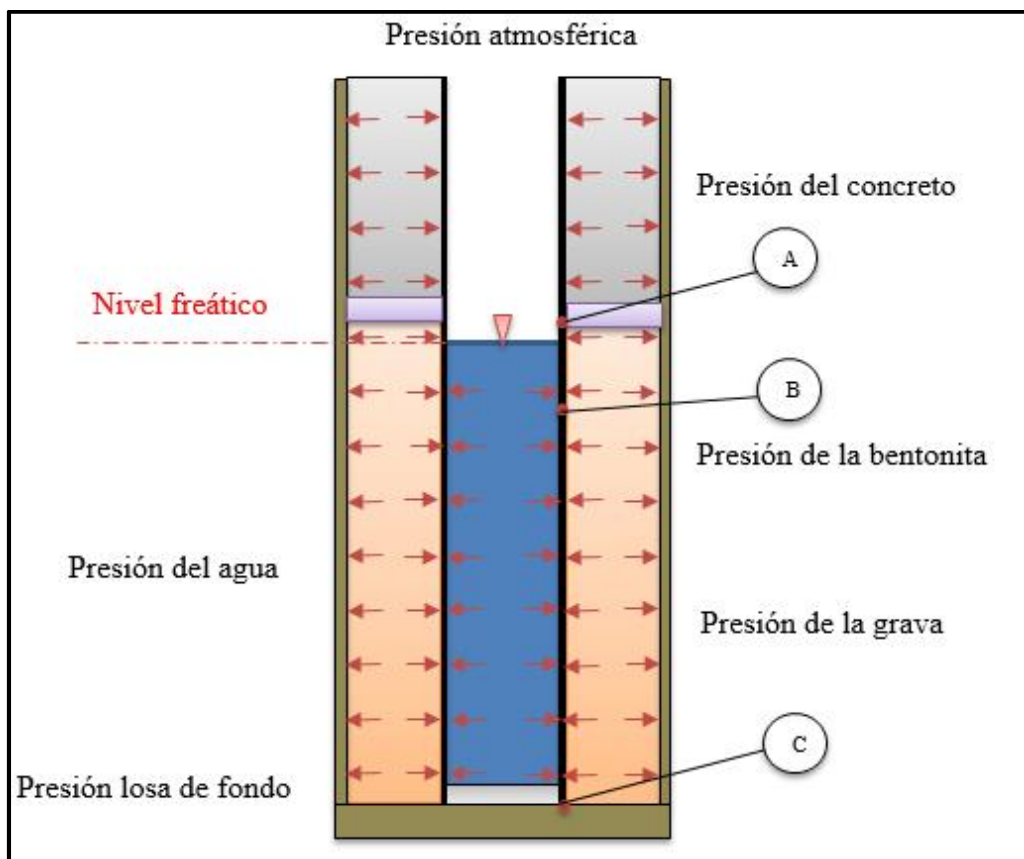


Figura 25. Esquema gráfico de las presiones actuantes en la camisa del pozo profundo

Fuente: Elaboración propia

La resultante de las presiones ejercidas en los puntos A, B y C en la figura 25, son las siguientes:

$$\text{En el punto A:} \quad P_{\text{concreto}} + P_{\text{bentonita}} \quad [37]$$

$$\text{En el punto B:} \quad (P_{\text{concreto}} + P_{\text{bentonita}} + P_{\text{grava}}) - P_{\text{agua}} \quad [38]$$

$$\text{En el punto C:} \quad (P_{\text{concreto}} + P_{\text{bentonita}} + P_{\text{grava}}) - (P_{\text{agua}} + P_{\text{losa}}) \quad [39]$$

Los datos necesarios para el cálculo serán:

- La gravedad estándar: $g = 9,80665 \text{ m/s}^2 \approx 9,81 \text{ m/s}^2$
- La densidad del agua: $\rho_{\text{agua}} = 1\,000 \text{ kg/m}^3$
- La densidad del concreto: $\rho_{\text{concreto}} = 2\,400 \text{ kg/m}^3$
- La densidad de la bentonita: $\rho_{\text{bentonita}} = 80,72 \text{ lb/pie}^3 = 1\,293,01 \text{ kg/m}^3$
- La densidad de la grava: $\rho_{\text{grava}} = 1,6 \text{ gr/cm}^3 = 1\,600 \text{ kg/m}^3$
- La densidad de la losa: $\rho_{\text{losa}} = \rho_{\text{concreto}} = 2\,400 \text{ kg/m}^3$
- La altura de la bentonita: $h_{\text{bentonita}} = 1 \text{ m}$
- La altura de la losa: $h_{\text{losa}} = 0,1 \text{ m}$
- La altura del agua: Estará dado por; h_{agua} en el Punto B (profundidad de instalación de filtro – nivel freático), h_{agua} en el Punto C (límite inferior – espesor de losa – nivel freático), se resume en la tabla 23.

Tabla 23

Alturas del agua

VARIABLES EN LOS PUNTOS	DISTANCIAS (m)
h_{agua} (Punto B)	19
h_{agua} (Punto C)	120,9

Fuente: Elaboración propia

- La altura del concreto y de la grava: Estará dado por; h_{concreto} en el Punto A, B y C (profundidad de cementación), h_{grava} en el Punto B (profundidad de instalación del filtro – profundidad de instalación del pre-filtro), h_{grava} en el Punto C (límite inferior – profundidad de instalación del pre-filtro), se resume en la tabla 24.

Tabla 24

Alturas del concreto y de la grava

VARIABLES EN LOS PUNTOS	DISTANCIAS (m)
h_{concreto} (Punto A, B y C)	50
h_{grava} (Punto B)	47
h_{grava} (Punto C)	149

Fuente: Elaboración propia.

Remplazando los datos obtenidos resumidos en las tablas 23 y 24, y demás variables en las ecuaciones [37], [38] y [39], se obtiene las siguientes presiones:

En el punto A = 1 189,88 kPa

En el punto B = 1 741,21 kPa

En el punto C = 2 340,21 kPa

Conforme a lo estipulado en la normativa ANSI, especificado en el apartado 2.2.13 del marco teórico. Para realizar el cálculo se requieren los siguientes datos:

- La presión de diseño: Se selecciona la presión en el punto C, que es la más elevada.
- El diámetro exterior: $D_o = D_E = 323,8$ mm (anexo 15)
- Esfuerzo admisible: $S_E = 15,7$ ksi = 108 330 KPa (anexo 16)
- Coeficiente: $y = 0,4$ (anexo 17)

Remplazando los datos en la ecuación [22], se tiene:

$$t_m = 0,5 \frac{2\,340,21 * 323,8}{(108\,330 + (2\,340,21 * 0,4))}$$
$$t_m = 3,47 \text{ mm}$$

Según la norma ASME/ANSI B36.10/19 para un diámetro nominal de 300 mm (12 in), el espesor más próximo en el anexo 18, que cumpla con una tolerancia como factor de seguridad, será de 4,57 mm del ANSI Cédula 10 equivalente a un espesor 4,76 mm (3/16 in), con un diámetro exterior de 323,8 mm y según el anexo 19, la tubería tendrá un diámetro interior de 314,76 mm.

Sin embargo, la norma API en la tabla 6, recomienda para un entubado de diámetro nominal de 300 mm (12 in) y para una profundidad máxima recomendada de 210 m, corresponderá un espesor de 6,35 mm (1/4 in), el cual tendrá un factor de seguridad comprobado en la práctica según la norma API.

Por lo tanto, considerando la acción de otros factores en el momento de la instalación de la camisa, se considera lo expuesto por la norma API y se selecciona un espesor de 6,35 mm (1/4 in), para el ANSI Cédula 20 de acuerdo a la norma ASME/ANSI B36.10/19, con un diámetro exterior de 323,8 mm y un diámetro interior de 311,2 mm, el cual tendrá un factor de seguridad normado para el pozo proyectado PEEPS-02 y también aplicable para los demás pozos proyectados.

4.1.7. Diseño del filtro

El filtro será fabricado con la misma tubería seleccionada para el ademe o entubado, de ranuras maquinadas longitudinalmente.

Para seleccionar el tipo de ranura, se deberá tener en cuenta y considerar los siguientes datos para el cálculo del área de filtración:

- $Q = 30 \text{ L/s} = 30\,000 \text{ cm}^3/\text{s}$

- V_f = En la práctica, según el estándar establecido por los fabricantes de filtro, se considera una velocidad de diseño de 3 cm/s ²⁶.

Remplazando en la ecuación [2] se obtiene:

$$At = 30\ 000 / 3$$

$$At = 10\ 000\ \text{cm}^2$$

Considerando en el área de infiltración un aumento del 30 % por obturación, se calcula lo siguiente:

$$At = 10\ 000\ \text{cm}^2 + (0,3 \times 10\ 000\ \text{cm}^2)$$

$$At = 13\ 000\ \text{cm}^2$$

Por lo tanto, se requiere 13 000 cm² de área de infiltración a lo largo de toda la longitud de la tubería tipo filtro, para obtener el caudal deseado.

Utilizando las tablas de los catálogos de fabricantes del anexo 5, que cumplen la normativa API para la selección e instalación de un filtro, se selecciona la tubería tipo filtro de ranura maquinada longitudinalmente de tipo II, para una

²⁶ Auge, M. (2005). *Perforaciones hidrogeológicas* (p.37). Buenos Aires: Pilar.

tubería de 324 mm de diámetro y 6,35 mm de espesor, con un ancho de ranura de 3,97 mm, para lo cual corresponde un área de infiltración de 228 cm²/m.

En la tabla 21, se determina que la longitud total de las tuberías filtro será de 96 m, el cual multiplicado por el área de infiltración resulta 21 888 cm².

4.1.8. Diseño de la instalación del entubado del ademe y el filtro

A. Diseño de las uniones de las tuberías

Debido a que las tuberías van a ser cementadas, no se requiere utilizar uniones desacoplables; por lo tanto, se utiliza uniones fijas para acoplar el entubado, de tipo de unión soldada. Utilizar conexiones de terminales soldadas de extremos lisos, es en general satisfactorio para paredes de hasta 4,76 mm de espesor. Cuando las paredes son más gruesas, los extremos deben ser biselados a 32° para facilitar la penetración de la soldadura, dejando un área lisa de 1,59 mm (1/16 in); las ventajas de estas conexiones son: su economía y la homogeneidad del diámetro externo, que minimiza la tendencia de la grava a desplazarse, en los pozos que llevan envoltorio de grava artificial²⁷.

²⁷ Roscoe Moss Company (2004). *Guía para la selección de cañerías y rejillas para pozos de agua* (p.43). California: Autor.

En la práctica, los procesos de soldadura por arco, son los más utilizados por sus múltiples formas de uso y economía, de entre ellos la soldadura por arco metálico con electrodos revestidos (SMAW), es la más empleada en diferentes tipos de industria, para soldar tuberías de diferentes dimensiones²⁸.

En consideración a lo mencionado, se determina:

- Las tuberías se deben unir con soldadura por arco metálico con electrodos revestidos (SMAW).
- Los extremos de las tuberías deben ser biselados a 32° para facilitar la penetración de la soldadura, dejando un espesor liso de 1,59 mm (1/16 in).
- El electrodo a emplear debe ser el INOX AW fabricado por Oerlikon, identificado con código E308L-16 según la norma AWS A5.4 / ASME SFA-5.4, especial para soldar aceros inoxidable no estabilizados del tipo AISI 304, en la construcción de tanques, tuberías y ductos en diferentes industrias.

²⁸ BLOG METALISTERIA (2011). *Preparación técnica de una junta soldable en el proceso smaw con electrodo revestido*. Recuperado de <http://tuberiasoldadura.blogspot.pe/>

- En la práctica, el diámetro del electrodo se establece por el espesor del material o de la chapa a soldar; se recomienda para espesores de 6 a 8 mm, el diámetro del electrodo debe ser de 3 a 5 mm; otro autor recomienda, que para espesores de 6,35 mm (1/4 in) a 7,94 mm (5/16 in), el diámetro del electrodo debe ser de 3,97 mm (5/32 in) a 4,76 mm (3/16 in); por lo tanto, para un espesor de tubería de 6,35 mm (1/4 in), el diámetro del electrodo seleccionado es de 3,97 mm (5/32 in).
- El amperaje mínimo con el que se debe soldar es de 100 amperios y el amperaje máximo es de 130 amperios.
- La resistencia máxima a la tracción que ofrece el electrodo INOX AW, es de 650 MPa, la cual se estima, que no es superada por los esfuerzos calculados para la tubería.
- El soldador contratado, debe cumplir con homologación mínima para realizar trabajos en soldadura en posición 2G.

Estas consideraciones, se aplican para todas las uniones en las conexiones de las terminales de las tuberías de la camisa, para el pozo proyectado PEEPS-02 y también aplicable para los demás pozos proyectados.

B. Selección de la abrazadera y accesorios para la instalación

Considerando que los fabricantes de tuberías de acero inoxidable establecen que el peso teórico por unidad de longitud está dado por la siguiente fórmula:

$$\text{kg/m} = (\text{DE} * \text{e}) * 0,025132 \quad [40]$$

$$\text{kg/m} = (323,8 * 6,35) * 0,025132$$

$$\text{kg/m} = 51,6747$$

Por lo tanto, para una longitud de 200 metros de tubería, resulta una masa de 10 334,93 kg, que multiplicado por la aceleración de la gravedad que es 9,81 m/s², resultará una fuerza normal de 101 385,68 N.

Por lo tanto, del anexo 6 se selecciona la abrazadera para diámetro de 323,85 mm (12 3/4 in) y para capacidad máxima de 16 toneladas, además en la práctica, el material utilizado para su fabricación es acero estructural ASTM A36, se requiere la fabricación de dos unidades según las dimensiones establecidas.

Además, para la instalación se debe hacer uso de dos eslingas planas de poliéster, con capacidad para 12 toneladas (considerando el peso total del entubado de 10 334,93 kg), con largo comercial de 10 m.

4.1.9. Especificaciones para la cementación²⁹, sello bentónico y pre-filtro

A. Especificaciones de la cementación para la cubierta

El encofrado se inicia después de vaciar los muros, se coloca varillas de acero de refuerzo, se realiza una cubierta cilíndrica de diámetro de 635 mm (25 in) y altura de 0,1 m utilizando un concreto simple de $f'c=175$ kg/cm²; el acabado exterior se realiza con una capa de mortero colocada sobre el concreto fresco.

B. Especificaciones de la cementación para la losa de fondo

El espesor y la dimensión de la losa de concreto armado, será de 0,10 m en la práctica. Para el vaciado de la misma, se utilizará concreto simple, con resistencia mínima a la compresión de 175 kg/cm².

C. Especificaciones de la cementación para el entubado del pozo

Considerando la fijación, en la parte final del entubado, se sueldan 4 aletas de forma triangulo rectángulo de 177,8 mm (7 in) de ancho y 304,8 mm (12 in) de

²⁹ Organización Panamericana del Sur (2005b). *Guías para la construcción de estaciones de bombeo de agua potable* (pp.5-6). Lima: Autor.

largo, fabricado de plancha de acero de 12,7 mm (1/2 in) de espesor; continuado se procede a vaciar con concreto simple de $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$, el espacio anular que queda entre el entubado y la perforación, las dosificaciones para el concreto se indican en el anexo 4.

Además, se instala entre el espacio anular una tubería de PVC de diámetro 38,1 mm (1 1/2 in) desde la superficie hasta el inicio del pre-filtro, con la finalidad de que esta sirva para controlar y aumentar grava, cuando el pre-filtro se redistribuya en los espacios en momento del desarrollo del pozo profundo.

D. Especificaciones del sello bentónico

Para un espacio anular estrecho de 76,2 mm, de la tabla 3 se selecciona tabletas bentónicas de 9,53 mm (3/8 in).

E. Especificaciones del pre-filtro.-

Para el ancho de ranura del filtro de 3,97 mm, según la tabla 4, el pre-filtro estará compuesto por grava estandarizada del número 4 cuyos diámetros están entre 5 a 9 mm, en la práctica, el diámetro comercial de la grava es de 6,35 mm (1/4 in).

4.1.10. Diseño del pre-pozo para el sello sanitario

Teniendo en cuenta las consideraciones del marco teórico, apartado 2.2.3, se determina lo siguiente para el pozo proyectado PEEPS-02 y también aplicable para los demás pozos proyectados:

- Debido a que el espesor de la capa de cobertura oscila entre 2 a 6 m y el segundo estrato está compuesto por depósitos aluviales, fluvio-aluviales, la profundidad de excavación del pre-pozo debe ser de 5 m.
- Considerando que el diámetro de perforación es de 457,2 mm (18 in) y el diámetro del entubado del sello sanitario debe ser mayor a este, se selecciona una tubería de acero negro A 53 grado A, rolado para diámetro nominal de 500 mm (20 in), longitud de 5 m, diámetro exterior de 508,0 mm y espesor de 6,35 mm (1/4 in) (cédula 10, según norma ANSI) con relación a la norma ASME/ANSI B36.10/19.
- El diámetro de excavación será de 1 m, para lograr una cementación eficiente y considerando que la excavación es realizada manualmente.

- Cualquier sobre-excavación mayor tiene que ser rellenada, se tiene que vaciar con concreto de $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2 + 25 \%$ con piedra mediana el espacio anular entre la tubería y la pared del hueco excavado, se considera usar dosificación con concreto bentónico en el fondo para permeabilizar. El fondo de la excavación deberá quedar limpio y parejo.

4.1.11. Diseño del procedimiento de perforación del pozo profundo

Teniendo en consideración la necesidad del desarrollo de un pozo piloto, explicado en el marco teórico apartado 2.2.3, para el pozo proyectado PEEPS-02 y también aplicable para los demás pozos proyectados, se determina lo siguiente:

- El trabajo de perforación se inicia con la perforación de un pozo piloto (exploratorio) de diámetro de 203,2 (8 in), desde los 5 m hasta los 200 m de profundidad tentativa.
- Se tiene que realizar muestreo del material perforado del pozo cada 2 metros de avance, colocándolos en bolsas de plástico de 2 kg para su estudio y midiendo la velocidad de avance de la broca de perforación.

- Además, se deberá realizar un perfilaje eléctrico del pozo piloto con diagráfias de potencial espontaneo y resistividad eléctrica, para evaluar las profundidades de los puntos más productivos (mayor permeabilidad).
- Luego se realiza el rimado del pozo, con diámetro establecido de 457,2 mm (18 in), desde los 5 m hasta los 200 m de profundidad tentativa.

4.1.12. Diseño del desarrollo del pozo profundo

El Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia (1999) afirma: “El método más eficiente y práctico que se está utilizando en la actualidad es una combinación de varios de ellos y se realiza en varias etapas” (p.59). La secuencia de los métodos a aplicar para el desarrollo y limpieza del pozo, serán las siguientes:

- Aplicación de agua a presión, con la bomba de lodos del equipo de perforación, en frente de cada filtro para extraer el lodo de perforación.
- Pistoneo e inyección simultánea de aire comprimido en frente de cada filtro
- Aplicación de dispersantes químicos de lodo bentónico, para disolver y remover la costra de bentonita, presente en las paredes y alrededor del pozo.

- Segundo y último pistoneo con inyección simultánea de aire comprimido en frente de cada filtro.
- Agitación y sobrebombeo con la bomba de prueba.

El Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia (1999) afirma: “Los métodos mencionados anteriormente son los más eficientes y deben ser realizados con el equipo de perforación o una máquina similar más pequeña llamada máquina de desarrollo y un compresor” (p.59).

4.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE PERFORACIÓN

4.2.1. Selección del método de perforación

De lo indicado en la tabla 7 se determina, que el método de rotopercusión es solamente usado para estratos hidrogeológicos compuestos de rocas duras (rocas ígneas), sin embargo, para estratos hidrogeológicos compuesto de depósitos aluviales y fluviales intercalados de gravas, arenas, limos y arcillas, que son materiales blandos, quedaría descartado. El método de percusión sería ventajoso, ya que es para todo tipo de terreno de preferencia suave y tiene una buena capacidad para el muestreo en la perforación, sin embargo, este método presenta principales

desventajas en pozos de diámetro y profundidades mayores, además de que el avance es lento, por lo que este método quedaría descartado. Por lo tanto, el método rotativo será el seleccionado, por ofrecer más beneficios para la construcción de todos los pozos propuestos, aplicado en su método de circulación directa.

4.2.2. Cálculo de las variables de operación

Los estratos a perforar en la región de Tacna, están conformados por los siguientes tipos de rocas³⁰:

- **Depósitos Aluviales.-** El acuífero está constituido principalmente por cantos redondeados y subredondeados, guijarros, gravas, arenas, limos y arcillas, que presentan lenticularidades y entrecruzamientos productos del transporte.
- **Depósitos Fluviales.-** Lo constituyen depósitos transportados por la corriente de los ríos, flujos de agua y corrientes laminares, producto de las precipitaciones fluviales. Litológicamente, están compuestas por niveles intercalados de gravas, arenas, limos y arcillas.

³⁰ Hydrogeological y Geotechnical Services PERÚ S.A. (2012). *Estudio hidrogeológico para la perforación de 04 pozos con fines de uso poblacional* (p.55). Lima: Autor.

Los estratos formados por materiales fragmentados, depositados de orígenes diversos, pudiendo estar disgregados o cementados, tienen una resistencia a la compresión que varía de 5 hasta 350 kg/cm², dependiendo del porcentaje de porosidad de estos y teniendo en cuenta, que para rocas calizas la resistencia a la compresión varía de 350 kg/cm² hasta 500 kg/cm² en las escalas de dureza Mohs, según los expertos en litología y construcción civil³¹.

Por lo tanto, para los estratos se considera una resistencia a la compresión media de 350 kg/cm²; y considerando una porosidad del 20 %, la resistencia a la compresión calculada es de 280 kg/cm² que pertenece al tipo de roca muy blanda, que equivale a 27,47 MPa y cumple lo estipulado en la tabla 8.

A. Velocidad de rotación

De la tabla 9, para una roca muy blanda de 280 kg/cm², corresponde una velocidad de rotación igual a 105 rpm.

³¹ Construcción Civil (2010). *Recursos hídricos subterráneos en Perú*. Recuperado de <http://www.elconstructorcivil.com/2011/01/resistencia-y-extraccion-de-las-rocas.html>

B. Diámetro de perforación

De la figura 11, para perforaciones por el método rotativo con tricono y un diámetro de perforación de 457,2 mm (18 in). El diámetro de fabricación del tricono más próximo es de 444,5 mm (17 1/2 in), que es el máximo diámetro estándar de fabricación de los triconos.

C. Fuerza de empuje

Remplazando en la ecuación [3], se calcula la fuerza de empuje mínima (F_{mín}):

$$F_{\text{mín}} = 28,5 * 27,4680 * 17,5$$

$$F_{\text{mín}} = 13\,699,665 \text{ lb} * ((0,4535924 \text{ kg} / 1 \text{ lb}) * 9,81 \text{ m/s}^2)$$

$$F_{\text{mín}} = 60\,959,96712 \text{ N}$$

$$F_{\text{mín}} = 60,96 \text{ kN}$$

Por lo tanto, la fuerza de empuje mínima (F'_{mín}), validada en la tabla 10 será de:

$$F'_{\text{mín}} = 13\,699,665 \text{ lb} / 17,5$$

$$F'_{\text{mín}} = 782,838 \text{ lb}$$

Remplazando en la ecuación [4], se calcula la fuerza de empuje máxima (F_{máx}):

$$F_{máx} = 2 * 13\,699,665 \text{ lb}$$

$$F'_{máx} = 27\,399,33 * ((0,4535924 \text{ kg} / 1 \text{ lb}) * 9,81 \text{ m/s}^2)$$

$$F'_{máx} = 121\,919,9342 \text{ N}$$

$$F'_{máx} = 121,92 \text{ kN}$$

Remplazando en la ecuación [5], se calcula la fuerza de empuje límite máxima (F_{lím}):

$$F_{lím} = 810 * 17,5^2$$

$$F_{lím} = 24\,8062,5 \text{ lb} * ((0,4535924 \text{ kg} / 1 \text{ lb}) * 9,81 \text{ m/s}^2)$$

$$F_{lím} = 1\,103\,813,987 \text{ N}$$

$$F_{lím} = 1\,103,81 \text{ kN}$$

D. Velocidad y caudal del aire de barrido

a. Velocidad del fluido

Para realizar el cálculo, se deberán realizar las siguientes consideraciones:

- Dado que el material a perforar va estar compuesto de depósitos aluviales y fluviales, principalmente compuesto de gravas, arenas, limos y arcillas; donde el material que se estima, tendrá más presencia será la grava; de la tabla 4, se determina una densidad de 1,6 gr/cm³, estimando que los diámetros promedios de las partículas de grava son de 5 mm.

Remplazando en la ecuación [6], se calcula:

$$V = 573 * \frac{1,6}{1,6 + 1} * 5^{0,6}$$

$$V = 926,15 \text{ m/min}$$

Evaluando la tabla 11, se puede deducir que los límites para rocas muy blanda estarán entre los 900 – 1500 m/min, en donde el resultado calculado de 926,15 m/min (3 038,55 pies/min) se encuentra entre los rangos.

b. Caudal del fluido

Remplazando en la ecuación [7], se calcula:

$$Q = 224 * 0,4445^{3/2}$$

$$Q = 66,38 \text{ m}^3/\text{min}$$

c. Presión del fluido

La presión del fluido al pasar por el tricono, para una adecuada refrigeración de sus rodamientos, es de 3,5 bar (50 psi) y las pérdidas de carga se consideran de 0,69 bar (10 psi).

E. Fuerza de tracción

En la práctica, se determina que el peso de todo el entubado es mayor que la suma del peso de la tubería de perforación, el peso de la broca y el peso del lodo de perforación dentro de la tubería.

Por lo tanto, la fuerza mínima de tracción para el desarrollo del trabajo que deberá soportar y realizar la maquinaria de perforación será de 101 385,68 N, que es el peso total de las tuberías del pozo proyectado.

Considerando que la máquina de perforación tiene que realizar el entubado, es requisito que el cabezal del mástil pueda abrirse lo suficiente para sujetar las tuberías de diámetro nominal de 300 mm (12 in) y debe tener una longitud de maniobra mayor a 6 m.

4.2.3. Selección de la máquina perforadora

En la tabla 25, se presentan los requisitos mínimos que deberá cumplir la máquina perforadora seleccionada.

Tabla 25

Requisitos técnicos mínimos para la máquina perforadora

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MÍNIMAS	
Fuerza de tracción	101 385,68 N (22 792,41 lbf)
Fuerza de empuje mínima	60 959,97 N (13 699,67 lbf)
Fuerza de empuje máxima	121 919,93 N (27 407,59 lbf)
Diámetro de perforación y entubado	444,5 mm (17 1/2 in)
Velocidad de rotación	105 rpm
Velocidad del fluido	926,15 m/min
Caudal del fluido	66,38 m ³ /min

Fuente: Elaboración propia.

La compañía con mayor presencia en el mercado nacional y especializada en la fabricación, venta y mantenimiento de equipos de perforación, que a la vez ofrece mayores beneficios como bajo costo en repuestos y mantenimiento, son equipos de la compañía Atlas Copco, por lo tanto, la máquina seleccionada es de

esta marca, además se considera que Atlas Copco ofrece una línea completa de equipos de perforación hidráulicos para venta o alquiler.

De los equipos que ofrece la compañía Atlas Copco en el mercado nacional, se selecciona el modelo de máquina perforadora T3W en su opción estándar, por sus siguientes características: está diseñado para perforar pozos anchos y profundos, con un suministro de aire incorporado de 1 070 cfm / 350 psi, una apertura de mesa de 508 mm (20 in), una fuerza de empuje de 11 340 kg (111 245,40 N) (25 000 lb) y una fuerza de tracción de 18 144 kg (177 992,64 N) (40 000 lb). El modelo T3W tiene una completa configuración estándar, incluyendo un espacio de maniobra de 11,4 m (37 ft y 5 in), que es suficientemente largo para introducir una tubería de 6 096 mm (20 ft), con un martillo en fondo para realizar la perforación y la entubación simultáneamente (*casing hammer*).

Además, tiene un motor independiente para el camión y otro motor en la cubierta para accionar la perforadora, que permite una mayor transferencia de potencia a la llave de sujeción de manos libres, y la llave superior activada con el pedal, favorecen la seguridad del equipo. Tiene un sistema de manejo de tubos adaptativo, que incluye un carrusel y un cargador de tubos, así como cabrestante y gancho de elevación. Tanto el avance rápido como el cabrestante, se pueden accionar simultáneamente para acelerar el proceso de perforación. La extracción se

puede hacer con el cabrestante o con la cabeza de rotación. El modelo T3W utiliza una torre de 10,6 m (35 ft) con un espacio de maniobra de 11,4 m (37 ft y 5 in). Compatible con tipos de perforación con martillo en fondo usando aire o lodo, perforación y entubación simultáneas (*casing hammer*), tubería de doble pared, perforación y entubación simultáneas con martillo en fondo, o entubación desde arriba con martillo en cabeza.



Figura 26. Perforadora de pozos de agua T3W

Fuente: <http://www.atlascopco.com.pe/pees/products/-t3wdh-perforadora-de-pozos-de-agua/product/1511720/>

Las especificaciones técnicas básicas, se detallan en la tabla 26 y las completas se pueden visualizar en el anexo 25.

Tabla 26*Especificaciones técnicas básicas de la máquina perforadora T3W*

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Fuerza de tracción	18 144 kg / 40 000 lb
Fuerza de empuje	11 340 kg / 25 000 lb
Diámetro de perforación y entubado	17 1/2 in
Diámetro exterior de la sarta de perforación	3 1/2 in – 4 1/2 in
Diámetro máximo de entubado	20 in
Velocidad de rotación en el cabezal	8 000 ft.-lbs. @ 105 RPM 5 500 ft.-lbs. @ 145 RPM
Portador estándar	Caterpillar C13 Diesel Engine 380 hp @ 2100 RPM 21 ft. 2 in. Wheelbase 68 000 lbs. GVWR
Paquete de energía	Option 1 – 900 CFM @ 350 psi Caterpillar C15 diesel engine, 475 hp @ 1800 RPM

Fuente: Atlas Copco, 2012.

4.2.4. Selección de la herramienta de perforación

Considerando que el tipo de terreno es de formación blanda y el diámetro de perforación es mayor a 381 mm, se podrá utilizar triconos de dientes o insertos.

Al igual que la maquinaria de perforación, el fabricante con mayor presencia en el mercado nacional es la compañía Atlas Copco, por lo que se selecciona el tricono que la compañía ofrece para diámetro de 444,5 mm (17 1/2 in) H2R para aplicación de pozos de agua, el cual tiene el código IADC de 3-2-1 y para el pozo piloto de 158,75 mm (6 1/4 in) H1R para aplicación de pozos de agua el cual tiene el código IADC de 3-1-1.

Del anexo 7 para el código IADC se determina: el tricono 444,5 mm (17 1/2 in) H2R de código IADC de 3-2-1, es para formación semiduras abrasivas blandas y su diseño es de un tricono estándar de rodamientos cilíndricos abiertos, y según la tabla del catálogo de productos de Atlas Copco mostrada en el anexo 26, para el código 91001081 del tricono, sugiere que las potencias de operación sean de 60 a 80 rpm, 31 751 a 55 565 kg (70 000 a 122 500 lb), para rosca con diámetro de 168,275 mm (6 5/8 in) tipo API REG. Y para el tricono 158,75 mm (6 1/4 in) H1R de código IADC de 3-1-1, es para formación semiduras abrasivas muy blandas y su diseño es de un tricono estándar de rodamientos cilíndricos abiertos, y según

la tabla del catálogo de productos de Atlas Copco mostrada en el anexo 26, para el código 91000553 del tricono, sugiere que las potencias de operación sean de 60 a 80 rpm, 11 339 a 19 844 kg (25 000 a 43 750 lb), para rosca con diámetro de 88,9 mm (3 1/2 in) tipo API REG.

4.2.5. Selección de la sarta de perforación

Los equipos para perforación de pozos de agua, llevan incluido el estabilizador en el cabezal móvil, por lo que la composición básica de la sarta de perforación, será solo con el uso de las barras de perforación. En la tabla 26, se detalla que el diámetro exterior de la sarta de perforación para el modelo de la máquina de perforación T3W será de 88,9 a 114,3 mm (3 1/2 a 4 1/2 in). Se selecciona barras con diámetro exterior de 114,3 mm (4 1/2 in) y 6,10 metros de longitud, con código de producto 58160912, debido a que su tipo conexión es con rosca con diámetro de 88,9 mm (3 1/2 in) tipo API REG (ver anexo 27), lo que resulta conveniente para el tricono de 158,75 mm (6 1/4 in) H1R. Y para el tricono de 444,5 mm (17 1/2 in) H2R se utilizará un adaptador estabilizador superior de rosca interna hembra con diámetro de 168,28 mm (6 5/8 in) tipo API REG y rosca externa macho con diámetro de 88,9 mm (3 1/2 in) tipo API REG.

CAPÍTULO V

DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA ELECTROMECAÁNICO DE

BOMBEO

5.1. DISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO

5.1.1. Ensayo de bombeo para el pozo profundo

Considerando que el ensayo de bombeo permite ratificar los parámetros hidráulicos del acuífero (permeabilidad, transmisividad, coeficiente de almacenamiento) en la práctica, se tiene que realizar cuando concluya la construcción del pozo profundo, se describe en el apartado número 2.2.10.

5.1.2. Selección del tipo de bomba

A. Para el pozo profundo

Se estima que para el pozo proyectado PEEPS-02 y también aplicable para los demás pozos proyectados, la profundidad de explotación del agua subterránea está ubicada a más de 80 m de profundidad, por lo tanto, según lo explicado en el

marco teórico, se determina que el equipo de bombeo más eficiente para la instalación en los pozos proyectados, es del tipo bomba sumergible.

B. Para la cisterna

Según criterio de diseño de la cisterna de bombeo, se determina utilizar una cisterna de bombeo con almacenamiento, debido a que el pozo proyectado PEEPS-03, rotará suministrando su caudal de 30 L/s al reservorio R-3 y a la cisterna de bombeo en mención.

En la práctica, para el bombeo de cisternas, se utiliza bombas del tipo centrífuga horizontales, debido a que la altura de succión, no excede los 7 m, que es la altura crítica para estos equipos, se selecciona este tipo de bombas para el pozo proyectado PEEPS-02 y también aplicable para los demás pozos proyectados.

5.1.3. Selección de la cantidad de bombas

A. Para el pozo profundo

Se instala solo una bomba sumergible por pozo, la cual puede trabajar de manera continua por 24 horas para el pozo proyectado PEEPS-02 y también

aplicable para los demás pozos proyectados, también se puede considerar tener una bomba de remplazo para todos los conjuntos de pozos.

B. Para la cisterna

Para la utilización de bombas centrífugas, se recomiendan que estas no trabajen por 24 horas, y la cisterna se va a alimentar de una segunda vertiente en hora punta proveniente del PEEPS-03 para duplicar el caudal de bombeo, por lo tanto, se tienen que utilizar dos bombas centrífugas, las cuales se tienen que rotar en funcionamiento, lo mencionado se aplica para el diseño del pozo proyectado PEEPS-02 y también aplicable para los demás pozos proyectados.

5.1.4. Caudal de bombeo

A. Para el pozo profundo

En el estudio hidrogeológico realizado en la zona, para la perforación de futuros pozos profundos para uso poblacional. Hydrogeological y Geotechnical Services PERÚ S.A. (2012) afirma: “El caudal de explotación máximo diario será de 30 L/s para cada uno de los pozos proyectados PEEPS-01, PEEPS-02, PEEPS-03 y PEEPS-05 ubicados en las zonas favorables” (pp.120-121). Caudal que no

afecta el equilibrio natural del acuífero y aumenta la vida útil de las estaciones de bombeo.

B. Para la cisterna

El caudal de bombeo diario de la cisterna es variable, condicionado por los requerimientos de consumo poblacional de la zona. Para desarrollo del cálculo, el caudal de bombeo diario será de 30 L/s y en horas de mayor consumo, se duplicará el caudal utilizando la bomba de reserva, esto aplica a la cisterna del pozo proyectado PEEPS-02 y también es aplicable para los demás pozos proyectados.

5.1.5. Diseño de las tuberías

A. Para el pozo profundo

a. Selección del material

Se selecciona el acero que cumple con la norma ASTM A-53, con recubrimiento epóxico interior y exterior, por consideración de sus propiedades mecánicas.

b. Cálculo del diámetro nominal y espesor

Para la tubería de impulsión, reemplazando los datos en la ecuación [15] y considerando una velocidad máxima de 2,5 m/s para un caudal de 30 L/s, se obtiene un diámetro interior de:

$$d = 1,1284 \sqrt{0,03/2,5}$$

$$d = 123,6 \text{ mm}$$

Del anexo 19, el diámetro interior próximo es de 128,2 mm, que corresponde a una tubería de diámetro nominal de 125 mm (5 in), con diámetro exterior de 141,3 mm y espesor de 6,55 mm para el ANSI Cédula 40.

Sin embargo, para la parte superior donde tienen que instalarse accesorios, se selecciona el diámetro nominal próximo de 150 mm (6 in), esto se realiza, por considerar la compra de los accesorios en el mercado local; del anexo 19, el diámetro interior es de 154,1 mm, diámetro exterior de 168,3 mm y espesor de 7,11 mm para el ANSI Cédula 40.

Las tuberías serán fabricadas con acople tipo rosca NPT, las cuales se unirán por medio de uniones simples, hasta llegar a un codo de descarga de 90 grados, al

cual esta soldado a una base circular de acero A-53 de diámetro de 406,4 mm (16 in) y espesor de 25,4 mm (1 in), y se debe soldar dos orejas de izaje en los laterales de la base; el acople del ingreso del codo de descarga, debe ser por unión con rosca NPT para tubería de diámetro nominal de 125 mm, la salida del tubo de descarga, se fabrica con ampliación concéntrica y para acoplar con unión tipo brida, según norma ISO 7005-1 para tubería de diámetro nominal de 150 mm, según lo mostrado en la siguiente imagen:



Figura 27. Codo de descarga y árbol de descarga

Fuente: Manual de montaje y desmontaje de equipos de bombeo para el aprovechamiento de aguas subterráneas, Ministerio de agricultura, 2009

B. Para la cisterna

a. Selección del material

Se selecciona el acero que cumple con la norma ASTM A-53, con recubrimiento epóxico interior y exterior, por consideración de sus propiedades mecánicas.

b. Cálculo del diámetro nominal y espesor

Para la tubería de succión, reemplazando los datos en la ecuación [15] considerando una velocidad máxima de 1,8 m/s para un caudal de 30 L/s, se obtiene un diámetro interior de:

$$d = 1,1284 \sqrt{0,03/1,8}$$

$$d = 145,7 \text{ mm}$$

Del anexo 19, el diámetro interior próximo es de 154,1 mm, que corresponde a una tubería de diámetro nominal de 150 mm (6 in), diámetro exterior de 168,3 mm y espesor de 7,11 mm para el ANSI Cédula 40.

Para la tubería de impulsión, reemplazando los datos en la ecuación [15] considerando una velocidad máxima de 2,5 m/s para un caudal de 30 L/s, se obtiene un diámetro interior de:

$$d = 1,1284 \sqrt{0,03 / 2,5}$$

$$d = 123,6 \text{ mm}$$

Del anexo 19, el diámetro interior próximo es de 128,2 mm, que corresponde a una tubería de diámetro nominal de 125 mm (5 in), diámetro exterior de 141,3 mm y espesor de 6,55 mm para el ANSI Cédula 40.

Sin embargo, considerando que debe instalarse accesorios, se selecciona el diámetro nominal próximo de 150 mm (6 in), esto se realiza, por considerar la compra de los accesorios en el mercado local; del anexo 19, el diámetro interior es de 154,1 mm, diámetro exterior de 168,3 mm y espesor de 7,11 mm para el ANSI Cédula 40.

Considerando en la tubería de impulsión, cuando las dos bombas trabajen juntas para duplicar el caudal, reemplazando los datos en la en la ecuación [15], considerando una velocidad máxima de 2,5 m/s, para un caudal de 60 L/s, se obtiene un diámetro interior de:

$$d = 1,1284 \sqrt{0,06/2,5}$$

$$d = 174,8 \text{ mm}$$

Del anexo 19, el diámetro interior próximo es de 202,7 mm, que corresponde a una tubería de diámetro nominal de 200 mm (8 in), con diámetro exterior de 219,1 mm y espesor de 8,18 mm para el ANSI Cédula 40.

5.1.6. Selección de los accesorios necesarios

A. Para el pozo profundo

Debe contar con los siguientes accesorios:

- 1 Válvula de verificación – tipo bola (o válvula de retención vertical con resorte) (DN 125 mm).
- 1 Codo estándar a 90° (DN 125 mm) (codo de descarga de solicitud para fabricación).
- 1 Ampliación concéntrica (DN 125 mm – 150 mm).
- 1 Válvula de verificación – tipo giratoria (DN 150 mm).
- 1 Caudalímetro (DN 150 mm).
- 3 Codos estándares a 90° (DN 150 mm).

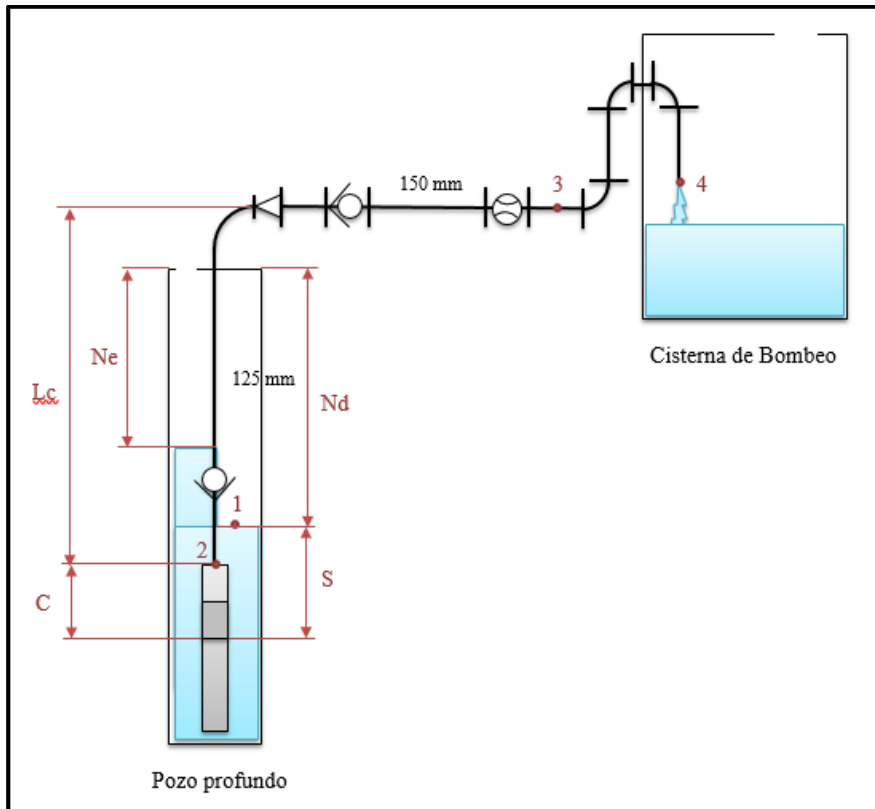


Figura 28. Esquema de instalación del sistema de bombeo para el pozo profundo

Fuente: Elaboración propia

Donde:

- L_c = Longitud de la columna de bombeo, m
- N_e = Nivel estático, m
- N_d = Nivel dinámico, m
- S = Sumergencia, m
- C = Longitud mínima a la toma de agua de la bomba, m

B. Para la cisterna

- 2 Válvulas de pie – tipo disco de vástago (DN 150 mm).
- 4 Codos estándares a 90° (DN 150 mm).
- 4 Válvulas de compuerta (DN 150 mm).
- 2 Contracciones excéntricas (DN 150 mm – 100 mm).
- 2 Uniones flexibles (DN 100 mm).
- 2 Ampliaciones concéntricas (DN 65 mm – 150 mm).
- 2 Válvulas de verificación – tipo giratoria (DN 150 mm).
- 2 Yees estándares reductoras (DN 150 mm – 200 mm).
- 3 Tee estándar (DN 200 mm, 1 sin reducción, 1 con reducción para DN 150 mm y 1 con reducción para DN 50 mm).
- 1 Manómetro (DN 200 mm).
- 1 Caudalímetro (DN 200 mm).
- 1 Válvula de compuerta (DN 200 mm).
- 4 Codos estándares a 45° (DN 200 mm).
- 2 Codos estándares a 90° (DN 200 mm).
- 1 Válvula de compuerta (DN 50 mm).
- 1 Válvula automática de aire (DN 50 mm).
- 1 Válvulas de verificación – tipo giratoria (DN 200 mm).
- 1 Contracción concéntrica (DN 200 mm – 150 mm).

- 1 Válvula de mariposa (DN 150 mm).
- 1 Válvula de control diferencial de presión (DN 150 mm).
- 1 Codo estándar a 90° (DN 150 mm).

Línea de recirculación:

- 1 Válvulas de compuerta (DN 150 mm).
- 5 Codos estándares a 90° (DN 150 mm).

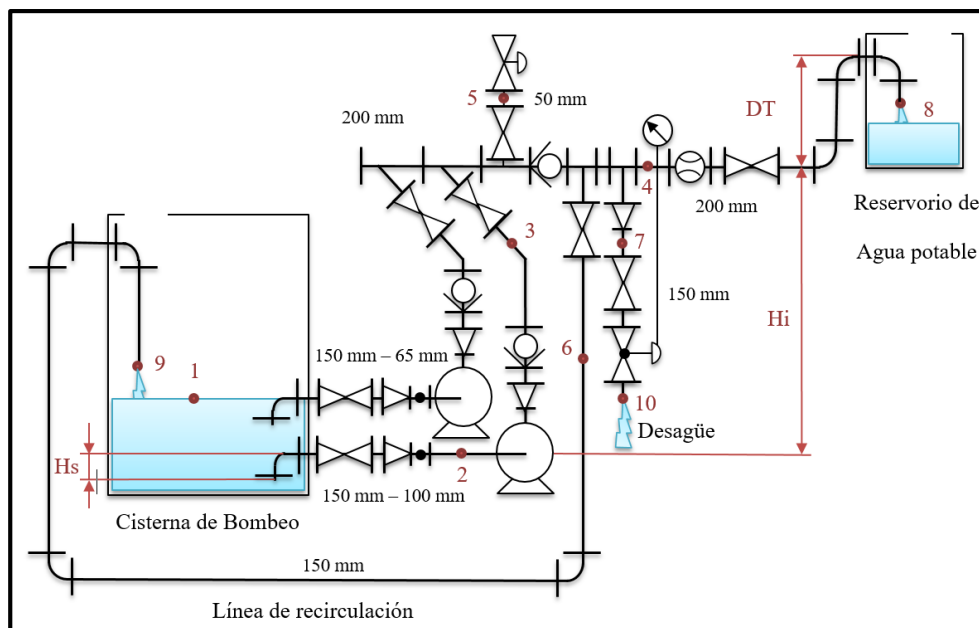


Figura 29. Esquema de instalación del sistema de bombeo para la cisterna

Fuente: Elaboración propia

Donde:

- H_s = Altura de succión, m

- Hi = Altura de impulsión, m
- DT = Desnivel topográfico, m

5.1.7. Selección del equipo de bombeo

A. Profundidades de instalación

a. Para el pozo profundo

En el manual del usuario de instalación y mantenimiento de bombas sumergibles, Hidrostral (2012) afirma: “El nivel dinámico debe estar siempre por encima de la bomba (recomendamos: mínimo 3 m)” (p.14). En la tabla 27, se presenta los niveles dinámicos de todos los pozos propuestos.

Tabla 27

Nivel dinámico estimado de los pozos propuestos en el estudio hidrogeológico

NIVEL DINÁMICO (m)			
PEEPS-01	PEEPS-02	PEEPS-03	PEEPS-05
97	102	102	114

Fuente: Estudio hidrogeológico para la perforación de 04 pozos con fines de uso poblacional, HGSPERU S.A., 2012

En la tabla 28, se presenta las profundidades de instalación del equipo de bombeo en el pozo, eligiendo sumergir el equipo a 6 m de profundidad del nivel dinámico, considerando que el nivel dinámico disminuye a través del tiempo de operación de la estación de bombeo, y considerando la longitud estándar de la tubería seleccionada.

Tabla 28

Profundidad de instalación de la bomba sumergible

PROFUNDIDAD DE INSTALACIÓN (m)			
PEEPS-01	PEEPS-02	PEEPS-03	PEEPS-05
103	108	108	120

Fuente: Elaboración propia.

b. Para la cisterna.-

En la figura 29, se determina que la profundidad está definida por la longitud de la válvula de pie que se debe instalar directo al codo de 90°, considerando que se adquiere accesorios de la marca FUMOSAC perteneciente al mercado local, la altura de los componentes es la siguiente: la válvula de pie tiene una altura de 401 mm y el codo de 90° tiene una altura de 220 mm, por lo tanto, la altura total es de 621 mm.

B. Cálculo de pérdidas de altura y altura de la columna de bombeo en el sistema de instalación

a. Para el pozo profundo

De las ecuaciones [16] y [17], se determina que las pérdidas de altura en el sistema son:

- Entrada normal en el tubo: $h_1 = K * V_2^2/2g$ [41]

- 1 válvula de verificación – tipo bola: $h_2 = fr_2 * Le/D * V_2^2/2g$ [42]

- Fricción en la tubería de 125 mm: $h_3 = f_2 * L_2/D * V_2^2/2g$ [43]

- 1 codo estándar a 90°: $h_4 = fr_2 * Le/D * V_2^2/2g$ [44]

- 1 ampliación concéntrica (DN 125 mm – 150 mm):

$$h_5 = K * V_2^2/2g$$
 [45]

- Fricción en la tubería de 150 mm: $h_6 = f_3 * L_3/D * V_3^2/2g$ [46]

- 1 válvula de verificación – tipo giratoria:

$$h_7 = fr_3 * Le/D * V_3^2/2g$$
 [47]

- 1 caudalímetro: $h_8 = fr_3 * Le/D * V_3^2/2g$ [48]

- 3 codos estándares a 90°: $h_9 = fr_3 * Le/D * V_3^2/2g$ [49]

- Salida del tubo a la cisterna: $h_{10} = K * V_3^2/2g$ [50]

Considerando que el caudal en la línea de succión por cada equipo será de 30 L/s que equivale a 0,03 m³/s, para cada uno de los puntos indicados en el esquema de la figura 28, del anexo 19, el diámetro interno de la tubería de acero de diámetro nominal de 125 mm de cédula 40, es de 0,1282 m y de la tubería de diámetro nominal de 150 mm de cédula 40, es de 0,1541 m. Remplazando en la ecuación [14], se obtiene:

$$V_2 = 4 \times 0,03 / 3,1415 \times (0,1282)^2 = 2,3242 \text{ m/s}$$

$$V_3 = 4 \times 0,03 / 3,1415 \times (0,1541)^2 = 1,6086 \text{ m/s}$$

Para remplazar en las ecuaciones de pérdidas, se requiere determinar la expresión $V^2/2g$, considerando la aceleración de la gravedad como 9,81 m/s², resulta:

$$V_2^2/2g = (2,3242)^2 / 2 \times (9,81) = 0,2753 \text{ m}$$

$$V_3^2/2g = (1,6086)^2 / 2 \times (9,81) = 0,1319 \text{ m}$$

Para determinar el factor de fricción se requiere efectuar los cálculos en la ecuación [18] y [19], se requiere determinar los siguientes datos:

- Del anexo 12, para el agua a 20 °C, se determina una densidad de 998 kg/m³

- Del anexo 12, para el agua a 20 °C, se determina una viscosidad dinámica de $1,02 \times 10^{-3}$ Pa.s.
- Del anexo 13, para el acero comercial o soldado, se determina una rugosidad de $4,6 \times 10^{-5}$ m.

Remplazando los datos en la ecuación [18], para determinar el número de Reynolds, se obtiene:

$$N_{R2} = (2,3242 \times 0,1282 \times 998) / 1,02 \times 10^{-3} = 291\,532,20$$

$$N_{R3} = (1,6086 \times 0,1541 \times 998) / 1,02 \times 10^{-3} = 242\,533,60$$

Remplazando los datos en la ecuación [19], para determinar la rugosidad relativa, se obtiene:

$$D_2/\varepsilon = (0,1282) / (4,6 \times 10^{-5}) = 2\,786,96$$

$$D_3/\varepsilon = (0,1541) / (4,6 \times 10^{-5}) = 3\,350,00$$

Del diagrama de Moody mostrado en el anexo 11, se determina un factor de fricción de:

$$f_2 = 0,0177$$

$$f_3 = 0,0175$$

Del anexo 8, se determina el factor de fricción para el acero comercial para diámetro nominal 125 mm (5 in) y 150 mm (6 in):

$$f_{r2} = 0,016$$

$$f_{r3} = 0,015$$

Si la longitud de la columna de bombeo de la tubería de diámetro nominal de 125 mm (5 in), va estar dado por la profundidad de instalación, además de considerar el espesor del piso de la caseta de 0,1 m, la elevación de la tubería horizontal de 0,4 m y la elevación de la tubería para la entrada de la cisterna de 1,6 m, resulta una altura total de la columna de bombeo de 110,1 m, para el pozo proyectado PEEPS-02.

Remplazando los datos obtenidos y los datos del anexo 9 en las ecuaciones [41] a la [50]. Y considerando para la ecuación [43] la altura total de la columna de bombeo; para la ecuación [45], del anexo 10, para un coeficiente de resistencia $D2/D1 = 150/125 = 1,2$ para un ángulo de cono de 60° se determina K igual a 0,38; y para la ecuación [46] considerando una longitud de la tubería horizontal de 3 m, la longitud de tubería vertiente de 1,6 m y una longitud de 0,5 m de espesor de la pared, resulta una longitud total de 6,7 m; remplazando los datos se obtiene:

$$h_1 = 0,1377 \text{ m}$$

$$h_2 = 0,6608 \text{ m}$$

$$h_3 = 4,1243 \text{ m}$$

$$h_4 = 0,1322 \text{ m}$$

$$h_5 = 0,1046 \text{ m}$$

$$h_6 = 0,1003 \text{ m}$$

$$h_7 = 0,1978 \text{ m}$$

$$h_8 = 0,0890 \text{ m}$$

$$h_9 = 0,1780 \text{ m}$$

$$h_{10} = 0,1319 \text{ m}$$

Realizando la sumatoria de la altura de la columna de bombeo, de todas las pérdidas de altura del sistema, y una altura de 5 metros por abatimientos futuros³², resulta una altura de bombeo de 120,96 m para el pozo proyectado PEEPS-02.

b. Para la cisterna

De las ecuaciones [16] y [17], se determina que las pérdidas en el sistema son:

³² Bombas Alemanas S.A. (2016). *Bombas sumergibles*. Recuperado de <http://bamsa.com.mx/wp-content/uploads/2014/10/Carpeta-Tecnica-BAMSA.pdf>

- 2 válvulas de pie – tipo vástago: $h_1 = fr_2 * Le/D * V_2^2/2g$ [51]
- 4 codos estándares a 90°: $h_2 = fr_2 * Le/D * V_2^2/2g$ [52]
- Fricción en la tubería de succión de 150 mm:
 $h_3 = f_2 * L_2/D * V_2^2/2g$ [53]
- 4 válvulas de compuerta – abierta por completo:
 $h_4 = fr_2 * Le/D * V_2^2/2g$ [54]
- 2 contracciones excéntricas (DN 150 mm – 100 mm):
 $h_5 = K * V_2^2/2g$ [55]
- 2 uniones flexibles: $h_6 = K * V_2^2/2g$ [56]
- 2 ampliaciones concéntricas (DN 65 mm – 150 mm):
 $h_7 = K * V_3^2/2g$ [57]
- 2 válvula de verificación – tipo giratoria:
 $h_8 = fr_3 * Le/D * V_3^2/2g$ [58]
- Fricción en la tubería de impulsión de 150 mm:
 $h_9 = f_3 * L_3/D * V_3^2/2g$ [59]
- 2 yee estándar - con flujo en el ramal: $h_{10} = fr_3 * Le/D * V_3^2/2g$ [60]
- Fricción en la tubería de 200 mm: $h_{11} = f_4 * L_4/D * V_4^2/2g$ [61]
- 3 tee estándar - con flujo directo: $h_{12} = fr_4 * Le/D * V_4^2/2g$ [62]
- 1 válvula de verificación – tipo giratoria:
 $h_{13} = fr_4 * Le/D * V_4^2/2g$ [63]
- 1 manómetro: $h_{14} = fr_4 * Le/D * V_4^2/2g$ [64]

- 1 caudalímetro: $h_{15} = fr_4 * Le/D * V_4^2/2g$ [65]
- 1 válvula de compuerta – abierta por completo:
 - $h_{16} = fr_4 * Le/D * V_4^2/2g$ [66]
- 4 codos estándares a 45°: $h_{17} = fr_4 * Le/D * V_4^2/2g$ [67]
- 2 codos estándares a 90°: $h_{18} = fr_4 * Le/D * V_4^2/2g$ [68]
- Salida en el tubo al reservorio: $h_{19} = K * V_4^2/2g$ [69]
- 1 válvula de compuerta – abierta por completo:
 - $h_{20} = fr_5 * Le/D * V_5^2/2g$ [70]
- 1 válvulas automática de aire: $h_{21} = fr_5 * Le/D * V_5^2/2g$ [71]
- 1 contracción concéntrica (DN 200 mm – 150 mm):
 - $h_{22} = K * V_7^2/2g$ [72]
- 1 válvula de mariposa – abierta por completo:
 - $h_{23} = fr_7 * Le/D * V_7^2/2g$ [73]
- Fricción en la tubería de desfogue de 150 mm:
 - $h_{24} = f_7 * L_7/D * V_7^2/2g$ [74]
- 1 válvula de control diferencial de presión:
 - $h_{25} = fr_7 * Le/D * V_7^2/2g$ [75]
- 1 codo estándar a 90°: $h_{26} = fr_7 * Le/D * V_7^2/2g$ [76]
- Salida en el tubo de desfogue: $h_{27} = K * V_7^2/2g$ [77]
- 1 válvulas de compuerta – abierta por completo:
 - $h_{28} = fr_6 * Le/D * V_6^2/2g$ [78]

- 5 codos estándares a 90°: $h_{29} = fr_6 * Le/D * V_6^2/2g$ [79]

- Fricción en la tubería de recirculación de 150 mm:

$$h_{30} = f_6 * L_6/D * V_6^2/2g$$
 [80]

- Salida en el tubo a la cisterna: $h_{31} = K * V_6^2/2g$ [81]

Considerando, que el caudal en la línea de succión por cada equipo será de 30 L/s que equivale a 0,03 m³/s y el total en la línea de succión será de 60 L/s que equivale a 0,06 m³/s, para cada uno de los puntos indicados, en el esquema del anexo 19, el diámetro interno de la tubería de acero de diámetro nominal de 150 mm de cédula 40 es de 0,1541 m, la tubería de diámetro nominal de 125 mm de cédula 40 es de 0,1282 m, la tubería de diámetro nominal de 200 mm de cédula 40 es de 0,2027 m y de la tubería de diámetro nominal de 50 mm de cédula 40 es de 0,0525 m. Remplazando en la ecuación [14], se obtiene:

$$V_2 = 4 \times 0,03 / 3,1415 \times (0,1541)^2 = 1,6086 \text{ m/s}$$

$$V_3 = V_2$$

$$V_4 = 4 \times 0,06 / 3,1415 \times (0,2027)^2 = 1,8594 \text{ m/s}$$

$$V_5 = 4 \times 0,03 / 3,1415 \times (0,0525)^2 = 13,8588 \text{ m/s}$$

$$V_6 = V_2$$

$$V_7 = V_2$$

Para remplazar en las ecuaciones de pérdidas, se determina la expresión $V^2/2g$, resulta:

$$V_2^2/2g = 0,1319 \text{ m}$$

$$V_3^2/2g = V_2^2/2g$$

$$V_4^2/2g = 0,1762 \text{ m}$$

$$V_5^2/2g = 9,7893 \text{ m}$$

$$V_6^2/2g = V_2^2/2g$$

$$V_7^2/2g = V_2^2/2g$$

Para determinar el factor de fricción, se requiere efectuar los cálculos en la ecuación [18] y [19], se determina los siguientes datos:

- Del anexo 12, para el agua a 20 °C, se determina una densidad de 998 kg/m³.
- Del anexo 12, para el agua a 20 °C, se determina una viscosidad dinámica de 1,02 x 10⁻³ Pa.s.
- Del anexo 13, para el acero comercial o soldado, se determina una rugosidad de 4,6 x 10⁻⁵m.

Remplazando los datos en la ecuación [18] y [19], se determina:

$$N_{R2} = 242\,533,60$$

$$N_{R3} = N_{R2}$$

$$N_{R4} = 368\,765,94$$

$$N_{R5} = 711\,893,86$$

$$N_{R6} = N_{R2}$$

$$N_{R7} = N_{R2}$$

$$D_2/\varepsilon = 3\,350,00$$

$$D_3/\varepsilon = D_2/\varepsilon$$

$$D_4/\varepsilon = 4\,406,52$$

$$D_5/\varepsilon = 1\,141,30$$

$$D_6/\varepsilon = D_2/\varepsilon$$

$$D_7/\varepsilon = D_2/\varepsilon$$

Del diagrama de Moody del anexo 11, se determina un factor de fricción de:

$$f_2 = 0,0175$$

$$f_3 = f_2$$

$$f_4 = 0,0167$$

$$f_5 = 0,0198$$

$$f_6 = f_2$$

$$f_7 = f_2$$

Del anexo 8, se determina el factor de fricción para el acero comercial:

$$f_{r2} = 0,015$$

$$f_{r3} = f_{r2}$$

$$f_{r4} = 0,014$$

$$f_{r5} = 0,019$$

$$f_{r6} = f_{r2}$$

$$f_{r7} = f_{r2}$$

Considerando para la ecuación [53], una longitud horizontal de la tubería de succión de 0,5 m; para la ecuación [55], del anexo 10, para un coeficiente de resistencia $D1/D2 = 150/100 = 1,5$ y para un ángulo de cono de $15^\circ - 40^\circ$, se determina K igual a 0,05; para la ecuación [57], del anexo 10, para un coeficiente de resistencia $D2/D1 = 150/65 = 2,31$ y para un ángulo de cono de 60° , se determina K igual a 0,69; considerando para la ecuación [59], una longitud horizontal de la tubería de impulsión de 2,5 m.

Para determina la ecuación [61] se tiene que considerar la longitud de la tubería de diámetro nominal de 200 mm, de la estación de bombeo hacia el reservorio al cual se bombeará el agua; en el estudio hidrogeológico se determina el esquema mostrado en la figura 30.

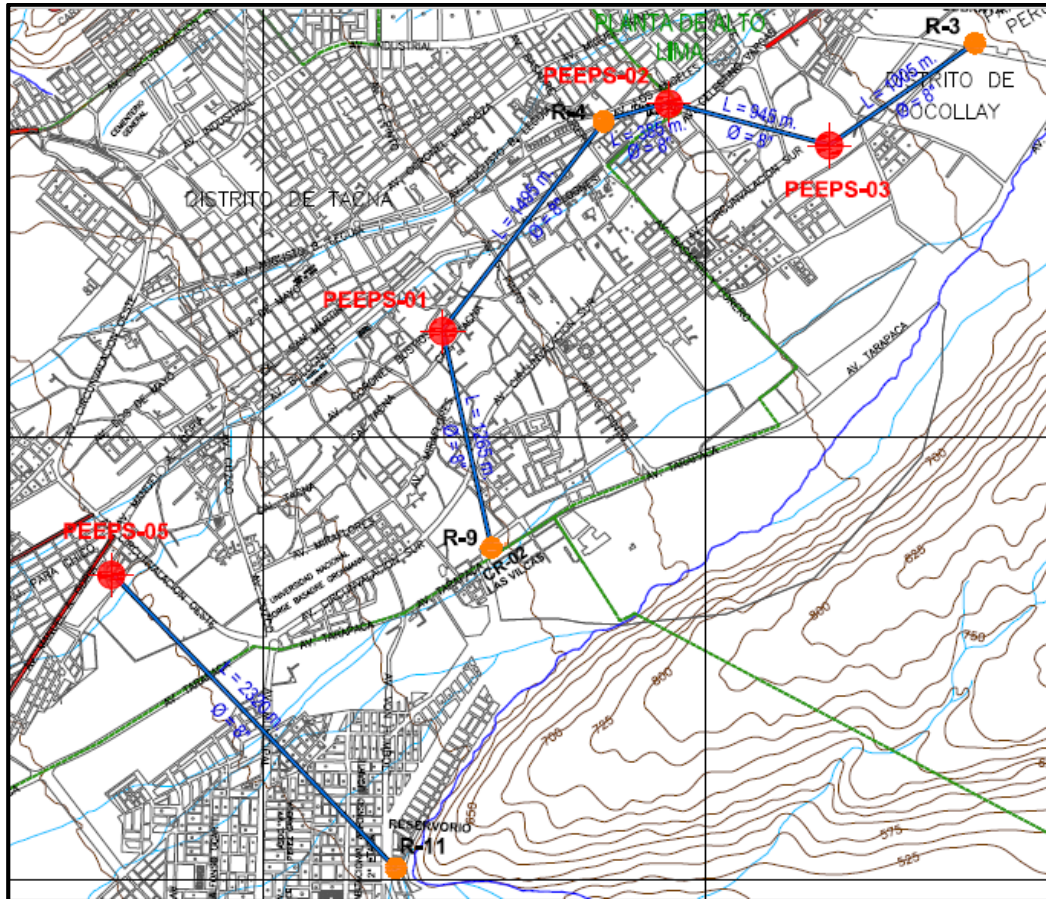


Figura 30. Esquema de instalación de la tubería al reservorio de agua

Fuente: Estudio hidrogeológico para la perforación de 04 pozos con fines de uso poblacional, HGSPERU S.A., 2012

Del plano propuesto mostrado en la figura 30, para la estación de bombeo proyectada del PEEPS-02 al reservorio R-4 corresponderá una longitud de entubado de 385 m. Además, considerando 17 m de diferencia de altura por el desnivel topográfico y la altura de elevación al reservorio R-4, y considerando un promedio de 5 m de longitud de la tubería de diámetro nominal de 200 mm para el montaje

de accesorios dentro de la estación de bombeo, se obtiene una longitud total de 407 m.

Para la ecuación [72], del anexo 10, para un coeficiente de resistencia $D1/D2 = 200/150 = 1,33$ y para un ángulo de cono de $15^\circ - 40^\circ$ se determina K igual a 0,045; considerando para la ecuación [74,] una longitud de tubería de desfogue horizontal de 2,0 m; considerando para la ecuación [80], una longitud de tubería de recirculación de 8,0 m.

Remplazando los datos obtenidos del anexo 9, y las consideraciones establecidas en las ecuaciones [51] a la [81], resulta una altura total de las pérdidas del sistema de 14,22 m, y considerando que la altura de la columna de impulsión es de 1,2 m, la diferencia de altura por el desnivel topográfico y la altura de elevación al reservorio de 17 m, resulta una altura de bombeo total de 33,04 m para la estación de bombeo del pozo proyectado PEEPS-02.

C. Selección del equipo de bombeo

Se seleccionará productos de la compañía Hidrostral S.A. por ser la de mayor presencia en el mercado local, además de que ofrece mayores beneficios en servicio

y garantía, además de contar con una alta gama de productos especializados en cumplimiento de las normas ISO 14001 - 9001.

a. Para el pozo profundo

Del manual del usuario de instalación operación y funcionamiento de bombas sumergibles de la compañía Hidrostral S.A., para un caudal de 30 L/s y una altura de bombeo de 120,96 m, para el pozo proyectado PEEPS-02. Se procede a evaluar la gráfica de curvas características de bombas sumergibles de la compañía Hidrostral S.A., presentada en la figura 31.

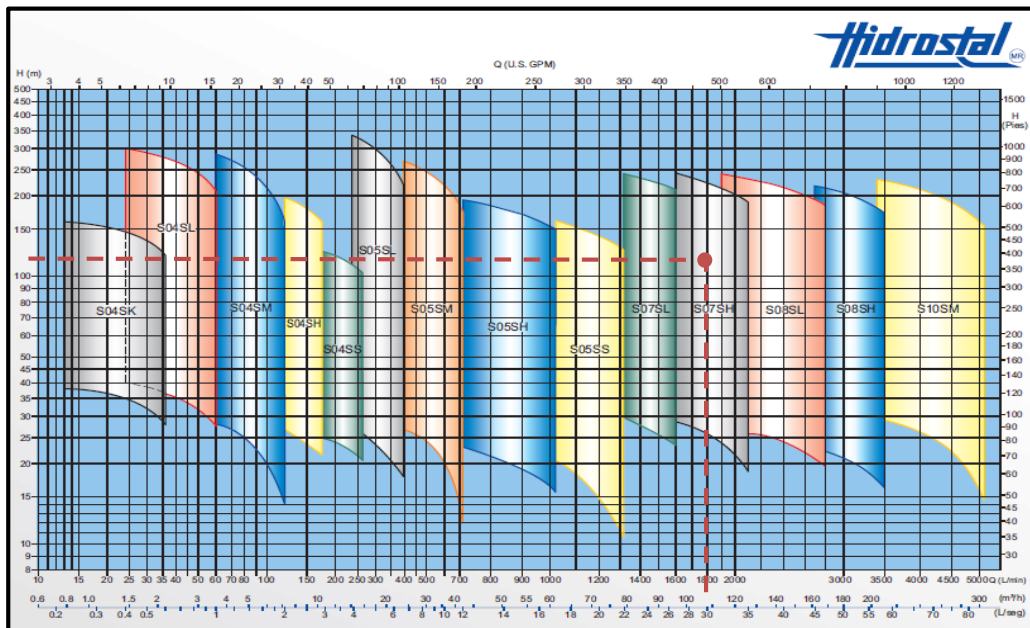


Figura 31. Gráfica de curvas características de bombas sumergibles

Fuente: Hidrostral S.A., 2012

De la gráfica de curvas características presentado en la figura 31, se determina que el modelo de bomba sumergible S07SH, será el equipo que trabaje a mayor eficiencia para el pozo proyectado PEEPS-02. Se procede a evaluar en la gráfica de curvas características del modelo de bomba sumergible S07SH, presentada en la figura 32, para determinar la capacidad y características del equipo.

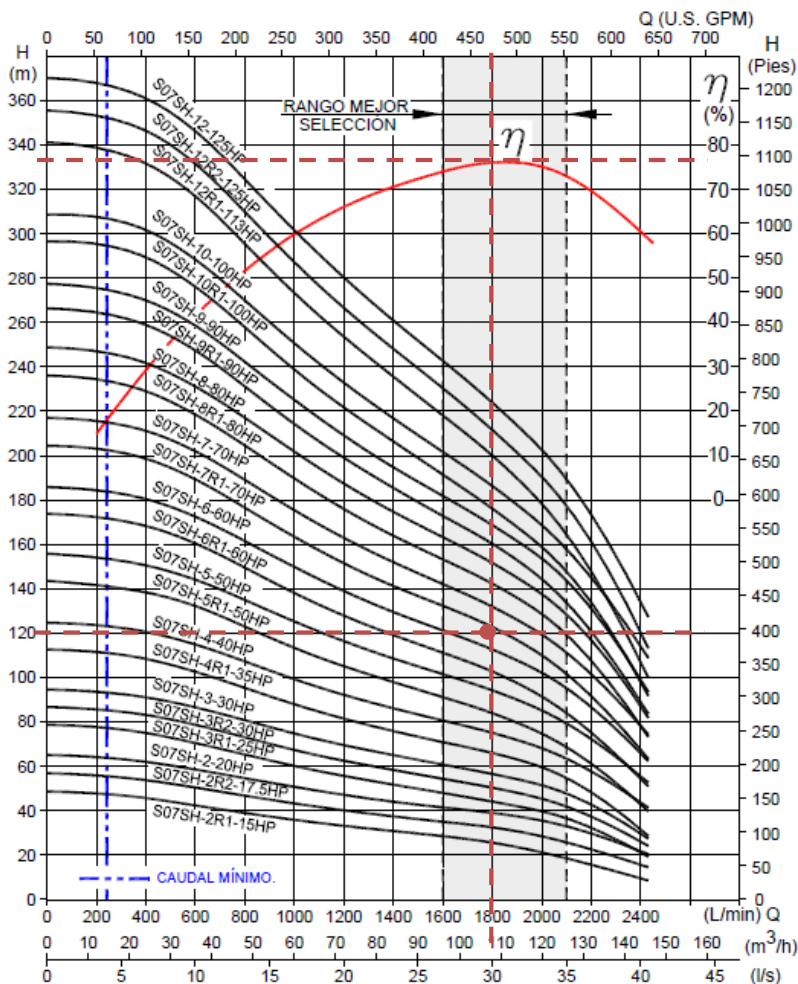


Figura 32. Gráfica de curvas características de la bomba sumergible S07SH

Fuente: Hidrostral S.A., 2012

De la gráfica de curvas características presentado en la figura 32, se determina que la bomba sumergible S07SH-7R1-70HP cumple con los requisitos para el pozo proyectado PEEPS-02 a una eficiencia de 77%. En el anexo 28, se muestra las características del equipo, siendo las principales que es una bomba de 7 etapas e impulsor R1, equipada con un motor eléctrico para corriente alterna, tipo asíncrono trifásico, rebobinable con grado de protección IP68, potencia de 70 hp, velocidades de 3 470 a 3 510 rpm para frecuencia de 60 Hz, pudiendo trabajar a una profundidad máxima de 200 m, deberá funcionar a una temperatura máxima del agua de 25 °C y un caudal mínimo de funcionamiento de 4 L/s, con 25 arranques máximos por hora; además para pozos de diámetro de 304,8 mm (12 in), deberá instalarse el tubo de enfriamiento, y el peso total del equipo es de 226 kg.

b. Para la cisterna

En los cálculos anteriores, se determinó que la bomba debe suministrar un caudal de 30 L/s y altura de bombeo total de 33,04 m.

De la gráfica de curvas características para bombas centrífugas industriales equipadas con motores eléctricos que trabajan a 3 600 rpm, presentado en la figura 33, se determina que el modelo de bomba centrífuga 65-160 es el equipo que trabaje a mayor eficiencia para la cisterna de la estación de bombeo del PEEPS-02.

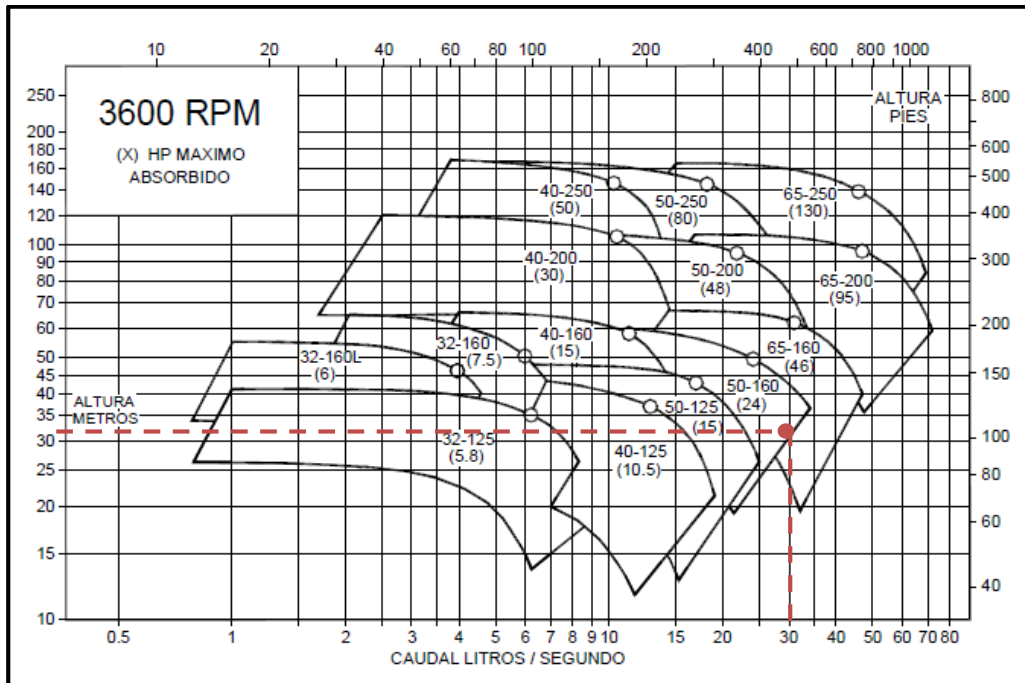


Figura 33. Gráfica de curvas características de bombas centrífugas

Fuente: Hidrostral S.A., 2012

De la gráfica de curvas características presentada en la figura 34, se determina que el modelo de bomba centrífuga 65-160 horizontal modelo de carcasa coples guardex tipo TG con impulsor de diámetro de 150 mm, que deberá equiparse con un motor trifásico mayor a 20 hp, de 3 600 rpm a 60 Hz, que cumple con los requerimientos para la estación de bombeo del pozo proyectado PEEPS-02; en el anexo 29, se presenta sus especificaciones técnicas y dimensiones del equipo de bombeo.

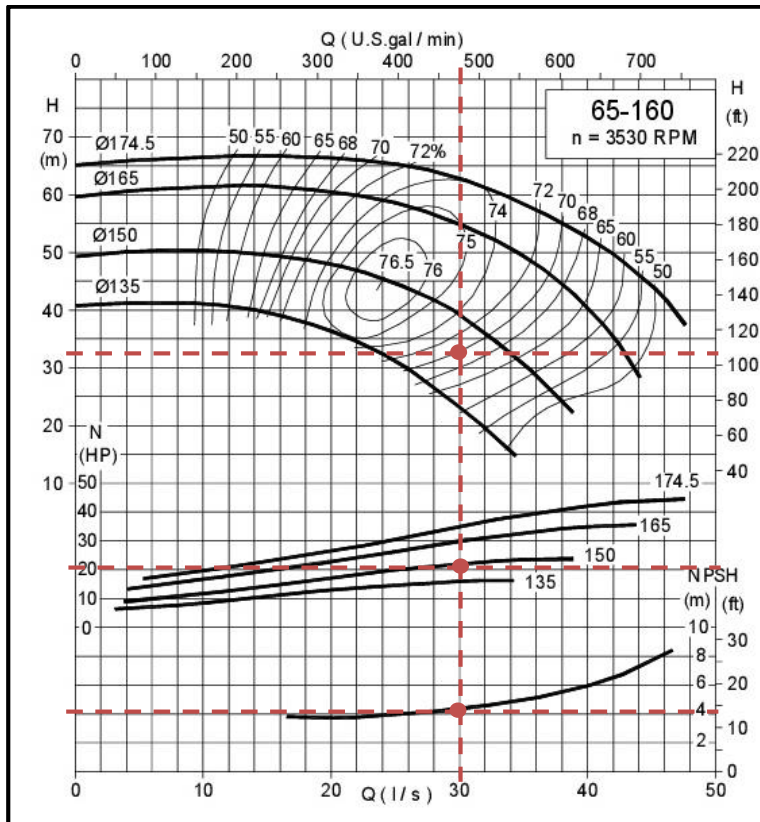


Figura 34. Gráfica de curvas características de la bomba centrífuga 65-160

Fuente: Hidrostral S.A., 2012

- **Selección del motor eléctrico**

Calculando en la ecuación [13], para un caudal de 30 L/s, altura manométrica total de 33,04 m y una eficiencia en el sistema de bombeo del 70 %, resulta una potencia del equipo de bombeo y del motor eléctrico de 18,63 hp.

Sin embargo, en la figura 34, se determina que el motor eléctrico debe tener una potencia mayor a 20 hp.

Por lo tanto, se selecciona un motor eléctrico para corriente alterna, tipo asíncrono trifásico, rebobinable con grado de protección IP55, potencia de 18,5 kW (24,81 hp), marca WEG modelo W22, carcasa de fundición de hierro de alta eficiencia, de 2 polos para que pueda trabajar a velocidad de 3 600 rpm; armado en carcasa 180M, la cual es permitida por la bomba centrífuga modelo 65-160 (ver anexo 30).

- **Verificación de la carga de succión neta positiva**

Considerando que la presión atmosférica promedio en la región de Tacna es de 9,57 metros de columna de agua, y la presión de vapor a 20 °C es de 0,25 metros de columna de agua, las pérdidas de fricción en la tubería de succión son de 2,25 m y la altura de succión es de 0,62 m.

Remplazando los datos en la ecuación [20], se determina que el NPSH disponible es de 6,45 m y de la gráfica de curvas características presentado en la figura 34, se determina que el NPSH requerido es de 4,2 m.

Por lo tanto, de la ecuación [21], se determina que el NPSH disponible es 6,45 y es mayor al NPSH requerido de 4,2, por lo tanto, no habrá cavitación en el sistema.

5.1.8. Cálculo de las presiones nominales para la selección de accesorios

Los accesorios del sistema hidráulico, se seleccionan conforme al diámetro nominal y a la presión nominal de trabajo.

A. Para el pozo profundo

Aplicando el principio de conservación de la energía en el punto inicial de succión hasta el punto de salida del agua, se determina:

$$\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 - h_f = \frac{P_4}{\gamma} + \frac{V_4^2}{2g} + Z_4 \quad [82]$$

Si:

$$\gamma \text{ del agua a } 20^\circ\text{C} = 9,79 \text{ KN/m}^3$$

$$P_4 = 0$$

$$V_4 = V_3$$

$$Z_2 = 0$$

Remplazando los datos en la ecuación [82] y despejando para determinar la presión en el punto 2, resulta:

$$\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + 0 - h_f = \frac{0}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} + Z_4$$
$$P_2 = \gamma * \left(\frac{V_3^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} + Z_4 + h_f \right) \quad [83]$$

Remplazando los datos en la ecuación [83], se obtiene que la presión en el punto 2 es de 1 133,81 kPa que es igual a 11,33 bar, según la norma DIN en el que se basa la fabricación de los accesorios en el mercado local, mostrada en el anexo 14, la presión nominal es PN-16.

Aplicando el principio de conservación de la energía de la ecuación [82], para el punto 2 y 3, y considerando:

$$Z_2 = 0$$

Remplazando en la ecuación [82] y despejando para determinar la presión en el punto 3, resulta:

$$P_3 = \gamma \left(\frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_3^2}{2g} - Z_3 - h_f + \frac{P_2}{\gamma} \right)$$

$$P_3 = P_2 + \gamma \left(\frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_3^2}{2g} - Z_3 - h_f \right) \quad [84]$$

Remplazando en la ecuación [84], se obtiene que la presión en el punto 3 es de 18,7 kPa que es igual a 0,19 bar, según la norma DIN en el que se basa la fabricación de los accesorios en el mercado local, mostrada en el anexo 14, la presión nominal es PN-10.

B. Para la cisterna

Aplicando el principio de conservación de la energía de la ecuación [82], para el punto 4 y 8, y considerando:

$$P_8 = 0$$

$$V_4 = V_8$$

Remplazando en la ecuación [82] y despejando para determinar la presión en el punto 4, resulta:

$$P_4 = \gamma (Z_8 - Z_4 + h_f) \quad [85]$$

Remplazando en la ecuación [85], se obtiene que la presión en el punto 4 es de 230,76 kPa que es igual a 2,31 bar, según la norma DIN en el que se basa la fabricación de los accesorios en el mercado local, mostrada en el anexo 14, la presión nominal es PN-10.

Para los valores determinados, se selecciona como caudalímetro electromagnético, de la marca SIEMENS, modelo de módulo MAG 5000 equipado con brida y sensor el modelo MAG 5100 W. Para el manómetro digital se selecciona de la marca APLISENS, modelo APC-2000ALW el número 6, para 0 a 25 bar.

Aplicando el principio de conservación de la energía de la ecuación [82], para el punto 3 y 4, y considerando:

$$Z_3 = Z_4$$

Remplazando en la ecuación [82] y despejando para determinar la presión en el punto 3, resulta:

$$P_3 = P_4 + \gamma \left(\frac{V_4^2}{2g} - \frac{V_3^2}{2g} + h_f \right) \quad [86]$$

Remplazando en la ecuación [86], se obtiene que la presión en el punto 3 es de 277,26 kPa que es igual a 2,77 bar, según la norma DIN en el que se basa la fabricación de los accesorios en el mercado local, mostrada en el anexo 14, la presión nominal es PN-10.

Aplicando el principio de conservación de la energía de la ecuación [82], para el punto 2 y 3, y considerando:

$$V_2 = V_3$$

Remplazando en la ecuación [82] y despejando para determinar la presión en el punto 2, resulta:

$$P_2 = P_3 + \gamma (Z_3 - Z_2 + h_f) \quad [87]$$

Remplazando en la ecuación [87], se obtiene que la presión en el punto 2 es de 295,62 kPa que es igual a 2,95 bar, según la norma DIN en el que se basa la fabricación de los accesorios en el mercado local, mostrada en el anexo 14, la presión nominal es PN-10.

Aplicando el principio de conservación de la energía de la ecuación [82], para el punto 3 y 6, y considerando:

$$V_3 = V_6$$

$$Z_3 = Z_6$$

Remplazando en la ecuación [82] y despejando para determinar la presión en el punto 6, resulta:

$$P_6 = P_3 - \gamma (h_f) \quad [88]$$

Remplazando en la ecuación [88], se obtiene que la presión en el punto 6 es de 210,89 kPa que es igual a 2,11 bar, según la norma DIN en el que se basa la fabricación de los accesorios en el mercado local, mostrada en el anexo 14, la presión nominal es PN-10.

Aplicando el principio de conservación de la energía de la ecuación [82], para el punto 3 y 7, y considerando:

$$V_3 = V_7$$

$$Z_3 = Z_7$$

Remplazando en la ecuación [82] y despejando para determinar la presión en el punto 6, resulta:

$$P_7 = P_3 - \gamma (h_f) \quad [89]$$

Remplazando en la ecuación [89], se obtiene que la presión en el punto 7 es de 229,66 kPa que es igual a 2,3 bar, según la norma DIN en el que se basa la fabricación de los accesorios en el mercado local, mostrada en el anexo 14, la presión nominal es PN-10.

5.2. DISEÑO DEL SISTEMA ELÉCTRICO

5.2.1. Cálculo para el alumbrado interior de la caseta de bombeo

A. Para el pozo profundo

Las medidas de la caseta de bombeo para el pozo profundo son de 3,5 m de largo y 3,5 m de ancho, la superficie total es de 12,25 m² y su altura total tiene que ser de 2,6 m. Considerando que la tubería tiene que elevarse a 0,4 m del suelo, por lo tanto, la altura al plano útil de trabajo es de 2,2 m.

Remplazando en la ecuación [23], se tiene:

$$d' = 0,25 * 2,2 = 0,55 \text{ m}$$

Por lo tanto, la distancia de instalación de la luminaria al techo debe ser de 0,55 m.

Remplazando en la ecuación [24], se tiene:

$$d = 2,2 - 0,55 = 1,65 \text{ m}$$

Por lo tanto, la distancia vertical de las luminarias al plano útil de trabajo debe ser de 1,65 m.

Remplazando en la ecuación [28], se tiene:

$$K = 3,5 * 3,5 / 1,65 * (3,5 + 3,5)$$

$$K = 1,0606$$

Considerando que los trabajos diarios realizados por el operador en la estación de bombeo, son con un grado de exigencia visual y concentración, de la

tabla 14, se determina que corresponde a una tarea visual de calidad “B”. En la tabla 15, para un trabajo de calidad “B”, del tipo de trabajo normal para la industria liviana, corresponde una iluminación de servicio de 500 luxes.

Para determinar el flujo luminoso en la caseta, las demás variables se obtienen del anexo 20. Considerando que las luminarias deben ser resistente al agua, deberán ser herméticas de policarbonato del tipo ovalado o rectangular, para este tipo se considera un factor de mantenimiento de 0,75; considerando que el techo debe ser enyesado, el factor de reflexión del techo es de 50 % y las paredes en el interior de la estación de bombeo deben ser estucados y enyesadas, el factor de reflexión de las paredes será de 50 %, y para el índice local K, se determina un coeficiente de utilización de 0,5; remplazando los datos obtenidos en la ecuación [27], se obtiene:

$$f = 500 * 12,25 / 0,5 * 0,75 = 16\ 333,33 \text{ lúmenes}$$

En el mercado nacional, para luminarias resistentes al agua y herméticas de policarbonato, el mayor productor es la compañía PHILIPS del cual se selecciona el equipo fluorescente TCW060 2xTL-D36W, que es hermético con cubierta de policarbonato de alta resistencia, con grado de protección IP65, para instalar dos lámparas fluorescentes tubulares de 36 W.

Las lámparas fluorescentes tubulares seleccionadas son el modelo TL-D Super 80 36W/840 que ofrece la compañía PHILIPS, produce un flujo luminoso de 3 350 lúmenes, reemplazando los datos obtenidos en la ecuación [27], se tiene:

$$N_{totlamp} = f * \varnothing_{lamp} = 16\ 333,33 / 3\ 350 = 4,77 / 2 = 2,44 \approx 2 \text{ unidades}$$

De las tablas 12, para una altura de local de 2,6 m corresponderá aparatos de alumbrado extensivos, en la tabla 13, se determina que la relación de e/d es 1,6.

Por lo tanto, la distancia máxima entre las luminarias o artefactos de alumbrado es de:

$$e = 1,6 * d = 1,6 * 1,65 = 2,64 \text{ m}$$

Y la distancia máxima de las luminarias en los extremos del ambiente, reemplazando en la ecuación [26], se tiene:

$$e' = 2,64 / 2 = 1,32 \text{ m}$$

Considerando, que se debe dejar una abertura en la parte central de la caseta de bombeo para poder realizar las maniobras de izaje, para instalar el equipo de bombeo y las tuberías. Por lo tanto, se considera dejar una distancia de 2,2 m entre

artefactos y de 0,65 m de las luminarias a los extremos del ambiente. Los detalles de instalación en el plano IE-1.

B. Para la cisterna

Las medidas de la caseta de bombeo para la cisterna son de 9,85 m de largo y 4,7 m de ancho; la cual está compuesta por una sala de bombas de 7,3 m de largo y 3,2 m de ancho, la superficie total es de 23,36 m² y una altura total de 4 m; dos divisiones de pasadizos de 4,7 m de largo y 1,2 m de ancho, la superficie total es de 5,64 m²; una división de pasadizo de 7,3 m largo y 1,5 m de ancho, la superficie total es de 10,95 m²; y una división de pasadizo de 3,8 m largo y 1,2 m de ancho, la superficie total es de 4,56 m²; y la altura total para todos los pasadizos es de 2,6 m.

Para la sala de bombas, considerando que la tubería debe estar elevada a 0,4 m del suelo, por lo tanto, la altura al plano útil de trabajo es de 3,6 m; y para los pasadizos, considerando que la tubería debe estar elevada a 0,4 m del suelo, por lo tanto, la altura al plano útil de trabajo es de 2,2 m.

Remplazando en la ecuación [23], se tiene:

Para la sala de bombas: $d' = 0,25 * 3,6 = 0,9 \text{ m}$

Para los pasadizos: $d' = 0,25 * 2,2 = 0,55 \text{ m}$

Por lo tanto, la distancia de instalación de la luminaria al techo debe ser de 0,9 m para la sala de bombas y de 0,55 m para los pasadizos.

Remplazando en la ecuación [24], se tiene:

Para la sala de bombas: $d = 3,6 - 0,9 = 2,7 \text{ m}$

Para los pasadizos: $d = 2,2 - 0,55 = 1,65 \text{ m}$

Por lo tanto, la distancia vertical de las luminarias al plano útil de trabajo es de 2,7 m para la sala de bombas y de 1,65 m para los pasadizos.

Remplazando en la ecuación [28], se tiene:

Para la sala de bombas: $K = 7,3 * 3,2 / 2,7 * (7,3 + 3,2) = 0,8240$

Para el pasadizo 1: $K = 4,7 * 1,2 / 1,65 * (4,7 + 1,2) = 0,5794$

Para el pasadizo 2: $K = 7,3 * 1,5 / 1,65 * (7,3 + 1,5) = 0,7541$

Para el pasadizo 3: $K = 3,8 * 1,2 / 1,65 * (3,8 + 1,2) = 0,5527$

Considerando que los trabajos diarios realizados por el operador en la estación de bombeo son con un grado de exigencia visual y concentración, de la tabla 14, se determina que corresponde a una tarea visual de calidad “B”. En la tabla 15, para un trabajo de calidad “B” del tipo de trabajo normal para la industria liviana, corresponde una iluminación de servicio de 500 luxes.

Para determinar el flujo luminoso en la caseta, las demás variables se obtienen del anexo 20. Considerando que las luminarias deben ser resistente al agua, herméticas de policarbonato, del tipo plástico ovalado o rectangular, se determina un factor de mantenimiento de 0,75; considerando que el techo debe ser enyesado el factor de reflexión del techo es de 50 % y las paredes en el interior de la estación de bombeo deben ser estucadas y enyesadas el factor de reflexión de las paredes son de 50 %, y para el índice local K, se determina un coeficiente de utilización para la sala de bombas de 0,534; para el pasadizo 1 será de 0,551; para el pasadizo 2 será de 0,54; y para el pasadizo 3 será de 0,554; remplazando los datos obtenidos en la ecuación [27], se obtiene:

Para la sala de bombas: $f = 500 * 23,36 / 0,534 * 0,75 = 29\ 163,55$ lúmenes

Para el pasadizo 1: $f = 500 * 5,64 / 0,551 * 0,75 = 6\ 823,96$ lúmenes

Para el pasadizo 2: $f = 500 * 10,95 / 0,54 * 0,75 = 13\ 518,52$ lúmenes

Para el pasadizo 3: $f = 500 * 4,56 / 0,554 * 0,75 = 5\ 487,36$ lúmenes

En el mercado nacional, para luminarias resistentes al agua y herméticas de policarbonato, el mayor productor es la compañía PHILIPS del cual se selecciona el equipo fluorescente TCW060 2xTL-D36W, que es hermético con cubierta de policarbonato de alta resistencia, con grado de protección IP65, para instalar dos lámparas fluorescentes tubulares de 36 W.

Las lámparas fluorescentes tubulares seleccionadas son el modelo TL-D Super 80 36W/840 que ofrece la compañía PHILIPS, produce un flujo luminoso de 3 350 lúmenes, remplazando los datos obtenidos en la ecuación [27], se tiene:

Para la sala de bombas: $N_{totlamp} = f * \varnothing_{lamp} = 29\ 163,55 / 3\ 350$

$$N_{totlamp} = 8,71 / 2 = 4,35 \approx 4 \text{ unidades}$$

Para el pasadizo 1: $N_{totlamp} = f * \varnothing_{lamp} = 6\ 823,96 / 3\ 350$

$$N_{totlamp} = 2,04 / 2 = 1,02 \approx 1 \text{ unidad}$$

Para el pasadizo 2: $N_{totlamp} = f * \varnothing_{lamp} = 13\ 518,52 / 3\ 350$

$$N_{totlamp} = 4,04 / 2 = 2,02 \approx 2 \text{ unidades}$$

Para el pasadizo 3: $N_{totlamp} = f * \varnothing_{lamp} = 5\ 487,36 / 3\ 350$

$$N_{totlamp} = 1,64 / 2 = 0,82 \approx 1 \text{ unidad}$$

Para los pasadizos 1 y 3 donde solo se requiere una luminaria, se debe de ubicar en el punto centro del área.

Para la sala de bombas, de las tablas 12, para una altura de local de 4 m, corresponde aparatos de alumbrado extensivos; en la tabla 13, se determina que la relación de e/d es 1,6.

Por lo tanto, la distancia máxima entre las luminarias o artefactos de alumbrado es de:

$$e = 1,6 * d = 1,6 * 2,7 = 4,32 \text{ m}$$

Y la distancia máxima de las luminarias en los extremos del ambiente, de la ecuación [26], se tiene:

$$e' = 4,32 / 2 = 2,16 \text{ m}$$

Por lo tanto, se considera dejar una distancia de 1,8 m entre artefactos y de 0,95 m de las luminarias a los extremos del ambiente.

Para el pasadizo 2, de las tablas 12, para una altura de local de 2,6 m corresponderá aparatos de alumbrado extensivos, en la tabla 13 se determina que la relación de e/d es 1,6.

Por lo tanto, la distancia máxima entre las luminarias o artefactos de alumbrado es de:

$$e = 1,6 * d = 1,6 * 1,65 = 2,64 \text{ m}$$

Y la distancia máxima de las luminarias en los extremos del ambiente, de la ecuación [26], se tiene:

$$e' = 2,64 / 2 = 1,32 \text{ m}$$

Por lo tanto, se considera dejar una distancia de 3,7 m entre artefactos y de 1,8 m de las luminarias a los extremos del ambiente. Los detalles de instalación en el plano IE-1.

C. Para la caseta del operador y servicio higiénico

Las medidas de la caseta del operador son de 2 m de largo y 1,2 m de ancho, la superficie total es de 2,4 m²; del servicio higiénico son de 1,2 m de largo y 1,2 m de ancho, la superficie total es de 1,44 m²; y la altura total es de 2,4 m.

Considerando que el plano trabajo está a una altura de 0,8 m del suelo, por lo tanto, la altura al plano útil de trabajo es de 1,6 m.

Remplazando en la ecuación [23], se tiene:

$$d' = 0,25 * 1,6 = 0,4 \text{ m}$$

Por lo tanto, la distancia de instalación de la luminaria al techo es de 0,4 m.

Remplazando en la ecuación [24], se tiene:

$$d = 1,6 - 0,4 = 1,2 \text{ m}$$

Por lo tanto, la distancia vertical de las luminarias al plano útil de trabajo es de 1,2 m.

Remplazando en la ecuación [28], se tiene:

Para la caseta: $K = 2 * 1,2 / 1,5 * (2 + 1,2) = 0,6250$

Para el servicio higiénico: $K = 1,2 * 1,2 / 1,5 * (1,2 + 1,2) = 0,3077$

Considerando que los trabajos diarios que realiza el operador en su caseta son con un grado de exigencia visual y concentración, de la tabla 14 se determina que corresponderá a una tarea visual de calidad “B”. En la tabla 15, para un trabajo

de calidad “B”, corresponde una iluminación de servicio de 500 luxes y para los baños y vestidores corresponde una iluminación de servicio de 100 luxes.

Para determinar el flujo luminoso en la caseta, las demás variables se obtienen del anexo 20. Considerando que las luminarias deben ser resistente al agua, herméticas de policarbonato, del tipo plástico ovalado o rectangular, se determina un factor de mantenimiento de 0,75; considerando que el techo debe ser enyesado el factor de reflexión del techo será de 50 % y las paredes en el interior de la estación de bombeo de ser estucadas y enyesadas el factor de reflexión de las paredes será de 50 %, y para el índice local K, se determina un coeficiente de utilización para la caseta del operador de 0,6; para el servicio higiénico es de 0,62; reemplazando los datos obtenidos en la ecuación [27], se tiene:

Para la caseta: $f = 500 * 2,4 / 0,6 * 0,75 = 2\ 667,67$ lúmenes

Para el servicio higiénico: $f = 100 * 1,44 / 0,62 * 0,75 = 309,68$ lúmenes

Considerando que el flujo luminoso es bajo, se determina instalar focos ahorradores de 32 W E27 de luz blanca marca PHILIPS, que produce un flujo luminoso de 2 000 lúmenes, reemplazando los datos obtenidos en la ecuación [27], se tiene:

Para la caseta de operador: $N_{totlamp} = f * \phi_{lamp} = 2\ 667,67 / 2\ 000$

$N_{totlamp} = 1,33 \approx 1$ unidad

Para el servicio higiénico: $N_{totlamp} = f * \phi_{lamp} = 309,68 / 2\ 000$

$N_{totlamp} = 0,15 \approx 1$ unidad

Considerando que solo se requiere una luminaria, se debe de ubicar en el punto centro del área. Los detalles de instalación en el plano IE-1.

5.2.2. Cálculo para el alumbrado exterior de la caseta de bombeo

Las casetas de bombeo deben estar dentro de un cerco perimétrico según se detalla en el plano A-1, cuyas medidas son de 21 m de largo y 12 m de ancho. Para el alumbrado exterior, no hay medidas mínimas de iluminación de servicio o áreas precisas, por lo que la selección se hace según la conveniencia de iluminación.

Con esta consideración, se selecciona al igual que en el interior de las casetas de bombeo, luminarias marca PHILIPS modelo TCW060 2xTL-D36W, que es hermética con cubierta de policarbonato de alta resistencia, con grado de protección IP65, para instalar 2 lámparas fluorescentes tubulares de 36 W modelo TL-D Super 80 36W/840. Se instalarán 11 unidades ubicadas en los siguientes puntos:

- 1 unidad en la entrada de la caseta del operador y del servicio higiénico.
- 6 unidades a lo largo de la caseta de bombeo del pozo profundo y cisterna (4 unidades instaladas en la parte superior de la puerta de ingreso).
- 3 unidades en el cerco perimétrico en la salida del entubado.

Los detalles de la instalación en el plano IE-1.

5.2.3. Cálculo de tomacorrientes

Se debe instalar al menos un tomacorriente al interior de cada una de las casetas, para conexión de equipos o cualquier aparato eléctrico, utilizado en la operación o mantenimiento de los sistemas.

Además, según las normas peruanas exigidas por defensa civil (INDECI) para el otorgamiento del Certificado que le permita obtener y/o mantener vigente la Licencia Municipal de Funcionamiento se deberá instalar iluminación de emergencia en la caseta bombeo. Según la Norma Técnica Peruana NTP IEC 60598-2-22 adoptada de la Norma de la Comisión de Electrotecnia Internacional IEC 60598-2-22 y con el Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú Art. 41 norma A.130, que establece, la autonomía de funcionamiento de las luces de emergencia debe ser como mínimo 1 hora.

En consideración se selecciona un equipo de luz de emergencia que cumpla con lo reglamentado y pueda cubrir las principales zonas al interior de las casetas de bombeo.

En el mercado nacional para las luces de emergencia, la empresa OPALUX es uno de los mayores distribuidores y productores, del cual se selecciona el modelo 9101-220LED, compuesto de 24 leds ultra brillante, de luz blanca, tensión 220V AC 60 Hz, batería sellada interna de larga duración 4V.2.5Ah., que cubre una superficie de 70 m².

En las puertas principales, también se deberá instalar un señalizador de “salida”, acrílico con luz de emergencia, para el cual se selecciona un productor de la empresa OPALUX modelo OP397S, para voltaje de 220 V y una duración de 6 horas en uso.

Por lo tanto, se debe instalar las siguientes cantidades de tomacorrientes de marca BTICINO, en las siguientes ubicaciones:

- 1 tomacorriente doble en la caseta del operador.
- 1 tomacorriente simple en el servicio higiénico.

- 1 tomacorriente simple para instalar un equipo de luz de emergencia, 1 tomacorriente simple para instalar un equipo de señal de salida, 1 tomacorriente doble para conectar equipos varios en la caseta de bombeo del pozo profundo.
- 2 tomacorrientes simple para instalar dos equipos de luz de emergencia, 1 tomacorriente simple para instalar un equipo de señal de salida, 1 tomacorriente doble para conectar equipos varios en la caseta de bombeo de la cisterna.

Los detalles de instalación en el plano IE-1.

5.2.4. Cálculo de la potencia de instalación para el tablero de control de los equipos de bombeo

A. Para el pozo profundo

Se tiene que instalar una bomba sumergible marca Hidrostral modelo S07SH, que está equipada con un motor asíncrono trifásico de potencia de 70 hp con velocidades de 3 470 a 3 510 rpm para 60 Hz, la potencia de instalación será:

$$P.I. = 70 \text{ HP} * 0,7457 \text{ kW} / 1 \text{ hp} = 52,199 \text{ kW}$$

B. Para la cisterna

Se instalará dos bombas centrífuga horizontal marca Hidrostral modelo 65-160, que está equipada con un motor asíncrono trifásico de 18,5 kW (24,81 hp) con velocidad de 3 600 rpm para 60 Hz, la potencia de instalación será:

$$P.I. = 24,8089 \text{ hp} * 0,7457 \text{ kW} / 1 \text{ hp} = 18,5 \text{ kW} * 2 = 37 \text{ kW}$$

5.2.5. Cálculo de la máxima demanda y circuitos en el tablero general

En la tabla 29, se presentan los resultados de los cálculos para la máxima demanda en cada uno de los circuitos del tablero de distribución.

De los resultados mostrados en la tabla 29, se determina que la máxima demanda total de todo el sistema en la instalación eléctrica es de 91,45 kW, con voltaje de 380 V para circuitos trifásicos y de 220 V para circuitos monofásica.

Tabla 29*Cálculo de las máximas demandas en los circuitos*

CTO.	ZONA O CARGA	PTO.	C.U.	P.I.	F.D.	M.D.
			[W/Pto]	[kW]		[kW]
C-1 1Ø	Alumbrado interior	11	72	0,792	1	0,856
		2	32	0,064	1	
C-2 1Ø	Alumbrado exterior	10	72	0,72	1	0,72
C-3 1Ø	Tomacorrientes	9	150	1,35	0,5	0,675
C-4 3Ø	Tablero de control bomba sumergible			52,199	1	52,199
C-5 3Ø	Tablero de control bombas centrifugas			37	1	37

Fuente: Elaboración propia.

5.2.6. Cálculo para determinar el tipo de conductor, entubado y accesorios

De la ecuación [29], con los resultados y consideraciones presentados en la tabla 29, se determina y se muestra en la tabla 30, los resultados obtenidos de los cálculos para las capacidades de corrientes, considerando un factor de potencia de 0,70.

Tabla 30*Cálculo de las capacidades de corrientes*

CTO.	ZONA O CARGA	M.D. [W]	K₁	V [V]	Id [A]
C-1 1Ø	Alumbrado interior	856	1	220	6,9481
C-2 1Ø	Alumbrado exterior	720	1	220	5,8442
C-3 1Ø	Tomacorrientes	675	1	220	5,4789
C-4 3Ø	Tablero de control bomba sumergible	52 199	1,73	380	141,7896
C-5 3Ø	Tablero de control bombas centrifugas	37 000	1,73	380	100,5042
TG 3Ø	Tablero general	91 450	1,73	380	248,4082

Fuente: Elaboración propia

Del anexo 21, para los circuitos C-1, C-2 y C-3 del alumbrado y tomacorrientes, corresponde secciones de cable de 2,5 mm² (calibre 14 AWG) tipo THW para fase y neutro, para los circuitos C-4 y C-5 de los tableros de control para las electrobombas corresponde secciones de cable de 50 y 35 mm² (calibre 1 y 2 AWG) tipo NYY triple para las tres fases, y para el tablero de distribución general corresponde secciones de cable de 150 mm² tipo NYY triple para las tres fases.

En la tabla 31, se presenta los resultados del cálculo para la caída de tensión máxima en los conductores, haciendo uso de la ecuación [30].

Tabla 31

Cálculo de las caídas de tensión

CTO.	ZONA O CARGA	K₂	Id [A]	L [m]	Sc [mm²]	ΔV [V]
C-1 1Ø	Alumbrado interior	1,73	6,9481	39	2,5	2,2970
C-2 1Ø	Alumbrado exterior	1,73	5,8442	72	2,5	3,5669
C-3 1Ø	Tomacorrientes	1,73	5,4789	49	2,5	2,2758
C-4 3Ø	Tablero de control bomba sumergible	2	141,7896	9	50	0,6253
C-5 3Ø	Tablero de control bombas centrifugas	2	100,5042	16	35	1,1256
TG 3Ø	Tablero general	2	248,4082	10	150	0,4057

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 31 y del anexo 22, para seleccionar la sección de los conductores de protección, para el circuito C-3 de tomacorrientes corresponde la sección de cable de 2,5 mm² (calibre 14 AWG) tipo CPT, para el circuito C-4 corresponde la

sección de cable de 16 mm² (calibre 6 AWG) tipo CPT, para el circuito C-5 corresponde la sección de cable de 10 mm² (calibre 8 AWG) tipo CPT.

En la tabla 32, se presenta los resultados del análisis para la caída de tensión máxima en los conductores según lo establecido en el apartado 2.2.14 del marco teórico, al determinar el porcentaje de caída de tensión y dividirlo entre el voltaje permisible de la línea.

Tabla 32

Evaluación de la caída de tensión permisible

CTO.	ZONA O CARGA	ΔV [V]	ΔV %	MAX ΔV	EVALUA
				PERM	
C-1 1Ø	Alumbrado interior	2,2970	1,0441	2,5	CUMPLE
C-2 1Ø	Alumbrado exterior	3,5669	1,6213	2,5	CUMPLE
C-3 1Ø	Tomacorrientes	2,2758	1,0344	2,5	CUMPLE
C-4 3Ø	Tablero de control bomba sumergible	0,6253	0,1646	2,5	CUMPLE
C-5 3Ø	Tablero de control bombas centrífugas	1,1256	0,2962	2,5	CUMPLE
TG 3Ø	Tablero general	0,4057	0,1068	2,5	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 33, se presenta la selección del diámetro de las tuberías de PVC para el cableado a partir del anexo 23.

Tabla 33

Selección del diámetro de la tubería de PVC para cableado eléctrico

CTO.	ZONA O CARGA	CONDUCTOR	TUBERÍA
C-1 1Ø	Alumbrado interior	2 x 2,5 mm ² THW	PVC SEL 15 mm Ø L
C-2 1Ø	Alumbrado exterior	2 x 2,5 mm ² THW	PVC SEL 15 mm Ø L
C-3 1Ø	Tomacorrientes	2 x 2,5 mm ² THW 1 x 2,5 mm ² CPT	PVC SEL 15 mm Ø L
C-4 3Ø	Tablero de control bomba sumergible	3 x 50 mm ² NYY 1 x 16 mm ² CPT	PVC SAP 50 mm Ø L
C-5 3Ø	Tablero de control bombas centrifugas	3 x 35 mm ² NYY 1 x 10 mm ² CPT	PVC SAP 40 mm Ø L
TG 3Ø	Tablero general	3 x 150 mm ² NYY	PVC SAP 80 mm Ø L

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 34, se presenta la selección del interruptor magneto-térmico que debe emplearse según la corriente nominal, haciendo uso de la ecuación [31], para el cálculo de la corriente máxima que circulara.

Tabla 34*Cálculo y selección del interruptor magneto-térmico*

CTO.	ZONA O CARGA	Id	I_{max}	INTERRUPTOR
C-1 1Ø	Alumbrado interior	6,9481	8,6851	2 x 10 A
C-2 1Ø	Alumbrado exterior	5,8442	7,3052	2 x 10 A
C-3 1Ø	Tomacorrientes	5,4789	6,8486	2 x 16 A
C-4 3Ø	Tablero de control bomba sumergible	141,7896	177,2370	3 x 200 A
C-5 3Ø	Tablero de control bombas centrifugas	100,5042	125,6302	3 x 125 A
TG 3Ø	Tablero general	248,4082	310,5103	3 x 320 A

Fuente: Elaboración propia.

Los interruptores serán automáticos de disparo magnético, bipolares y tripolares de intensidad nominal, adicionalmente se instala uno de 2 x 20 A para circuito C-6 de reserva y para el circuito C-3 un interruptor diferencial de 2 x 25 A.

5.2.7. Cálculo de la resistencia del pozo de tierra

Considerando la resistividad eléctrica del terreno de 22,1 ohmios-metros, determinado en el estudio hidrogeológico. Y del anexo 24 se determina lo siguiente:

- $L = 2,4 \text{ m}$
- $d = 16 \text{ mm}$, en el mercado local diámetro de $18,5 \text{ mm} = 0,0185 \text{ m}$
- $h = 2,3 \text{ m}$

Remplazando en la ecuación [32]:

$$R = 0,366 * R_c / L * \log (2L/d) * (4h + 3L)/(4h + L)$$

$$R = 0,366 * (22,1/2,4) * (\log (2*2,4/0,0185)) * (((4*2,3)+(3*2,4))/((4*2,3)+2,4))$$

$$R = 11,5026 \text{ ohmios} < 25 \text{ ohmios}$$

El conductor comercial hacia el pozo a tierra debe ser de $1 \times 25 \text{ mm}^2$ cable CPT instalado en interior de tubería de PVC de $15 \text{ mm } \varnothing$ L.

5.2.8. Diseño de la subestación eléctrica

En la práctica industrial, una empresa deberá hacer uso de un transformador individual, cuando supera los niveles de baja tensión, siendo este el caso; para realizar la selección del transformador, de la ecuación [33] se tiene:

$$\text{Potencia aparente} = 1,732 * 248,1366 * 380 / 1000 = 163,31 \text{ KVA}$$

En la práctica, se recomienda que los transformadores trabajen al 75% de su capacidad, por lo tanto, se selecciona un transformador de 200 KVA para voltaje de 380 V y 220 V, que cumple con la normativa de fabricación y prueba (NTP 370.002), por lo tanto, será fabricado por pedido a la empresa Promotores Eléctricos S.A. que cumple con los requerimientos a nivel nacional.

El transformador debe instalarse externamente, sobre una base de concreto entre dos postes de soporte, según las especificaciones y requerimientos de la empresa suministradora del servicio eléctrico ElectroSur S.A., la cual también está encargada de la instalación y de brindar la conexión eléctrica hasta el medidor eléctrico, indicado en el contrato.

5.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO

5.3.1. Para el pozo profundo

Se desea que el equipo de bombeo para el pozo profundo este automatizado, y proteger el motor eléctrico por fallos de secuencia de fase, sobretensión y subtensión; tener control para seleccionar parada, arranque manual y automático, según los requerimientos de llenado máximo y mínimo del pozo, además debe

contar con indicadores de arranque, falla y energizado en espera de llenado del pozo. Para ello se desarrolla el siguiente diagrama y selección de sus componentes.

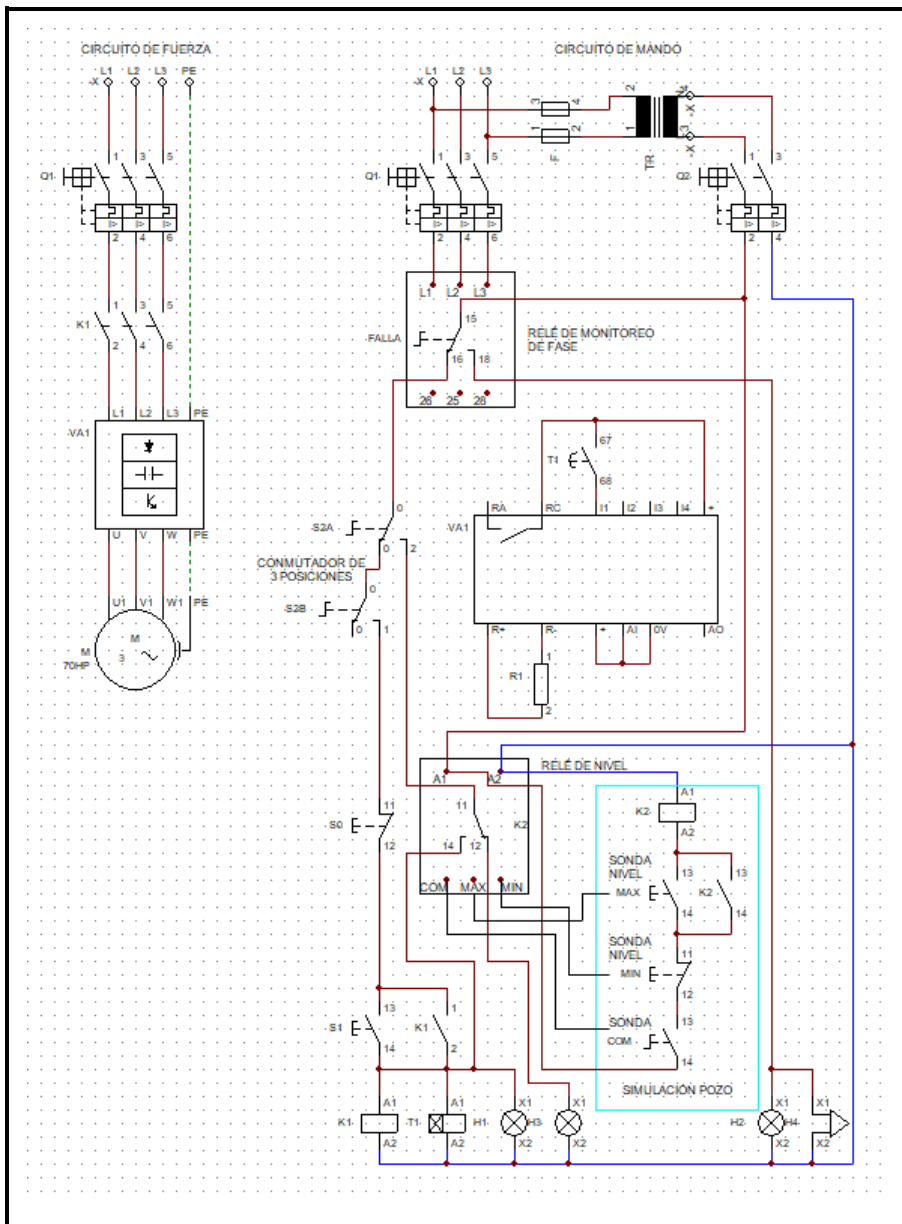


Figura 35. Esquema de conexión para bomba sumergible, circuito de fuerza y mando

Fuente: Elaboración propia (CADE_SIMU Versión 1.0), 2016

- Q1 = Interruptor termomagnético tripolar de 200 A.
- Q2 = Interruptor termomagnético bipolar de 16 A.
- F = 2 Seccionadores portafusible 1P con 2 fusible tipo cartucho de 4A de mediada 10 x 38.
- TR = Transformador trifásico de 380 V a 220 V de 100 VA.
- K1 = Contactor disyuntor tripolar de 116 A para motor de 55 kW, con conexión en la entrada y salida de la bobina de 100-250 VAC (A1 y A2).
- T1 = Temporizador electrónico de TE5S-240 de 0.8-8/6-60 segundos para 220 VAC – fijado a 15 segundos.
- VA1= Variador de frecuencia de 110 A para motor de 75 HP, para voltaje de 380 V y frecuencia de 60 Hz.
- S0 = Pulsador rasante de parada (N/C) color rojo.
- S1 = Pulsador rasante de marcha (N/A) color verde.
- S2A y S2B = Conmutador de 3 posiciones (0/1/2; parada/manual/automático).
- H1 = Piloto de señalización LED de 220 VAC color verde, señala marcha.
- H2 = Piloto de señalización LED de 220 VAC color rojo, señala falla en el sistema.
- H3 = Piloto de señalización LED de 220 VAC color amarillo, señala en automático recarga de pozo.
- H4 = Sirena 220V, señala falla en el sistema.

- Relé de monitoreo de fase, de 3 x 300-500V AC con conexiones para control de líneas en L1, L2 y L3, y conexión en 15, 16, 18, 25, 26 y 28 para el circuito de mando.
- Relé de nivel, con conexiones de alimentación en A1 y A2, conexión en 11, 14, 12 para el circuito de mando y conexión en las terminales COM, MAX y MIN para las sondas.
- 3 sondas de nivel, con conexión simulada en el relé de nivel en las terminales COM, MAX y MIN.
- M = Motor trifásico de la bomba sumergible tipo lápiz de 70 HP.

En la figura 36, se establece la forma de conexión del empalme del cableado de la bomba sumergible especificada por el fabricante en su manual del usuario.

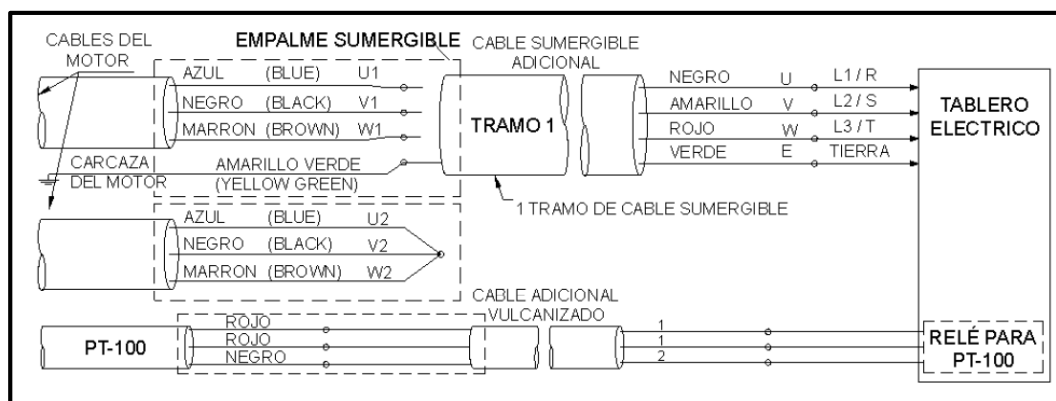


Figura 36. Conexión estrella de la bomba sumergible en arranque directo de 380V

Fuente: Manual del usuario Hidrostral S.A., 2014

Por lo tanto, para el circuito de fuerza se considera cablear con cable de 50 mm² (calibre 1 AWG) tipo NYY triple para las tres fases, que dará una longitud de 2 m, y de la salida al variador con cable plano sumergible compuesto de tres cables de fase de 50 mm² (calibre 1 AWG) y un cable de tierra de 16 mm² (calibre 6 AWG) de longitud de 120 m.

Para las conexiones del circuito de mando, se considera utilizar cable de 2,5 mm² (calibre 14 AWG) tipo GPT, de longitud total de 50 m y para la conexión de las sondas de nivel, se debe utilizar cable de 2,5 mm² (calibre 14 AWG) tipo NYY unipolar, de longitud total de 400 m para las tres sondas.

También se debe utilizar 3 unidades de borneras DIN para cable de 2,5 mm² para la conexión del cable de las sondas, 2 unidades rieles DIN de 35 mm de ancho y 2 m de largo, 30 unidades de pernos stove bolt de 4,76 mm por 25,4 mm de largo (3/16 por 1 pulgada de largo) con arandela plana y tuerca para fijar los rieles DIN, 50 unidades de terminales de tipo ojo para las conexiones de 2,5 mm² y 18 unidades de 50mm², 1 unidad de canaleta ranurada de 60 mm de ancho y 40 mm de alto, 1 unidad de canaleta ranurada de 40 mm de ancho y 40 mm de alto, 2 unidades de ventiladores de 220 VAC instalados en los laterales del tablero, 1 unidad de tablero mural de acero de protección IP66 y color gris con medidas de 1,2 m de alto, 0,8 m de ancho y 0,3 m de profundidad, 1 unidad de placa de montaje de acero

galvanizado de 1,15 m de alto y 0,75 m de ancho, 4 unidades de conjunto de fijación para el tablero, tornillos y tarugos; además de considerar el uso de 4 unidades de cinta aislante 3M clase 1700 color negro, 2 unidades cinta vulcanizante 3M y 100 unidades de cintillos de 100 mm de largo por 2,5 mm de ancho de color negro.

También se considera instalar un medidor multifunción para medir la tensión (V), corriente (A), frecuencia (Hz) y factor de potencia (FP), número de interrupciones y velocidad de giro (rpm), para ello se selecciona el medidor multifunción marca Schneider modelo DM6200 para realizar las mediciones, también se requiere instalar en las líneas L1, L2 y L3, 3 transformadores de núcleo cerrado tipo rectangular de 96 mm de ancho, 116 mm de alto y 58 mm de profundidad.

5.3.2. Para la cisterna

Se desea que el equipo de bombeo para la cisterna esté automatizado, y proteger el motor eléctrico por fallos de secuencia de fase, sobretensión y subtensión; tener control para seleccionar parada, arranque manual y automático, según los requerimientos de llenado máximo y mínimo de la cisterna, además debe tener indicadores de arranque, falla y energizado en espera de llenado de la cisterna. También se debe implementar un sistema automático de arranque de la bomba

centrífuga por falla del otro equipo. Para ello se desarrolla el siguiente diagrama y selección de sus componentes.

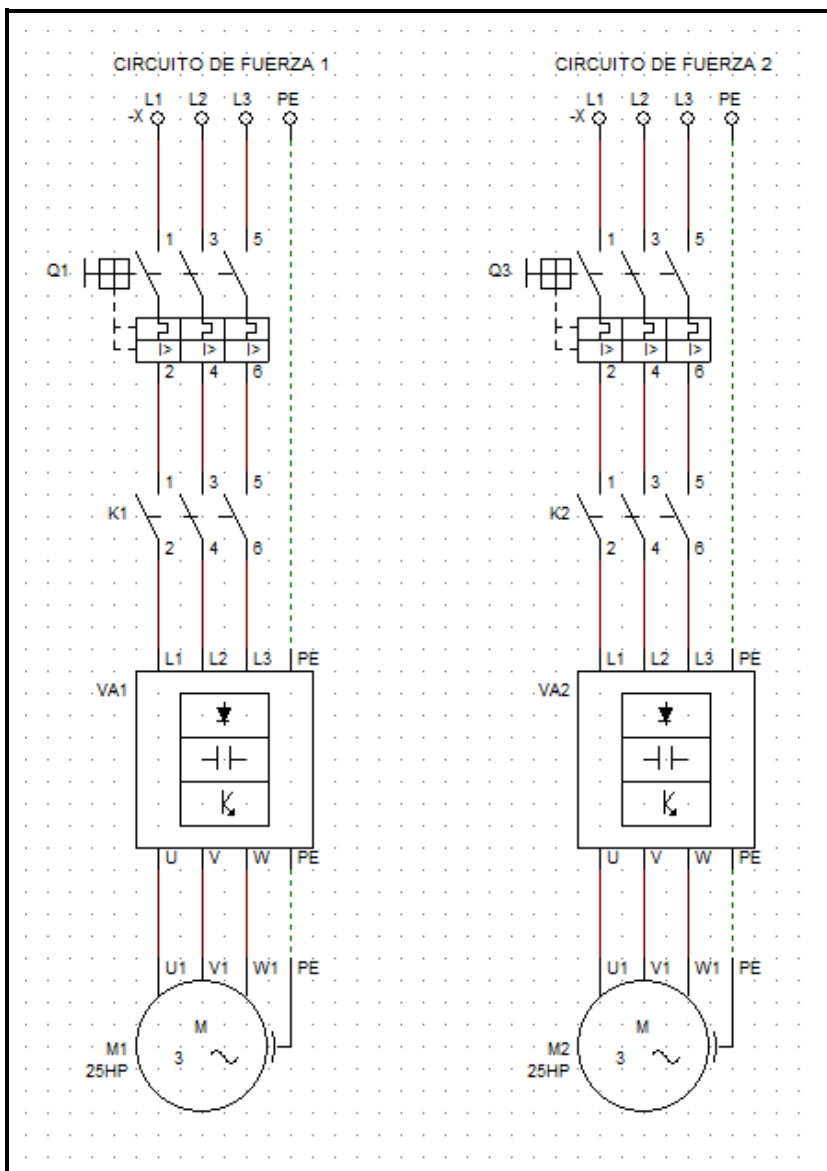


Figura 37. Esquema de conexión del circuito de fuerza para las dos electrobombas centrífugas horizontales

Fuente: Elaboración propia (CADe_SIMU Versión 1.0), 2016

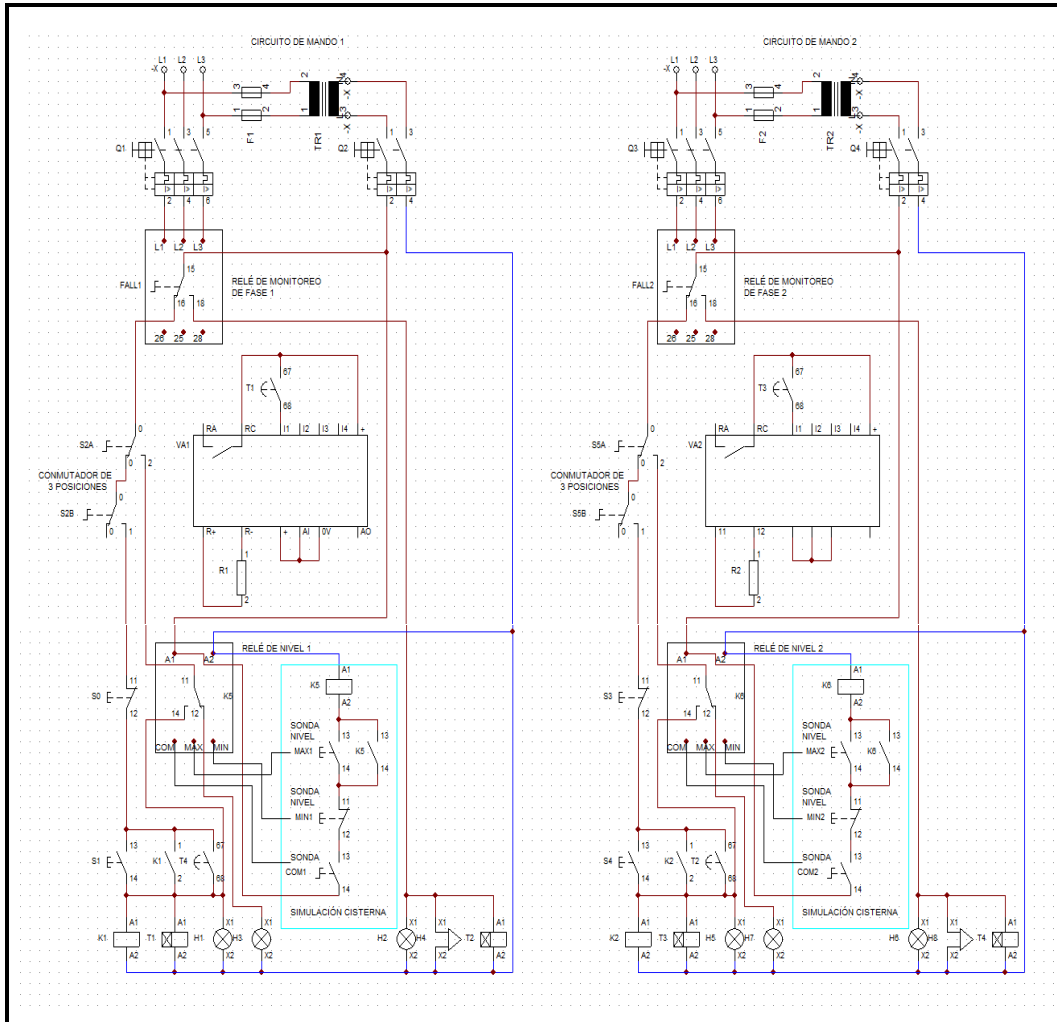


Figura 38. Esquema de conexión del circuito de mando para las electrobombas centrífugas horizontales

Fuente: Elaboración propia (CADE_SIMU Versión 1.0), 2016

- Q1 y Q2 = Interruptor termomagnético tripolar de 63 A.
- Q3 y Q4 = Interruptor termomagnético bipolar de 16 A.
- F1 y F2 = 2 Seccionadores portafusible 1P con 2 fusible tipo cartucho de 4A de mediada 10 x 38.

- TR1 y TR2 = Transformador trifásico de 380 V a 220 V de 100 VA.
- K1 y K2 = Contactor disyuntor tripolar de 40 A para motor de 18,5 kW, con conexión en la entrada y salida de la bobina de 100-250 VAC (A1 y A2).
- T1 y T3 = Temporizador electrónico frontal TEF4-ON de 1-100 segundos para 220 VAC – fijado a 15 segundos.
- T2 y T4 = Temporizador electrónico frontal TEF4-ON de 1-100 segundos para 220 VAC – fijado a 15 segundos; se tendrá que equipar con un contactor disyuntor tripolar de 9 A, con conexión en la entrada y salida de la bobina de 100-250 VAC (A1 y A2).
- VA1 y VA2 = Variador de frecuencia de 38 A para motor de 25 HP, para voltaje de 380 V y frecuencia de 60 Hz.
- S0 y S3 = Pulsador rasante de parada (N/C) color rojo.
- S1 y S4 = Pulsador rasante de marcha (N/A) color verde.
- S5A y S5B = Conmutador de 3 posiciones (0/1/2; parada/manual/automático).
- H1 y H5 = Piloto de señalización LED de 220 VAC color verde, señala marcha.
- H2 y H6 = Piloto de señalización LED de 220 VAC color rojo, señala falla en el sistema.
- H3 y H7 = Piloto de señalización LED de 220 VAC color amarillo, señala en automático recarga de pozo.

- H4 y H8 = Sirena 220V, señala falla en el sistema.
- RELÉ DE MONITOREO DE FASE 1 y 2, de 3 x 300-500V AC con conexiones para control de líneas en L1, L2 y L3, y conexión en 15, 16, 18, 25, 26 y 28 para el circuito de mando.
- RELÉ DE NIVEL 1 y 2, con conexiones de alimentación en A1 y A2, conexión en 11, 14, 12 para el circuito de mando y conexión en las terminales COM, MAX y MIN para las sondas.
- 6 SONDAS DE NIVEL, con conexión simulada en el relé de nivel en las terminales COM1, MAX1, MIN1, COM2, MAX2 y MIN2.
- M1 y M2 = Motor trifásico de la electrobomba centrífuga horizontal de 25 HP.

Por lo tanto, para el circuito de fuerza, se considera cablear con cable de 35 mm² (calibre 2 AWG) tipo NYY triple para las tres fases, debe utilizarse una longitud de 7 m, que corresponde para cada cableado del circuito de fuerza del tablero y hasta cada electrobomba centrífuga horizontal.

Para las conexiones del circuito de mando, se cablea utilizando cable de 2,5 mm² (calibre 14 AWG) tipo GPT, se utiliza una longitud de 50 m, para la conexión de las sondas de nivel se utiliza cable de 2,5 mm² (calibre 14 AWG) tipo NYY unipolar con longitud total de 35 m para las tres sondas, por cada relé de nivel.

También se utiliza 3 unidades de borneras DIN para cable de 2,5 mm² para la conexión del cable de las sondas, 2 unidades rieles DIN de 35 mm de ancho y 2 m de largo, 30 unidades de pernos stove bolt de 4,76 mm por 25,4 mm de largo (3/16 por 1 pulgada de largo) con arandela plana y tuerca para fijar los rieles DIN, 50 unidades de terminales de tipo ojo para las conexiones de 2,5 mm² y 18 unidades de 50 mm², 1 unidad de canaleta ranurada de 60 mm de ancho y 40 mm de alto, 1 unidad de canaleta ranurada de 40 mm de ancho y 40 mm de alto, 2 unidades de ventiladores de 220 VAC instalados en los laterales del tablero, 1 unidad de tablero mural de acero protección IP66 de color gris de 0,8 m de alto, 0,6 m de ancho y 0,3 m de profundidad, 1 unidad de placa de montaje de acero galvanizado de 0,75 m de alto y 0,55 m de ancho, 4 unidades de conjunto de fijación para el tablero, tornillos y tarugos; además de considera usar 4 unidades de cinta aislante 3M clase 1700 color negro, 2 unidades cinta vulcanizante 3M y 200 unidades de cintillos de 100 mm de largo por 2,5 mm de ancho color negro por cada tablero de control.

También se considera instalar un medidor multifunción para medir la tensión (V), corriente (A), frecuencia (Hz) y factor de potencia (FP), número de interrupciones y velocidad de giro (rpm), para ello se selecciona el medidor multifunción marca Schneider modelo DM6200 para realizar las mediciones, también se requerirá instalar en las líneas L1, L2 y L3, 3 transformadores de núcleo cerrado tipo elipse de 70 mm de ancho, 95 mm de alto y 45 mm de profundidad.

CAPÍTULO VI

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO

6.1. OPERACIÓN DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO

6.1.1. Hoja de reporte diario de operación

En el presente trabajo, se desarrolla una hoja de reporte diario para la operación de la estación de bombeo en donde el operador debe registrar todas las medidas y observaciones realizadas, presentada en el anexo 31.

6.1.2. Procedimiento para la operación del pozo profundo

A. Antes de dar marcha al equipo de bombeo

- Medir el nivel estático del pozo profundo.
- Revisar todas las conexiones y partes eléctricas.

B. Para dar marcha al equipo de bombeo

- Verifique o energice el tablero de control de la electrobomba desde el tablero general.
- Verificar que el voltaje en las líneas no presente desviaciones mayores del 10 % con respecto al voltaje especificado en el motor, desde el voltímetro acoplado en la compuerta del tablero. En caso de desviaciones mayores, no prenda la bomba, hasta que esté dentro del rango permisible.
- Para dar arranque de forma manual; gire la perilla del conmutador de la posición 0 a la posición 1, presione el pulsador rasante de color verde para dar marcha al equipo de bombeo y verifique mediante el encendido del piloto de señalización de color verde.
- Para dar arranque de forma automática; gire la perilla del conmutador de la posición 0 a la posición 2, la marcha del equipo de bombeo será controlada por el relé de nivel y su arranque se verifica mediante el encendido del piloto de señalización de color verde, caso contrario, encienda el piloto de señalización de color amarillo, indica que el nivel del agua del pozo profundo está en nivel mínimo, por lo que el relé de nivel apagará el equipo de bombeo para evitar que trabaje en vacío, cuando el nivel del agua llegue al nivel máximo, el equipo de bombeo entrará en marcha automáticamente.

C. Durante el funcionamiento del equipo de bombeo

- Después de que el equipo de bombeo funcione por quince minutos se debe revisar la salida del agua o el caudal, la frecuencia, el factor de potencia, el nivel de bombeo, el amperaje y el voltaje desde el medidor de la compuerta del tablero, y realizar medidas a la salida del variador, con el multitester.
- Debe revisar si hay fugas de agua en las tuberías, acoples o accesorios.
- Debe revisar sonidos y vibraciones anormales del equipo, posiblemente transferido por el entubado.
- Debe revisarse la cantidad de arranques del equipo de bombeo.
- Debe revisarse que el piloto de señalización de color rojo este apagado, y cuando se encienda se emitirá una alarma de la sirena, lo cual indicará falla de fase, sobretensión y subtensión, o falla del motor eléctrico del equipo de bombeo.

D. Para parar el equipo de bombeo

- Para parar de forma manual; presione el pulsador rasante de color rojo para parar el equipo de bombeo y verifique mediante el apagado del piloto de señalización verde, por seguridad se puede girar la perilla del conmutador de la posición 1 a la posición 0.

- Para parar de forma automática; gire la perilla del conmutador de la posición 2 a la posición 0.

El procedimiento presentado, debe ser aplicado por el personal operario en todos los turnos de guardia necesarios para la operación de la estación de bombeo por 24 horas, para su aplicación el personal deberá tener un perfil en conocimiento en electricidad y mecánica básica.

6.1.3. Procedimiento para la operación de la cisterna

A. Antes de dar marcha al equipo de bombeo

- Medir el nivel de agua de la cisterna.
- Revisar todas las conexiones y partes eléctricas.
- Las válvulas de compuerta deben estar totalmente abiertas.

B. Para dar marcha al equipo de bombeo

- Verifique o energice el tablero de control de las electrobombas desde el tablero general.

- Verificar que el voltaje en las líneas no presente desviaciones mayores del 10% con respecto al voltaje especificado en el motor, en el voltímetro acoplado en la compuerta del tablero. En caso de desviaciones mayores, no prenda la bomba, hasta que esté dentro del rango permisible.
- Para dar arranque de forma manual; gire la perilla del conmutador de la posición 0 a la posición 1, presione el pulsador rasante de color verde para dar marcha al equipo de bombeo y verifique mediante el encendido del piloto de señalización de color verde.
- Para dar arranque de forma automática; gire la perilla del conmutador de la posición 0 a la posición 2, la marcha del equipo de bombeo será controlado por el relé de nivel y su arranque se verifica mediante el encendido del piloto de señalización de color verde, caso contrario esté encendido el piloto de señalización de color amarillo, indica que el nivel del agua de la cisterna está en nivel mínimo y que el relé de nivel, tiene apagado el equipo de bombeo para evitar que trabaje en vacío, cuando el nivel del agua llegue al nivel máximo, el equipo de bombeo entrará en marcha automáticamente.

C. Durante el funcionamiento del equipo de bombeo

- Después de que el equipo de bombeo funcione por quince minutos, se debe revisar la salida del agua o el caudal, la frecuencia, el factor de potencia, el

nivel de bombeo, el amperaje y el voltaje desde el medidor de la compuerta del tablero, y realizar medidas a la salida del variador, con el multítester.

- Debe revisar si hay fugas de agua en las tuberías, acoples o accesorios.
- Debe revisar sonidos y vibraciones anormales del equipo, posiblemente transferido por el entubado.
- Debe revisarse la cantidad de arranques del equipo de bombeo.
- Se tendrá que encender los dos equipos de bombeo en la hora punta, donde la cisterna recibirá suministro de agua de los PEEPS-02 y PEEPS-03, los equipos de bombeo, deberán de rotar en su funcionamiento cuando trabajen individualmente, pasada la hora punta.
- Debe revisarse que el piloto de señalización de color rojo este apagado, y cuando se encienda, se emitirá una alarma de la sirena, lo cual indicará falla de fase, sobretensión y subtensión, o falla del motor eléctrico del equipo de bombeo.
- Para activar el sistema de arranque automático en caso de fallas; el equipo de bombeo principal debe estar funcionando en forma automática y el equipo de respaldo debe colocarse para dar arranque de forma manual; cuando el equipo de respaldo entre en operación, se debe programar el cambio, para que trabaje en forma automática.
- Cuando se observe que el nivel de agua de la cisterna no se mantiene y llega paulatinamente al nivel mínimo, en la línea de impulsión, se debe de abrir

la válvula de compuerta de la línea de recirculación hacia la cisterna, con finalidad de mantener el caudal de bombeo.

D. Para parar el equipo de bombeo

- Para parar de forma manual; presione el pulsador rasante de color rojo para parar el equipo de bombeo y verifique mediante el apagado del piloto de señalización de color verde, por seguridad se puede girar la perilla del conmutador de la posición 1 a la posición 0.
- Para parar de forma automática; gire la perilla del conmutador de la posición 2 a la posición 0.

6.2. MANTENIMIENTO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO

6.2.1. Análisis de criticidad de los equipos

En la estación de bombeo se tiene un total de 3 tipos de equipos que son el: el transformador, la bomba sumergible tipo lápiz y la bomba centrífuga horizontal. De los cuales, el equipo de mayor criticidad es el transformador, porque en el momento de la falla para completamente la producción, el tiempo de reparación o de remplazo es amplio, son altos sus costos de reparación, no tiene un equipo similar

en *stand by* para remplazo y puede tener un impacto severo, para la seguridad del personal y el medio ambiente, por estar expuesto en un área libre, y de tránsito. Sin embargo, estos equipos no requieren mantenimiento recurrente, y sobre su mantenimiento se debe encargar la empresa suministradora del servicio de energía eléctrica, sin embargo, se debe coordinar con la empresa suministradora, los días en los que se realice inspecciones u otros trabajos, debido a que se debe parar el equipo en mención y la estación de bombeo.

El segundo equipo crítico, es la bomba sumergible porque en el momento de la falla para solamente la producción del pozo, el tiempo de reparación o de remplazo es amplio, son altos sus costos de reparación, no tiene un equipo similar en *stand by* para remplazo y no tiene un impacto severo para la seguridad del personal, y del medio ambiente.

El equipo de menor criticidad es la bomba centrífuga horizontal, porque en el momento de la falla, para momentáneamente la producción de la cisterna, el tiempo de reparación o de remplazo no es tan amplio, son bajos sus costos de reparación en comparación a otros equipos, tiene un equipo similar en *stand by* para remplazo y no tiene un impacto severo para la seguridad del personal y del medio ambiente.

6.2.2. Plan y programa de mantenimiento

Según el Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia (1999) en su libro “Operación y mantenimiento de pozos profundos para acueductos”, señala que el mantenimiento preventivo de un pozo se puede programar cuando:

- La capacidad específica se haya reducido en más de un 20% de su valor original.
- El pozo produce arrastre de arenas y finos en suspensión por más de diez minutos después de iniciado el bombeo.
- El pozo comience a presentar señales de intermitencia en el flujo por descenso excesivo del nivel de bombeo.
- La bomba presente problemas de desgaste. Se aprovecha la reparación de la bomba para limpiar el pozo.

Sin embargo, lo mencionado obedece a un tipo mantenimiento correctivo programado, ya que aparecen significativamente los síntomas de falla; para establecer un mantenimiento preventivo, se debe realizar a razón de programar diversas actividades en tiempos adecuados, antes de que puedan aparecer las fallas; para ello, se desarrolla la siguiente tabla donde engloba las principales actividades de mantenimiento de los diversos sistemas y equipos de la estación de bombeo.

Tabla 35*Plan de mantenimiento*

GRUPO	ACTIVIDAD	FRECUENCIA
Subestación eléctrica	Inspección de accesorios	360 días
	Inspección del nivel de aceite del transformador	360 días
Instalaciones	Inspección de tuberías por fugas de agua y ajuste de pernos de bridas	diario
	Inspección de niveles de agua del pozo profundo y cisterna	diario
	Inspección del nivel de grava en el pre-filtro	diario
Instalaciones	Toma de video del pozo profundo	120 días
	Limpieza de tuberías y accesorios del pozo	120 días
	Limpieza del pozo profundo	240 días
	Limpieza de la cisterna	360 días
	Limpieza de tuberías y accesorios de la cisterna	360 días
	Limpieza de luminarias y tomacorrientes	360 días
	Limpieza y ajuste de accesorios del tablero general de distribución	360 días
	Inspección y limpieza del pozo a tierra	360 días

Continuación de la tabla 35

Bomba sumergible	Medición de voltaje, amperaje, frecuencia, factor de potencia y caudal.	diario
	Limpieza y ajuste de accesorios del tablero de control	30 días
	Medición del aislamiento del motor eléctrico	30 días
	Inspección del cable sumergible y sensores de nivel	120 días
	Inspección y limpieza de la superficie de la bomba y su filtro, y medición de nivel de líquido refrigerante para rellenar	120 días
	Inspección y limpieza de los impulsores, y tazones	240 días
Bomba centrífuga horizontal	Medición de voltaje, amperaje, frecuencia, factor de potencia y caudal.	diario
	Inspección de fugas de agua por sello mecánico	diario
	Verificación de temperatura de rodamientos	15 días
	Reajuste de pernos de la base y guarda	15 días
	Limpieza y ajuste de accesorios del tablero de control	30 días

Continuación de la tabla 35

Bomba	Medición del aislamiento del motor eléctrico	30 días
centrífuga	Lubricación de rodamientos	30 días
horizontal	Verificación del alineamiento y coupling	90 días
	Inspección y limpieza de los impulsores, sello mecánico, y la caja	180 días
	Inspección del cableado y sensores de nivel	360 días

Fuente: Elaboración propia

Del plan de mantenimiento preventivo mostrado en la tabla 35, se desarrolla el programa de mantenimiento presentado en el anexo 32.

6.2.3. Hoja de reporte de mantenimiento de los equipos de bombeo

En el presente trabajo, se desarrolla una hoja de reporte de mantenimiento del equipo de bombeo, donde el operador debe registrar todas las medidas y observaciones realizadas durante el mantenimiento de los equipos, que es adicional a los informes de mantenimiento que se deben de presentar al culminar el trabajo, se presenta en el anexo 33.

6.2.4. Procedimiento para el mantenimiento del pozo profundo

A continuación, se desarrolla el procedimiento para realizar la limpieza del pozo profundo, por ser la actividad de mantenimiento que tome mayor tiempo de realizar (3 días) y de mayor criticidad; el cual debe ser aplicado por el personal operario, dos técnicos mecánicos, un técnico electricista y un operador de grúa telescópica.

- Desenergizar la bomba sumergible y su tablero de control.
- Retirar el cableado y las sondas de nivel del pozo profundo.
- Desinstalar la tubería y accesorios de la parte superior de la tubería de impulsión hasta dejar libre el codo de descarga.
- Colocar la eslinga en las orejas de la base del codo de descarga para realizar el izaje de la tubería vertical de impulsión.
- Amordazar debajo de las uniones simples para desacoplar la parte superior por medio del uso de llaves de cadena.
- Izar las partes superiores desacopladas y ubicarlas en un área libre en el orden en que se ha desmontado.
- Para la continuación del izaje de las siguientes tuberías se puede realizar por medio del uso de abrazadera o un acople roscado con oreja de izaje.

- Izar las tuberías siguientes hasta llegar a la bomba sumergible, en todo momento verificar que no se comprima el cable sumergible.
- Habiendo desmontado en su totalidad las tuberías y accesorios de impulsión se procederá a realizar su inspección de corrosión y limpieza interna por incrustaciones.
- Habiendo desmontado la bomba sumergible se procederá a realizar pruebas de aislamiento, desmontaje de tazones e impulsores para su inspección del desgaste y limpieza de incrustaciones, verificación del nivel de refrigerante y limpieza superficial del motor eléctrico sumergible; en caso de mayores desgastes se procederá a enviar a los talleres especializados coordinando el envío de un equipo similar para su remplazo.
- Realizar la toma de video al interior del pozo para inspeccionar en el ademe y filtros la presencia de corrosión e incrustaciones.
- Realizar el pistoneo del pozo inyectando simultáneamente aire comprimido en frente de cada filtro para extraer la mayor cantidad de finos.
- Si el pozo presenta diferentes clases de incrustaciones se aplicará los siguientes químicos en este orden y tiempo: 1 galón de ácido muriático por cada 15 galones de agua contenida deberá tener un tiempo de contacto de 2 horas, 1 kilogramo de polifosfato por cada 100 galones de agua contenida deberá tener un tiempo de contacto de 24 horas y 1 kilogramo de hipoclorito de calcio por cada 200 galones de agua contenida deberá tener un tiempo de

contacto de 12 horas, se deberá de pistonear cada uno de los químicos en su tiempo de aplicación para su penetración en los filtros y su extracción y su lavado al final.

- Revisar el descenso del filtro de grava para rellenar debido a la disolución de las incrustaciones.
- Realizar el pistoneo final del pozo inyectando simultáneamente aire comprimido en frente de cada filtro para verificar que no vea presencia de finos y residuos de incrustaciones en el agua extraída mediante muestreo.
- Volver a realizar la toma de video al interior del pozo, para constatar la limpieza de las tuberías y filtros.
- Izar, amordazar e instalar con llaves de cadena cada una de los componentes desmontados según el orden de retiro, para la instalación se usará una capa de grasa para las uniones roscadas. En la instalación se deberá ir verificando el cable eléctrico sumergible e ir fijándolo cada 20 metros en la tubería.
- Montar el cableado y las sondas de nivel en el pozo profundo.
- Energizar el tablero de control y la bomba sumergible.
- Realizar las pruebas de funcionamiento y de aislamiento al equipo de bombeo, realizando las mediciones de parámetros y caudal.

6.2.5. Hoja de reporte de mantenimiento del pozo profundo

En el presente trabajo se desarrolla una hoja de reporte de mantenimiento del pozo profundo en donde el operador debe registrar todas las medidas y observaciones realizadas durante el mantenimiento, que será adicional a los informes de mantenimiento que se deben de presentar al culminar el trabajo, se presenta en el anexo 34.

6.3. NORMATIVAS DE CUMPLIMIENTO

En la operación y mantenimiento de la estación de bombeo, el empleador debe garantizar, se establezcan los medios y condiciones que protejan la vida, la salud y el bienestar de los trabajadores, y de aquellos que se encuentran dentro del centro de labores; por ende, el empleador debe dar cumplimiento a la Ley N° 29783 “Ley de seguridad y salud en el trabajo”. De igual manera, el empleador debe garantizar no causar un impacto negativo al ambiente durante las actividades del centro de labores; por ende, el empleador debe dar cumplimiento a la Ley N° 28611 “Ley general del ambiente”. Para garantizar la calidad en las instalaciones, los equipos, materiales y accesorios que la conforman, deben ser comprados a empresas certificadas con la norma ISO 9001:2015; y los trabajos de soldadura deben ser realizados por un técnico soldador homologado según requerimiento.

CAPÍTULO VII

ANÁLISIS FINANCIERO

7.1. COSTO DE INVERSIÓN

7.1.1. Cronograma de desarrollo

En el anexo 35, se presenta el cronograma para la ejecución del proyecto por medio del diagrama Gantt, identificando cada una de las tareas necesarias para el desarrollo del proyecto.

7.1.2. Presupuesto de inversión

Para el desarrollo del presupuesto, se analiza los costos unitarios de las tareas a realizar, los cuales se muestra en el anexo 36, a continuación, se presenta la tabla resumen:

Tabla 36*Resumen del análisis de costo unitario por tarea*

ITEM	NOMBRE DE TAREA	DURACIÓN (días)	COSTO (S/.)
1.00	CONSTRUCCIÓN DE POZA DE LODOS Y ANTEPOZO	8	9 616,40
1.01	Nivelación de terreno y excavación de pozas de lodos	3	3 700,51
1.02	Excavación manual de antepozo de 1m de diámetro	3	1 611,64
1.03	Suministro de tubería ciega de acero A53 grado a de 500 mm de diám. e=6,35mm	1	2 500,00
1.04	Instalación de tubería ciega de acero A53 grado a de 500 mm de diám. e=6,35mm	1	440,11
1.05	Cementación de tubería ciega de acero de 500mm con concreto f'c=175 kg/cm ²	1	1 364,14
2.00	PERFORACIÓN DE POZO	33	417 398,36
2.01	Instalación de máquina perforadora	1	1 984,64

Continuación de la tabla 36

2.02	Perforación de pozo piloto de 158,75 mm (6 1/4 in) de diámetro de 5 hasta 200 m	6	69 130,90
2.03	Perfilaje eléctrico y evaluación de muestreo del material perforado	1	6 513,50
2.04	Rimado del pozo de 444,5 mm (17 1/2 in) de diámetro de 5 hasta 200 m	9	104 007,36
2.05	Suministro de tubería ciega y filtro de acero inox AISI 304 de 300mm de diám. e=6,35 mm	2	155 840,00
2.06	Instalación de tubería ciega y filtro de acero inox AISI 304 de 300mm de diám. e=6,35mm	10	43 832,00
2.07	Instalación de suministro de grava pre-filtro seleccionada de 5 a 9 mm y sello bentónico	1	12 094,24
2.08	Cementación de ademe y cubierta con concreto $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$	1	1 863,98
2.09	Aplicación de tripolifosfato de sodio	1	6 209,50

Continuación de la tabla 36

2.10	Desinstalación de máquina perforadora	1	1 838,98
2.11	Pistoneo y limpieza del pozo, con agua y aire a presión	2	13 676,65
2.12	Sellado del pozo con tapa metálica con loza	1	406,61
3.00	PRUEBA DE BOMBEO	8	15 403,28
3.01	Montaje del equipo de bombeo	2	3 103,32
3.02	Desarrollo del pozo con bomba	1	2 324,16
3.03	Prueba de bombeo con caudal variable	3	6 897,48
3.04	Desmontaje del equipo de bombeo	2	3 078,32
4.00	CONSTRUCCIÓN DE CISTERNA, CASETAS Y CERCO PERIMÉTRICO	112	197 594,07
4.01	Limpieza y tapado de pozas de lodos, y nivelación de terreno	3	6 100,51
4.02	Excavación de zanjas para zapatas y cisterna	10	23 396,24
4.03	Armado de zapatas y columnas	4	5 847,74

Continuación de la tabla 36

4.04	Montaje de columnas y vaciado de zapatas con concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	5	15 526,76
4.05	Vaciado de sobrecimiento $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	7	14 075,66
4.06	Construcción de muros de ladrillos	15	25 080,28
4.07	Vaciado de columnas con concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	9	19 655,37
4.08	Armado de vigas	3	3 650,71
4.09	Montaje y vaciado, de vigas, viguetas y techo con concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	16	32 575,23
4.10	Instalación de suministro de cajas de paso y tuberías de pvc para electricidad y desagüe	5	4 834,57
4.11	Tarrajeado con impermeabilizante los muros, columnas y techo interior de la cisterna	5	5 993,82
4.12	Tarrajeado de muros, columnas y techo, de la cisterna y caseta	12	15 351,45

Continuación de la tabla 36

4.13	Vaciado de piso con impermeabilizante interior de la cisterna	3	3 419,74
4.14	Vaciado de piso y escalera de las casetas	4	5 733,09
4.15	Vaciado de piso de pasadizos externos	4	5 264,64
4.16	Pintado de muros, columnas y techo con impermeabilizante interior de la cisterna	3	981,68
4.17	Pintado de muros, columnas y techo, de las casetas	7	2 667,67
4.18	Instalación de accesorios de desagüe y de servicio higiénico	3	995,29
4.19	Instalación de suministro de puertas, ventanas y otros	12	6 443,61
5.00	INSTALACIÓN DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA	20	225 000,00
5.01	Instalación de subestación eléctrica en postes, instalación de medidor y acometida	20	225 000,00

Continuación de la tabla 36

6.00	INSTALACIÓN HIDRÁULICA	29	388 927,27
6.01	Suministro de bomba sumergible y centrifugas, tuberías, bridas y accesorios hidráulicos	5	370 806,16
6.02	Fabricación de tuberías con bridas	4	999,89
6.03	Pintado de tuberías y accesorios hidráulicos	3	2 933,78
6.04	Instalación de bomba sumergible, cable sumergible, tuberías 125 mm y accesorios en el pozo profundo	2	7 458,46
6.05	Instalación de tuberías de 150 mm de impulsión y accesorios del codo de descarga a la cisterna	2	827,02
6.06	Instalación de bomba centrifugas, tuberías de 150 mm de succión y accesorios en la cisterna	2	1 075,82
6.07	Instalación de tuberías de 200 mm impulsión y accesorios, de las yees a los codos de salida	4	1 898,99

Continuación de la tabla 36

6.08	Instalación de tuberías de 150 mm impulsión y accesorios, de las bombas a las yees	2	844,38
6.09	Instalación de tuberías de 150 mm y accesorios de la línea de desfogue	2	705,10
6.10	Instalación de tuberías de 150 mm y accesorios de la línea de recirculación, y de la entrada a la cisterna del PEEPS-03	3	1 377,68
7.00	INSTALACIÓN ELÉCTRICA	17	63 747,47
7.01	Instalación de suministro de cableado eléctrico por tuberías de PVC	4	4 330,71
7.02	Fabricación de tablero general	1	3 917,83
7.03	Fabricación del tablero de control de la bomba sumergible	1	18 904,27
7.04	Fabricación de los tablero de control de las bombas centrifugas	2	28 316,20
7.05	Instalación y conexión de los tablero eléctricos	1	757,47

Continuación de la tabla 36

7.06	Instalación de suministro de luminarias e interruptores	3	2 766,40
7.07	Instalación de suministro de tomacorrientes y accesorios	1	1 049,07
7.08	Construcción y conexión del pozo a tierra	2	1 282,70
7.09	Conexión de electrobombas y sondas, y pruebas de funcionamiento	2	2 422,82
TOTAL		164	1 317 686,85

Fuente: Elaboración propia.

COSTO DIRECTO S/.	1 317 686,85
GASTOS GENERALES (20%)	263 537,37
UTILIDADES (10%)	131 768,68
SUB TOTAL S/.	1 712 992,90
IMPUESTO IGV (18%)	308 338,72
PRESUPUESTO DE OBRA S/.	2 021 331,62
IMPACTO AMBIENTAL (4%)	80 853,26
GASTOS DE SUPERVISION (5%)	101 066,58

GASTOS DE LIQUIDACIÓN DE OBRA (2%) 40 426,63

GASTOS POR ELABORACIÓN DE EXP. TÉCNICO (2.5%) 50 533,29

PRESUPUESTO TOTAL DEL PROYECTO S/. 2 294 211,39

**SON: DOS MILLONES DOCIENTOS NOVENTA Y CUATRO MIL
DOCIENTOS ONCE Y 39/100 NUEVOS SOLES**

En el anexo 37, se presenta el costo de inversión segregado en mano de obra, materiales y equipos, a continuación, se presenta la tabla resumen:

Tabla 37

Costo de inversión segregado

CONCEPTO	COSTO (S/.)
Mano de obra	113 680,98
Materiales	867 147,82
Equipos	251 174,00
Herramientas	5 684,05
Terceros	80 000,00
TOTAL	1 317 686,85

Fuente: Elaboración propia

7.2. FINANCIAMIENTO

El trabajo realizado es un Proyecto de Inversión Pública, debido a que se enfoca en mejorar la calidad de vida de la población, por lo tanto, debe ser financiado por entidades del Estado (Región Tacna por medio del Proyecto Especial Tacna y la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento Tacna S.A.) para su desarrollo; teniendo como fuentes de financiamiento del proyecto: recursos ordinarios, canon y sobrecanon, regalías y otros; por lo tanto, para el desarrollo del proyecto no se considera el pago de intereses durante los periodos, ya que no se tiene que recurrir a una entidad financiera externa.

7.3. INGRESOS, COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

7.3.1. Ingresos del proyecto

Considerando que solo se construya la estación de bombeo PEEPS-02, la cual extraerá agua subterránea a un caudal de 30 L/s, brindando un volumen diario de 2 592 000 litros de agua hacia el reservorio R-4 ubicado para la zona céntrica de la ciudad, por lo tanto, del anexo 38, considerando que el suministro es para uso doméstico, comercial y otros, corresponde una tarifa de 2,023 S/./m³, por lo tanto,

el proyecto generará un ingreso diario de 5 243,62 nuevos soles y un ingreso anual de 1 887 701,76 nuevos soles.

7.3.2. Costos de operación y mantenimiento del proyecto

Considerando que la estación de bombeo debe funcionar por 24 horas, se requiere que el personal operador rote en 3 turnos de 8 horas, se debe contratar un operador por turno, con sueldo mensual de 1 800 nuevos soles, haciendo un total anual de 64 800 nuevos soles para el pago de 3 operadores diarios.

Considerando que solo funciona el PEEPS-02, el consumo de energía eléctrica va estar determinado por el consumo de la bomba sumergible y de una bomba centrífuga, que es un total de 70,7 kW, del anexo 39, considerando que la tarifa de energía activa en horas punta para media tensión es de 0,22 S/./kWh y por lo general es de 5 horas diarias; y la tarifa de energía activa en horas fuera de punta para media tensión es de 0,17 S/./kWh, se tiene un costo total diario de 310,04 nuevos soles, considerando 15 % por costo de energía reactiva y otros no contemplados, se tiene un costo anual de 128 357,97 nuevos soles

Considerando que los costos de reparaciones futuras no se pueden calcular con precisión, para determinar el costo de mantenimiento anual, se considera como el 15 % del costo total de inversión, por lo tanto, es de 344 131,71 nuevos soles.

7.4. ANALISIS DE RENTABILIDAD

Para determinar la rentabilidad del proyecto se debe evaluar los indicadores del valor actual neto (VAN) y la tasa Interna de retorno (TIR) en base al análisis del flujo neto efectivo del año y la estimación de una tasa de inflación que compense el precio al riesgo de la inversión (TMAR), se desarrolla la siguiente tabla:

Tabla 38

Análisis del flujo neto efectivo anual

CONCEPTO	COSTO INICIAL (S/.)	COSTO ANUAL (S/.)
Inversión	2 294 211,39	-
Beneficios	-	1 887 701,76
Costos	-	537 289,67
Flujo neto efectivo	-	1 350 412,086

Fuente: Elaboración propia

El cálculo del valor actual neto va estar dado por la siguiente expresión:

$$VAN = -P + A_1 / (I+i)^1 + A_2 / (I+i)^2 + \dots + A_n / (I+i)^n \quad [90]$$

Donde:

- P = es la inversión inicial
- A_n = flujo neto efectivo en el año “n”, aquí corresponde a la ganancia neta después de impuestos en el año “n”
- i = tasa de referencia que corresponde a la TMAR

Para un periodo de 5 años y si la TMAR es igual al 20 %, se determina de la ecuación [90] con los datos de la tabla 38, se obtiene que el valor neto actual (VAN) es igual a 1 744 347,39 nuevos soles, al ser el resultado positivo, significa que hay ganancias más allá de haber recobrado el dinero invertido en el proyecto y debe aceptarse la inversión.

La tasa interna de retorno (TIR) es la tasa de referencia cuando el valor neto actual (VAN) es igual a cero, por lo tanto, aproximado en la ecuación [82] con los datos de la tabla 38, se determina que la tasa interna de retorno (TIR) para el proyecto es de 0,5148226 que es de 51,48 % y es mayor a la tasa de interés máxima capitalizable anual, por lo tanto, debe aceptarse la inversión.

CONCLUSIONES

La ejecución del proyecto, es un aporte directo para la población de la Región de Tacna, ya que soluciona el problema principal de escasez del recurso hídrico, brindando un volumen diario de 2 592 000 litros de agua para uso poblacional y generando un beneficio anual de 1 887 701,76 nuevos soles, considerando que el costo de inversión del proyecto es de S/. 2 294 211,39 nuevos soles que es realizado en 60 actividades que toman un total de 164 días en jornada de 8 horas y debe ser financiado por el Estado por ser un proyecto de inversión pública, y se demuestra por medio de cálculo del valor actual neto y de la tasa de interés de retorno, que la inversión del proyecto es viable.

Se ha determinado el diseño de una estación de bombeo automatizada con la finalidad de mejorar la explotación del recurso hídrico subterráneo para uso poblacional en la región de Tacna, centrándose en establecer los métodos de diseño para mantener la vida útil y los tiempos de operación, que dependen de explotar un caudal máximo de 30 L/s y de establecer los procedimientos, planes, y programas de mantenimiento, para asegurar tiempos continuos de operación. Y se determina que la metodología de diseño desarrollada, es aplicable para elaborar proyectos similares de diferentes capacidades y zonas de implementación.

El diseño óptimo del pozo profundo para la explotación de 30 L/s de recurso hídrico subterráneo, debe ser de diámetro nominal de entubado de 300 mm y una profundidad de 200 m, respaldado por estudios hidrogeológicos de la zona y del acuífero a explotar, y para extender su vida útil se debe utilizar acero inoxidable AISI 304 como material del entubado.

Se determina que el método de perforación óptimo para el desarrollo del pozo profundo, es el rotativo por circulación directa, para el cual se diseña el procedimiento de perforación y se selecciona la máquina perforadora de marca Atlas Copco modelo T3W, la sarta de perforación y sus triconos de 444,5 mm (17 1/2 in), y de 158,75 mm (6 1/4 in).

Se diseñó el sistema electromecánico para explotar un caudal de 30 L/s, que está compuesto por una bomba sumergible de 70 hp de potencia para el pozo profundo y dos bombas centrífugas horizontales de 24,8 hp de potencia para la cisterna, las cuales deben funcionar de forma rotativa y con respaldo de emergencia, para ello, se establece las tuberías para la línea de succión e impulsión, los accesorios hidráulicos necesarios, el diseño de las instalaciones eléctricas, y la selección de componentes para fabricar los tableros de control con sistema automático para el funcionamiento de los equipos de bombeo.

RECOMENDACIONES

Se recomienda a la entidad que ejecuta el proyecto, evalúe utilizar una máquina perforadora diamantina para la realización del pozo piloto, teniendo en cuenta el costo para reducir los tiempos de ejecución y realice el diseño de las redes de distribución de tuberías que conecten las estaciones de bombeo PEEPS-02, PEEPS-03 y el reservorio R-4, con la finalidad de identificar y evitar los puntos de golpe de ariete.

La entidad que opere el proyecto, debe evaluar la opción del monitoreo a distancia, ya que los equipos de automatización seleccionados, ofrecen la posibilidad de conexión a la red por medio de la compra de hardware y software asociados, no evaluados en la presente investigación ya que se considera contar con un operario las 24 horas.

También se recomienda que, para la contratación del personal operario de la estación de bombeo, debe tener en su perfil, conocimientos básicos en mantenimiento mecánico y eléctrico, además se tiene que realizar inducciones en temas de operación, mantenimiento, seguridad y medio ambiente de la estación de bombeo; y brindarles los equipos de protección personal necesarios, establecer las

herramientas de gestión de seguridad y otros requisitos para dar cumplimiento a la Ley N° 29783 y a la Ley N° 28611.

Cuando se realice el mantenimiento preventivo o parada por mantenimiento correctivo del pozo profundo PEEPS-02, la cisterna de la estación de bombeo se vea alimentada por el caudal del pozo profundo PEEPS-03.

Los trabajos de inspección y mantenimiento de la subestación eléctrica deben ser realizados por una empresa especializada, que debe coordinar entre la empresa contratista, la empresa prestadora de suministro eléctrico y la empresa que opere el proyecto, por lo menos, con un mes de anticipación, por ser una labor de mantenimiento crítica en donde se deben programar simultáneamente otras actividades de mantenimiento dentro de la estación de bombeo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Auge, M. (2005). *Perforaciones hidrogeológicas*. Buenos Aires: Pilar.

Bellido, A. (2004). *Manual de perforación manual de pozos y equipamiento con bombas manuales*. Lima: Autor.

Castillo, P. (2000). *Montaje y diseño de instalaciones eléctricas interiores en edificaciones*. Tacna: Autor.

Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento Tacna S.A. (2013a), *Expediente técnico: Reubicación del pozo Sobraya II del distrito de Pocollay - Tacna*. Tacna: Autor.

Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento Tacna S.A. (2013b), *Expediente técnico: Reubicación del pozo Sobraya IV del distrito de Pocollay - Tacna*. Tacna: Autor.

Instituto Geológico y Minero de España. (2003). *Manual de perforación y voladura de rocas*. Madrid: Autor.

Hernández, M.; Llamas, M. y Cruces, J. (1998). *Jornadas sobre la contaminación de las aguas subterráneas: un problema pendiente*. Valencia: AIH-GE.

Hidrostral S.A. (2014). *Manual del usuario de bombas sumergibles*. Lima: Autor.

Hydrogeological y Geotechnical Services PERÚ S.A. (2012). *Estudio hidrogeológico para la perforación de 04 pozos con fines de uso poblacional*. Lima: Autor.

Koutoudjian, J. (2005). *Curso de Hidrología y Diseño de Captaciones de Aguas Superficiales y Meteóricas. Estaciones de Bombeo. Operación y Mantenimiento*. Buenos Aires: Autor.

Mott, R. (1979). *Mecánica de fluidos* (6ªEd). México: Pearson Educación de México.

Ministerio de Agricultura. (2009). *Manual de montaje y desmontaje de equipos de bombeo para el aprovechamiento de aguas subterráneas*. Lima: Autor.

Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. (2012). *Manual de Aguas Subterránea*. Montevideo: Autor.

Ministerio de Desarrollo Económico. (1999). *Operación y mantenimiento de pozos profundos para acueductos*. Cali, Valle del cauca: Sena Publicaciones

Ordoñez, J. (2011). *Cartilla técnica: aguas subterráneas-acuíferos*. Lima: Autor.

Organización Panamericana del Sur (2004). *Manual de perforación manual de pozos y equipamiento con bombas manuales*. Lima: Autor.

Organización Panamericana del Sur. (2005a). *Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable*. Lima: Autor.

Organización Panamericana del Sur. (2005b). *Guías para la construcción de estaciones de bombeo de agua potable*. Lima: Autor.

Ortiz, J. (2003). *Apuntes de curso de explotación de minas*. Santiago: Autor.

Roscoe Moss Company. (2004). *Guía para la selección de cañerías y rejillas para pozos de agua*. California: Autor.

Servicio Nacional de Adiestramiento en Trabajo Industrial. (2000). *Automatización de motores eléctricos por contactores*. Tacna: Autor.

Automatismo industrial (2017). *El variador de frecuencia*. Recuperado de: <https://automatismoidustrial.com/d-automatizacion/1-7-arrancadores-electronicos-y-variadores-de-velocidad/el-variador-de-frecuencia/>

BLOG METALISTERIA (2011). *Preparación técnica de una junta soldable en el proceso smaw con electrodo revestido*. Recuperado de: <http://tuberiasoldadura.blogspot.pe/>

Bombas Alemanas S.A. (2016). *Bombas sumergibles*. Recuperado de: <http://bamsa.com.mx/wp-content/uploads/2014/10/Carpeta-Tecnica-BAMSA.pdf>

Construcción Civil (2010). *Recursos hídricos subterráneos en Perú*. Recuperado de: <http://www.elconstructorcivil.com/2011/01/resistencia-y-extraccion-de-las-rocas.html>

EPS TACNA S.A. (2012). *Sistema de tratamiento de agua potable resumen*. Recuperado de http://www.epstacna.com.pe/eps-pw/getf.v2.php?t=pdf&f=admin/dbfiles/public.det_contenido/1360153291.pdf

EPS TACNA S.A. (2016). *Plan Maestro Optimizado Actualizado 2013-2043*. Recuperado de: <http://www.sunass.gob.pe/websunass/index.php/indicadores-de-desempeno/20-sunass/eps/63-planes-maestros-optimizados-pmo>

CERDA PERFORACIONES (2018). *Construcción de pozos profundos*. Recuperado de: <http://cerdap perforaciones.cl/servicios/contruccion-de-pozos-profundos/>

FPS (2010). *Manual de ingeniería de bombas industriales e irrigación* (pp.11-12). Lima: Autor. Recuperado de <https://franklinelinkmx.files.wordpress.com/2010/04/mi1008-fps-ii-manual-de-ingenieria.pdf>

INEI (2016). *Población 2000 al 2015*. Recuperado de: <http://proyectos.inei.gob.pe/web/poblacion/>

Legislación Ambiental SPDA. (2016). *Aguas subterráneas*. Recuperado de: http://www.legislacionambientalspda.org.pe/index.php?option=com_content&view=article&id=237&Itemid=4126

PERU21 (2016). *Tacna solo recibe la mitad del agua que necesita*. Recuperado de <http://peru21.pe/actualidad/tacna-solo-recibe-mitad-agua-que-necesita-2242847>

POLIMETALES S.A.C. (2016). *Catálogo de productos*. Recuperado de:
<http://www.polimetales.com/wp-content/uploads/2015/09/Catalogo-Polimetales-2015-web1.pdf>

Proyecto Especial Tacna. (2016). *Plan operativo 2016*. Recuperado de
<http://www.pet.gob.pe/media/Transp/2016-270-plan-operativo-institucional-poi-2016-453a63e263.pdf>

Wikipedia. (2010). *Subestación eléctrica*. Recuperado de:
https://es.wikipedia.org/wiki/Subestaci%C3%B3n_el%C3%A9ctrica

Wikipedia. (2014). *Perforadora de pozos de agua T3W*. Recuperado de:
<http://www.atlascopco.com.pe/pees/products/-t3wdh-perforadora-de-pozos-de-agua/product/1511720/>

ANEXOS

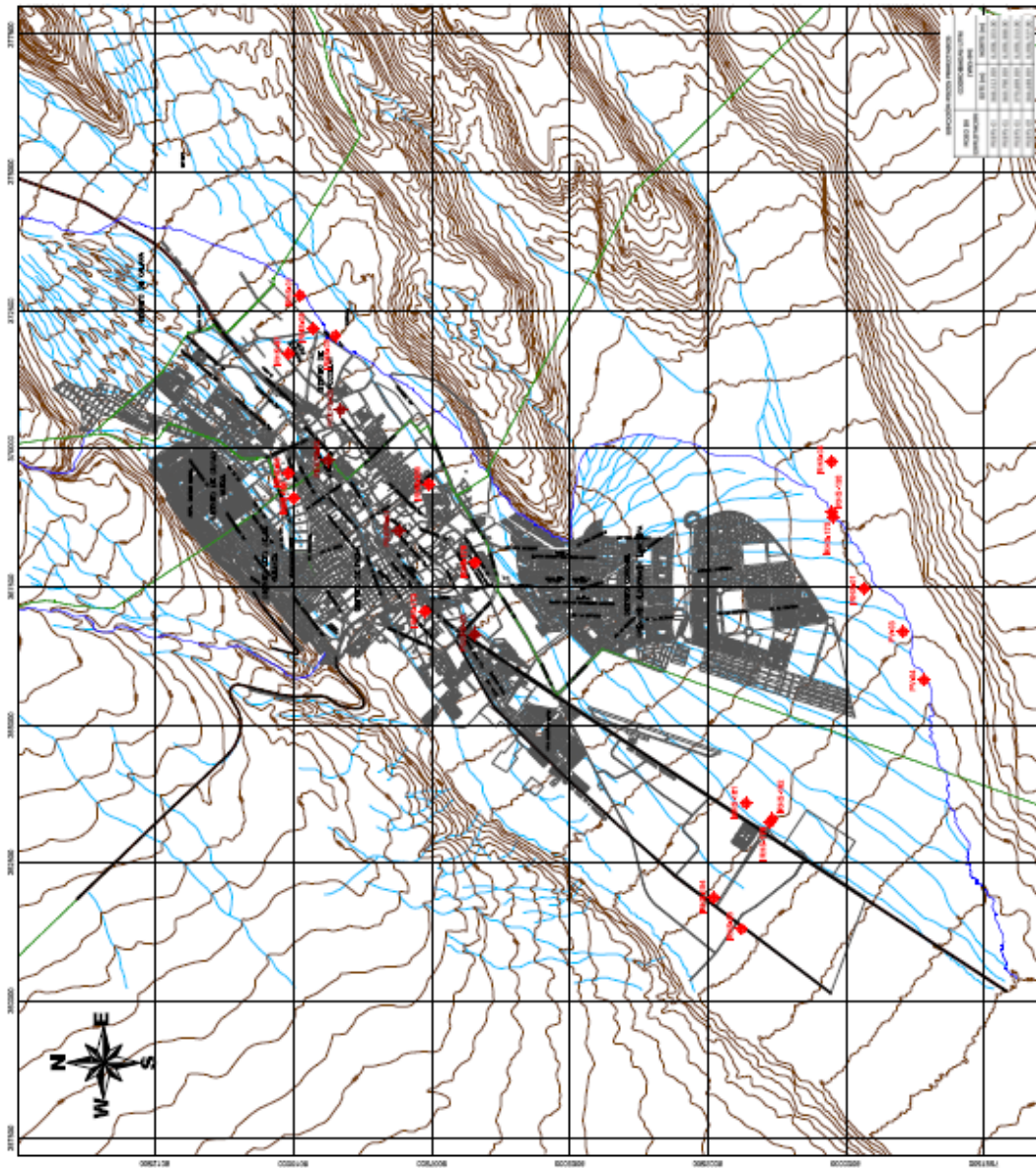
Anexo 1. Inventario de fuentes de agua subterránea.

PROYECTO : Estudio Hidrogeológico para la perforación de 04 pozos con fines de uso poblacional
 PROCEDENCIA : Cuercia Capilina - Zona Urbana
 FECHA DE INVENTARIO : Setiembre - 2012

IRHS	NOMBRE DEL POZO	COORDENADAS		COTA	PERFORACION			EQUIPO DE BOMBEO				NIVELES DE AGUA Y CAUDAL						EXPLOTACION										
		ESTE	NORTE		TIPO	AÑO	PROF. Inic. (m)	PROF. Ast. (m)	DIAMETRO (m)	MOTOR		BOMBA		P.R. SUELO (m)	FECHA	EN POZO (m)	PROF (m)	CAUDAL (l/s)	N. DINAMICO PROF. (m)	C.E. (u/s/m)	ESTADO DEL POZO	USO	REMEN					
										MARCA	HP	MARCA	TIPO										TD	USO	1	2	3	
IRHS 01	Soterra 01	372,778	8,009,889	708	T	1967	185	-	-	-	-	-	0.48	-	06/00/2012	82.31	82.31	623.49	-	-	1210	Operativo	-	-	-	-	-	-
IRHS 03	E.F.S. Tercia	372,198	7,994,488		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	06/00/2012	-	-	0.00	-	-	-	Operativo-ph	-	-	-	-	-	-
IRHS 06	Soterra 06	372,109	8,009,855	607	T	1999	182	-	-	SM	E	-	-	0.51	-	-	-	497.00	B	-	-	Operativo	D	54	T	12	252386.00	
IRHS 07	Soterra 07 - Finca Pavi	371,717	8,010,007	682	T	-	-	-	-	SM	E	-	-	0.48	-	06/00/2012	83.50	83.30	598.50	-	-	1282	Operativo	-	-	-	-	-
IRHS 05	Invernes Rojas S.A.C	369,553	8,016,101	629	T	1988	130	-	-	-	-	-	-	0.48	-	07/00/2012	81.36	80.36	557.64	-	-	1952	Operativo	-	-	-	-	-
IRHS 173	Hospital Hipólito Unzué	367,658	8,007,428	551	T	89	120	120.00	0.38	-	-	-	-	0.38	-	07/00/2012	78.48	78.48	472.52	-	-	1758	Operativo	-	-	-	-	-
IRHS 209	Cuercia Tercera	369,398	8,007,557	594	T	2000	-	-	-	PLACA ILESABLE	E	-	-	0.49	-	07/00/2012	86.54	85.24	498.49	-	102.3	483.7	Operativo	D	8	T	12	-
IRHS 179	Univ. Nacional Jorge Basadre	367,935	8,006,722	550.8	T	89	-	-	-	SM	E	-	-	0.48	-	07/12/2012	0.5	-	-	-	-	-	Operativo-ph	-	-	-	-	-
IRHS 180	Finca España S.R.L (Companion edc)	369,103	8,010,008		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	07/12/2012	-	-	-	-	-	-	Operativo-ph	-	-	-	-	-	
IRHS 03	Comisión de Riego Magajo	361,304	8,001,695	397	T	1907	150	-	-	U.S ELECTRIC AL MOTOR	E	75	B.J.	TV	8"	08/00/2012	44.50	44.10	325.50	20	81	288.8	Operativo	R	10	T	12	420480.00
IRHS 154	Junta de usuarios Magajo	361,672	8,002,398	375	T	1978	180	50.56	0.48	-	-	-	-	-	-	08/00/2012	45.75	45.75	339.25	-	-	-	Operativo	-	-	-	-	-
IRHS 01	PIV-3 Villani	367,468	7,998,874	402	T	2000	-	-	-	SM	E	200	SM	8"	08/00/2012	44.65	43.80	337.65	78	78	316.25	Operativo	D	54	T	12	245868.00	
IRHS 175	PIV-1 Villani	366,102	8,000,340	414	T	2000	-	-	-	SM	E	-	SM	8"	08/00/2012	74.08	73.82	339.82	90.0	-	-	1481	Operativo	-	-	-	-	2838260.00
PIV-3	PIV-3 Villani	366,683	7,998,948	381	T	2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	08/00/2012	51.69	51.44	339.31	-	-	-	Operativo	-	-	-	-	-
PIV-4	PIV-4 Villani	365,608	7,998,590	364	T	2000	-	-	-	SM	E	-	SM	8"	08/00/2012	49.23	48.88	314.77	-	-	-	Operativo	-	-	-	-	-	
IRHS 158	Pozo - 16	368,849	8,000,154	419	T	1978	115	100.00	0.48	-	-	-	-	-	-	10/00/2012	75.22	74.92	334.78	-	-	-	Operativo	-	-	-	-	-
IRHS 04	Asoc. Valle 2000 - B21	369,703	8,002,291	423	T	2002	150	-	-	FRANKLIN	E	30	MEYERS	8"	10/00/2012	6.6	77.85	78.85	345.75	11	-	-	Operativo	R	8	T	12	344890.00
IRHS 170	Pozo N°3-Zona Tercera	363,235	8,001,380	386	T	1999	148.00	-	-	SM	E	-	SM	8"	10/00/2012	0.0	49.32	48.52	336.48	20.0	83.24	315.62	Operativo	R-O	11	S	12	206490.00
IRHS 181	Zona 03	362,593	8,001,818	397	T	-	-	-	-	SM	E	-	SM	8"	10/00/2012	0.3	57.16	56.88	336.84	-	-	-	Operativo	R-O	5	8	12	-
IRHS 182	Zona Tercera	363,035	8,001,325	375.8	T	1922	150	20.00	0.48	SM	E	-	SM	8"	10/00/2012	0.3	53.92	53.82	334.88	-	-	-	Operativo	-	-	-	-	-

Fuente : HSS PERU S.A.
 T = Tubular E = Eléctrico SM = Sin marca
 T.A. = Tajo Abierto D = Diesel TV = Tubería Vertical
 M = Mixto G = Gasolero S = Sumergible
 D = Doméstico R = Riego

Anexo 2. Mapa de ubicación de fuentes de agua subterránea.



Anexo 3. Resolución Jefatural N°488-2013-ANA

507020

 **NORMAS LEGALES**

El Peruano
Jueves 14 de noviembre de 2013

Dictan disposiciones para garantizar la atención de las demandas de uso de agua con fines poblacionales de la provincia de Tacna, con recursos hídricos provenientes del acuífero del valle del río Caplina

RESOLUCIÓN JEFATURAL N° 488-2013-ANA

Lima, 13 de noviembre de 2013

VISTO:

El Informe Técnico N° 082-2013-ANA-DCPRH-ERH-ASUB-HAC de la Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos; y,

CONSIDERANDO

Que, mediante Decreto Supremo N° 065-2006-AG se declaró veda y prohibió ejecutar todo tipo de obra destinada a la explotación de recursos hídricos subterráneos del acuífero del valle del río Caplina;

Que, con la entrada en vigencia de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, la Autoridad Nacional del Agua mediante Resolución Jefatural N° 327-2009-ANA ratificó en las mismas condiciones la precitada veda;

Que, según el numeral 55.3 del artículo 55° del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos aprobado por Decreto Supremo N° 01-2010-AG, cuando se declara una zona de veda la Autoridad Nacional del Agua debe dictar las medidas necesarias para la satisfacción de las demandas de uso primario y poblacional;

Que, la Autoridad Administrativa del Agua I Caplina-Ocoña viene tramitando diversos procedimientos administrativos destinados a obtener licencias de uso de agua subterránea del acuífero del valle del río Caplina para atender las demandas de agua de uso poblacional de la provincia de Tacna;

Que, en mesa de trabajo encargada de analizar la problemática hídrica de la provincia de Tacna se acreditó que existe un déficit hídrico actual para atender las demandas de agua de uso poblacional que pueden ser atendidas con la ejecución de proyectos a cargo de las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento conforme a la definición prevista en la Ley N° 26338, Ley General de Servicios de Saneamiento y la Ley N° 30045, Ley de Modernización de los Servicios de Saneamiento; así como del Proyecto Especial Tacna;

Que, en consecuencia, estando a lo expresado en los considerandos precedentes y a lo señalado en el informe del visto, resulta necesario dictar las medidas para la satisfacción de las demandas de uso de agua con fines poblacionales de la provincia Tacna; y,

Estando a lo opinado por la Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos, con los vistos de la Oficina de Asesoría Jurídica y la Secretaría General, y en uso de las facultades conferidas por el artículo 11° del Reglamento de Organización y Funciones de la Autoridad Nacional del Agua aprobado por Decreto Supremo N° 006-2010-AG.

SE RESUELVE:

Artículo 1°.- Objeto

La presente resolución tiene por objeto dictar disposiciones para garantizar la atención de las demandas de uso de agua con fines poblacionales de la provincia de Tacna, con recursos hídricos provenientes del acuífero del valle del río Caplina, declarado en veda con Decreto Supremo N° 065-2006-AG, ratificada con Resolución Jefatural N° 327-2009-ANA.

Artículo 2°.- Excepciones a la veda del acuífero del valle del río Caplina

2.1 Autorización de perforación pozos de reemplazo

La Autoridad Administrativa del Agua I Caplina Ocoña podrá autorizar a las Entidades Prestadoras

de Servicios de Saneamiento comprendidas en el ámbito urbano de la provincia de Tacna, la perforación de pozos de reemplazo cuyas solicitudes hayan sido presentadas con anterioridad a la vigencia de la presente resolución, siempre que se cumpla con las siguientes condiciones:

- El pozo materia de reemplazo se encuentre inhabilitado por pérdida de verticalidad, haber alcanzado su vida útil o deterioro de la estructura por colapso.
- El objeto, régimen de explotación y volumen de uso de agua del nuevo pozo deben ser los mismos a los otorgados para el pozo materia de reemplazo.
- La ubicación del nuevo pozo no deberá exceder al radio de influencia del pozo materia de reemplazo. En caso que supere el radio de influencia se requiere la opinión previa favorable de la Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua.
- No se autorizará el reemplazo de un pozo sellado por disposición de la Autoridad Nacional del Agua.
- Las establecidas en el numeral 2.3 del presente artículo

2.2 Autorización de perforación de nuevos pozos

La Autoridad Administrativa del Agua I Caplina Ocoña podrá autorizar a las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento comprendidas en el ámbito urbano de la provincia de Tacna la perforación de nuevos pozos, cuyas solicitudes hayan sido presentadas con anterioridad a la vigencia de la presente resolución, siempre que se cumpla con las condiciones establecidas en el numeral 2.3 del presente artículo.

2.3 Volumen máximo a otorgarse con fines poblacionales

El volumen máximo de agua a otorgarse con fines poblacionales a mérito de lo dispuesto en la presente resolución no excederá los 2.36 Hm³ anuales, el cual comprende la sumatoria de los volúmenes previstos para atender los requerimientos establecidos en los numerales 2.1 y 2.2 del presente artículo.

La Autoridad Administrativa del Agua I Caplina Ocoña atenderá favorablemente las solicitudes que a la fecha de publicación de la presente resolución se encuentren en trámite, únicamente hasta alcanzar el volumen señalado en el párrafo precedente.

Artículo 3°.- Reserva de Uso de Aguas Residuales

Las aguas residuales que se generen producto del ejercicio de las licencias de uso de agua otorgadas a las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento comprendidas en el ámbito urbano de la provincia de Tacna, deberán ser tratadas y utilizadas en la recarga del acuífero del valle Caplina, para cuyo efecto la citada entidad deberá presentar el expediente técnico para su reserva en un plazo no mayor de tres (3) meses computados a partir de la publicación de la presente resolución.

Artículo 4°.- Obligaciones a cargo de la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento

En un plazo no mayor de quince (15) días, computados a partir de la publicación de la presente resolución, las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento comprendidas en el ámbito urbano de la provincia de Tacna, deberán presentar a la Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua, el Plan de Inversiones aprobado para garantizar la atención de las demandas de uso de agua poblacional de la provincia de Tacna en el marco de lo acordado en la Mesa de Trabajo señalada en el quinto considerando.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

JORGE LUIS MONTENEGRO CHAVESTA
Jefe
Autoridad Nacional del Agua

1014020-1

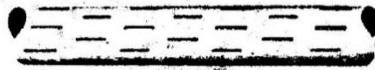
Anexo 4. Dosificaciones para diferentes elementos estructurales de concreto

ELEMENTO ESTRUCTURAL	TIPO	f _c Resistencia a 28 días Kg/cm ²	TAMAÑO DE PIEDRA	PESO					
				CEMENTO Kg (bolsas)	AGUA (Litros)	ARENA Kg	PIEDRA Kg	HORMIGÓN Kg	
1- CIMIENTO	1.1- CIMIENTO CORRIDO								
	1.1.1- CON ADICIÓN DE PIEDRA GRANDE (8")	100	1"	242 (5.7)	171	774	1,170	--	
		100	--	242 (5.7)	178	--	--	1,885	
	1.1.2- CON ADICIÓN DE PIEDRA MEDIANA (6")	140	1"	283 (6.7)	196	640	1,205	--	
		140	--	283 (6.7)	200	--	--	1,792	
	1.2- FALSA ZAPATA								
	1.2.1- CON ADICIÓN DE PIEDRA MEDIANA (6")	140	1"	283 (6.7)	196	640	1,205	--	
	1.3- ZAPATA CON O SIN REFUERZO	175	1"	317 (7.5)	204	816	1,029	--	
2- SOBRECIMIENTO	2.1- SOBRECIMIENTO								
	2.1.1- CON ADICIÓN DE PIEDRA MEDIANA (6")	140	1"	283 (6.7)	196	640	1,205	--	
		140	--	283 (6.7)	200	--	--	1,792	
	2.1.2- CONCRETO SIMPLE	140	1"	283 (6.7)	196	640	1,205	--	
		175	1"	317 (7.5)	204	816	1,029	--	
	175	3/4"	324 (7.6)	209	829	993	--		
	2.1.3- SOBRECIMIENTO REFORZADO	175	1"	317 (7.5)	204	816	1,029	--	
		175	3/4"	324 (7.6)	209	829	993	--	
3- ELEMENTOS VERTICALES	3.1- COLUMNAS Y PLACAS								
		210	1"	375 (8.8)	230	735	1,035	--	
		210	3/4"	385 (9.1)	235	780	955	--	
		210	1/2"	388 (9.1)	237	849	841	--	
		280	1"	443 (10.4)	222	629	990	--	
		280	3/4"	460 (10.8)	230	655	924	--	
		280	1/2"	463 (10.9)	232	730	810	--	
		3.2- MUROS DE CONTENCIÓN							
		3.2.1- DE CONCRETO CICLÓPEO							
		3.2.1.1- CON ADICIÓN DE PIEDRA GRANDE (8")	140	1"	283 (6.7)	196	640	1,205	--
		3.2.1.2- CON ADICIÓN DE PIEDRA MEDIANA (6")	175	1"	317 (7.5)	204	816	1,029	--
		3.2.2- DE CONCRETO REFORZADO	175	1"	317 (7.5)	204	816	1,029	--
			210	1"	375 (8.8)	230	735	1,035	--
			210	3/4"	385 (9.1)	235	780	955	--
			280	1"	443 (10.4)	222	629	990	--
		280	3/4"	460 (10.8)	230	655	924	--	
		280	1/2"	463 (10.9)	232	730	810	--	
4- ELEMENTOS HORIZONTALES	4.1- FALSO PISO	100	1"	242 (5.7)	171	774	1,170	--	
		100	--	242 (5.7)	178	--	--	1,885	
	4.2- PISO	140	1"	283 (6.7)	196	640	1,205	--	
	4.3- VIGAS, LOSAS MACIZAS Y TECHOS ALIGERADOS	175	1"	317 (7.5)	204	816	1,029	--	
		210	1"	375 (8.8)	230	735	1,035	--	
		210	3/4"	385 (9.1)	235	780	955	--	
		280	1"	443 (10.4)	222	629	990	--	
		280	3/4"	460 (10.8)	230	655	924	--	
	280	1/2"	463 (10.9)	232	730	810	--		
5- ELEMENTOS INCLINADOS	5.1- GRADAS								
	5.1.1- DE CONCRETO CICLÓPEO CON ADICIÓN DE PIEDRA MEDIANA (6")	140	1"	283 (6.7)	196	640	1,205	--	
		175	1"	317 (7.5)	204	816	1,029	--	
	5.1.2- DE CONCRETO SIMPLE	175	1"	317 (7.5)	204	816	1,029	--	
	5.2- ESCALERAS REFORZADAS	175	1"	317 (7.5)	204	816	1,029	--	
		210	1"	375 (8.8)	230	735	1,035	--	
		210	3/4"	385 (9.1)	235	780	955	--	
		280	1"	443 (10.4)	222	629	990	--	
		280	3/4"	460 (10.8)	230	655	924	--	
		280	1/2"	463 (10.9)	232	730	810	--	

Fuente: Tabla de dosificaciones y equivalencias, cemento SOL, 2012.

Anexo 5.1. Tipos de ranura maquinada longitudinalmente.

TUBERIA PARA ADEME RANURA MAQUINADA LONGITUDINALMENTE TIPO II



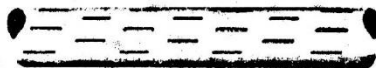
DIAMETRO		ESPESOR		PESO								No. DE RANURAS POR		AREA DE INFILTRACION SEGUN ANCHO DE RANURA					
mm.	pulg.	mm.	pulg.	mm.	3.97	mm.	4.78	mm.	6.35	pie	metro	mm.	3.97	mm.	4.78	mm.	6.35		
				pulg.	.156	pulg.	.188	pulg.	.250			pulg.	.156	pulg.	.188	pulg.	.250		
				lbs/pie	kg/mt.	lbs/pie	kg/mt.	lbs/pie	kg/mt.			pulg. ² /pie	cm. ² /mt.	pulg. ² /pie	cm. ² /mt.	pulg. ² /pie	cm. ² /m.		
219	8 5/8	4.78	.188	16.54	24.61	16.46	24.49	16.29	24.24	12.54	41.14	7.8	166	9.4	200	12.5	265		
		6.35	.250	21.83	32.49	21.72	32.32	21.50	31.99										
		7.04	.277	24.11	35.88	23.98	35.69	23.74	35.33										
273	10 3/4	4.78	.188	20.76	30.89	20.66	30.75	20.47	30.47	14.63	48.00	9.14	194	11.0	233	14.6	310		
		6.35	.250	27.44	40.84	27.32	40.65	27.07	40.28										
		7.09	.279	30.53	45.43	30.39	45.22	30.11	44.81										
324	12 3/4	4.78	.188	24.67	36.72	24.55	36.54	24.33	36.20	11.49	37.71	10.8	228	12.9	275	17.2	365		
		6.35	.250	32.85	48.59	32.49	48.35	32.19	47.90										
		7.14	.281	36.60	54.47	36.42	54.20	36.08	53.70										
356	14	4.78	.188	27.07	40.29	26.94	40.09	26.67	39.69	13.58	44.57	12.8	270	15.3	326	20.4	431		
		6.35	.260	35.84	53.34	35.66	53.07	35.30	52.53										
		7.94	.312	44.52	66.26	44.30	65.92	43.85	65.25										
406	16	4.78	.188	31.05	46.21	30.90	45.98	30.61	45.55	14.63	48.00	13.7	290	16.4	350	22.0	465		
		6.35	.250	41.12	61.19	40.92	60.89	40.53	60.32										
		7.94	.312	51.12	76.07	50.85	75.68	50.38	74.97										
457	18	4.78	.188	35.01	52.10	34.85	51.86	34.54	51.40	15.68	51.43	14.7	311	17.6	375	23.5	498		
		6.35	.250	46.39	69.04	46.18	68.73	45.77	68.11										
		7.94	.312	57.69	85.85	57.43	85.46	56.91	84.69										
508	20	5.56	.219	45.28	67.39	45.07	67.07	44.66	66.46	17.76	58.28	16.7	353	20.0	425	26.6	564		
		6.35	.250	51.60	76.79	52.03	76.43	50.89	75.73										
		7.94	.312	64.19	95.52	66.88	95.07	63.30	94.20										

Distancia de la boca del tubo a la primera ranura. 15 cms. aprox. (6'pulg)
 Longitud: 6 metros aprox. (20 pies aprox.)
 Para longitudes especiales favor de consultar con el departamento de ventas.

Fuente: Estándar de fabricación tubería para ademe ranurado maquinada longitudinalmente tipo II, III y IV, Norma API 5CT, Zhongkuang Steel Pipe Co., 2010.

Anexo 5.2. Tipos de ranura maquinada longitudinalmente.

TUBERIA PARA ADEME RANURA MAQUINADA LONGITUDINALMENTE TIPO III



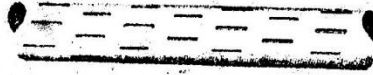
DIAMETRO	ESPESOR		PESO						No. DE RANURAS POR		AREA DE INFILTRACION SEGUN ANCHO DE RANURA									
	mm.	pulg.	mm.	pulg.	mm.	3.97	mm.	4.78	mm.	6.35	pie	metro	mm.	.197	mm.	4.78	mm.	6.35		
			pulg.	.156	pulg.	.188	pulg.	.250					pulg.	.156	pulg.	.188	pulg.	.250		
			lbs/pie	kg/mt.	lbs/pie	kg/mt.	lbs/pie	kg/mt.	pulg. ² /pie	cm ² /mt.	pulg. ² /pie	cm ² /mt.	pulg. ² /pie	cm ² /mt.	pulg. ² /pie	cm ² /mt.	pulg. ² /pie	cm ² /mt.		
168	8 5/8	4.78	.188	12.57	18.70	12.49	18.59	12.34	18.37	4.87	15.99			7.3	155	9.7	206			
		6.35	.250	16.55	24.63	16.45	24.48	16.26	24.19											
		7.11	.280	18.45	27.45	18.34	27.29	18.12	26.97											
219	8 5/8	4.78	.188	16.43	24.45	16.33	24.30	16.12	23.99	15.68	51.43	9.8	207	11.8	250	5.6	332			
		6.35	.250	21.89	32.28	21.55	32.07	21.27	31.66											
		7.04	.277	23.96	35.65	23.80	35.42	23.49	34.96											
273	10 3/4	4.78	.188	20.60	30.66	20.47	30.47	20.23	30.10	18.81	61.71	11.8	249	14.1	300	18.8	398			
		6.35	.250	27.24	40.53	20.07	40.28	26.74	39.79											
		7.09	.279	30.30	45.09	30.10	44.80	29.73	44.25											
324	12 3/4	4.78	.188	24.51	36.48	24.37	36.26	24.08	35.83	14.63	48.00	13.7	290	16.4	350	22.0	485			
		6.35	.250	32.44	48.28	32.24	47.98	31.86	47.41											
		7.14	.281	38.37	54.12	35.39	53.47	35.71	53.14											
356	14	4.78	.188	26.87	39.98	26.68	39.71	26.33	39.19	17.76	58.28	16.7	353	20.0	425	26.6	564			
		6.35	.250	35.57	52.93	35.67	53.09	34.86	51.87											
		7.94	.312	44.18	65.75	43.88	65.30	43.30	64.44											
406	16	4.78	.188	30.79	45.82	30.59	45.52	30.19	44.93	19.85	65.14	18.6	394	22.3	475	29.8	630			
		6.35	.250	40.77	60.67	40.50	60.27	39.98	59.49											
		7.94	.312	50.68	75.42	50.34	74.91	49.69	73.94											
457	18	4.78	.188	34.69	51.63	34.47	51.30	34.04	50.65	21.95	72.00	20.6	436	24.7	524	32.9	697			
		6.35	.250	45.98	68.43	45.68	67.98	45.10	67.12											
		7.94	.312	57.18	85.09	56.80	84.53	56.08	83.46											
508	20	5.56	.219	44.86	66.76	44.56	66.31	43.98	65.45	25.08	82.28	23.5	498	28.2	599	37.6	786			
		6.35	.250	51.12	76.07	50.77	75.56	50.12	74.58											
		7.94	.312	63.58	94.62	63.18	93.99	62.33	92.76											

Distancia de la boca del tubo a la primera ranura. Longitud: 6 metros aprox. Para longitudes especiales favor de consultar con el departamento de ventas.
 ranura. 15 cms. aprox. (6" Pulg.) (20 pies aprox.)

Fuente: Estándar de fabricación tubería para ademe ranurado maquinada longitudinalmente tipo II, III y IV, Norma API 5CT, Zhongkuang Steel Pipe Co., 2010.

Anexo 5.3. Tipos de ranura maquinada longitudinalmente.

TUBERIA PARA ADEME RANURA MAQUINADA LONGITUDINALMENTE TIPO IV



DIAMETRO		ESPESOR		PESO						No. DE RANURAS POR		AREA DE INFILTRACION SEGUN ANCHO DE RANURA						
mm.	pulg.	mm.	pulg.	mm.	3.97	mm.	4.78	mm.	6.35	pie	metro	mm.	3.97	mm.	4.78	mm.	6.35	
				pulg.	.156	pulg.	.188	pulg.	.250			pulg.	.156	pulg.	.188	pulg.	.250	
				lbs/pie	kg/mt.	lbs/pie	kg/mt.	lbs/pie	kg/mt.			pulg. ² /pie	cm. ² /m.	pulg. ² /pie	cm. ² /m.	pulg. ² /pie	cm. ² /m.	
219	8 5/8	4.78	.188	16.12	23.99	15.95	23.74	15.62	23.24	25.09	82.28	15.6	331	18.9	400	25.1	531	
		6.35	.250	21.27	31.66	21.05	31.32	20.61	30.67									
		7.04	.277	23.49	34.96	23.24	34.59	22.75	33.86									
273	10 3/4	4.78	.188	20.19	30.04	19.96	29.71	19.56	29.11	31.35	102.85	19.6	415	23.6	499	31.4	664	
		6.35	.250	26.68	39.71	26.40	39.29	25.85	38.47									
		7.09	.279	29.68	44.17	29.36	43.69	29.42	43.78									
324	12 3/4	4.78	.188	24.05	35.79	23.80	35.42	23.32	34.71	24.04	78.86	22.5	477	27.1	574	36.0	763	
		6.35	.250	31.82	47.35	31.49	46.86	30.86	45.92									
		7.14	.281	35.67	53.08	35.30	52.53	34.58	51.46									
356	14	4.78	.188	26.35	39.21	26.06	38.78	25.50	37.95	28.22	92.57	26.5	560	31.8	674	42.3	896	
		6.35	.250	34.88	51.90	34.49	51.33	33.75	50.22									
		7.94	.312	43.32	64.47	42.84	63.75	41.91	62.37									
406	16	4.78	.188	30.16	44.88	29.83	44.39	29.19	43.44	32.39	106.28	30.4	643	36.6	774	48.61	1029	
		6.35	.250	39.94	59.44	39.50	58.78	38.65	57.51									
		7.94	.312	49.64	73.87	49.09	73.05	48.03	71.47									
457	18	4.78	.188	33.96	50.54	33.59	49.99	32.87	48.91	36.58	120.00	34.3	726	41.3	874	54.86	1161	
		6.35	.250	45.01	66.98	44.51	66.24	43.55	64.81									
		7.94	.312	55.97	83.29	55.34	82.36	54.14	80.57									
508	20	5.56	.219	43.95	65.40	43.46	64.68	42.52	63.28	40.75	133.71	38.2	809	46.0	974	61.1	1294	
		6.35	.250	50.08	74.52	49.52	73.70	48.45	72.10									
		7.94	.312	62.29	92.69	61.59	91.66	60.26	89.67									

Distancia de la boca del tubo a la primera ranura. 15 cms. aprox. (6" Pulg. aprox.)
 Longitud: 6 metros aprox. (20 pies aprox.)
 Para longitudes especiales favor de consultar con el departamento de ventas.

Fuente: Estándar de fabricación tubería para ademe ranurado maquinada longitudinalmente tipo II, III y IV, Norma API 5CT, Zhongkuang Steel Pipe Co., 2010.

Anexo 6. Tabla de selección para abrazadera de anclaje.

Casing O.D.	A	B	C	D	E	F	G	H	Allowable Wt. Tons
6-5/8	5/8	6	22-9/16	8	11/16	4	3	7-7/8	18
8-5/8	5/8	6	28-27/32	8	11/16	4	3	9-7/8	16
10-3/4	3/4	6	35-7/8	8	15/16	4	3	12-1/4	17
	3/4	8	35-7/8	8	15/16	4	5	12-1/4	31
12-3/4	3/4	6	42-5/32	8	15/16	4	3	14-1/4	16
	3/4	8	42-5/32	8	15/16	4	5	14-1/4	28
14	3/4	8	46-3/32	8	1-1/16	4	5	15-1/2	26
	1	8	46-25/32	8	1-1/16	4	5	16	35
14-1/2	3/4	8	46-25/32	8	1-1/16	4	5	16	26
	1	8	48-3/8	8	1-1/16	4	5	16-1/2	34
16	3/4	8	52-3/8	8	1-1/16	4	5	17-1/2	24
	1	8	53-1/16	8	1-1/16	4	5	18	32
	1	10	53-1/16	8	1-1/16	6	3-1/2	18	50
16-5/8	3/4	8	54-11/32	8	1-1/16	4	5	18-1/8	23
	1	8	55-1/32	8	1-1/16	4	5	18-5/8	31
	1	10	55-1/32	8	1-1/16	6	3-1/2	18-5/8	49
18	3/4	12	58-21/32	8	1-1/16	6	4-1/2	19-1/2	50
	1	12	59-11/32	8	1-1/16	6	4-1/2	20	65
18-5/8	3/4	10	60-5/8	8	1-1/16	6	3-1/2	20-1/8	34
	1	10,12	61-5/16	8	1-1/16	6	3-1/2, 4-1/2	20-5/8	45, 65
20	3/4	10	65-1/8	8	1-1/16	6	3-1/2	21-1/2	32
	1	10,12	65-5/8	8	1-1/16	6	3-1/2, 4-1/2	22	43, 62
20-5/8	3/4	10	66-29/32	8	1-1/16	6	3-1/2	22-1/8	31
	1	10,12	67-19/32	8	1-1/16	6	3-1/2, 4-1/2	22-5/8	42, 60

E—Hole Diameter
F—Required
A × **B** × **C** Long-Roll to **H** O.D.
 1/2" Square × **B** Spacer
 Weld to one clamp.
 One required each end.

Fuente: Guía para la selección de cañerías y rejillas para pozos de agua, Roscoe Moss Company, 2010.

Anexo 7. Código IADC.

TIPO	Nº	DESCRIPCIÓN
PRIMER DÍGITO		
Dientes	1-X-X	Formaciones blandas.
	2-X-X	Formación del tipo medio y semiduras.
	3-X-X	Formación semiduras abrasivas.
	4-X-X	(Reservada para usos futuros.)
Insertos	5-X-X	Formaciones blandas a medias.
	6-X-X	Formaciones semiduras.
	7-X-X	Formaciones semiduras y abrasivas.
	8-X-X	Formaciones muy duras y abrasivas.
SEGUNDO DÍGITO		
	X-1-X	Muy blanda.
	X-2-X	Blandas.
	X-3-X	Duras.
	X-4-X	Muy duras.
TERCER DÍGITO		
	X-X-1	Tricono estándar de rodamientos cilíndricos abiertos.
	X-X-2	Tricono estándar de rodamientos cilíndricos abiertos y barridos exclusivamente con aire.
	X-X-3	Tricono estándar de rodamientos cilíndricos abiertos, con insertos especiales de carburo de tungsteno en el tacón exterior de los conos.
	X-X-4	Tricono estándar de rodamientos sellados.
	X-X-5	Tricono estándar de rodamientos sellados con insertos especiales de carburo de tungsteno en el tacón exterior de los conos.

Fuente: Manual de perforación y voladura de rocas, Instituto Geológico y Minero de España, 2003.

Anexo 8. Factor de fricción en la zona de turbulencia completa para tuberías de acero comercial nueva y limpia.

Tamaño de la tubería (in)	Factor de fricción <i>f_r</i>
1/2	0,027
3/4	0,025
1	0,023
1 1/4	0,022
1 1/2	0,021
2	0,019
2 1/2, 3	0,018
3 1/2, 4	0,017
5	0,016
6	0,015
8 – 10	0,014
12 – 16	0,013
18 – 24	0,012

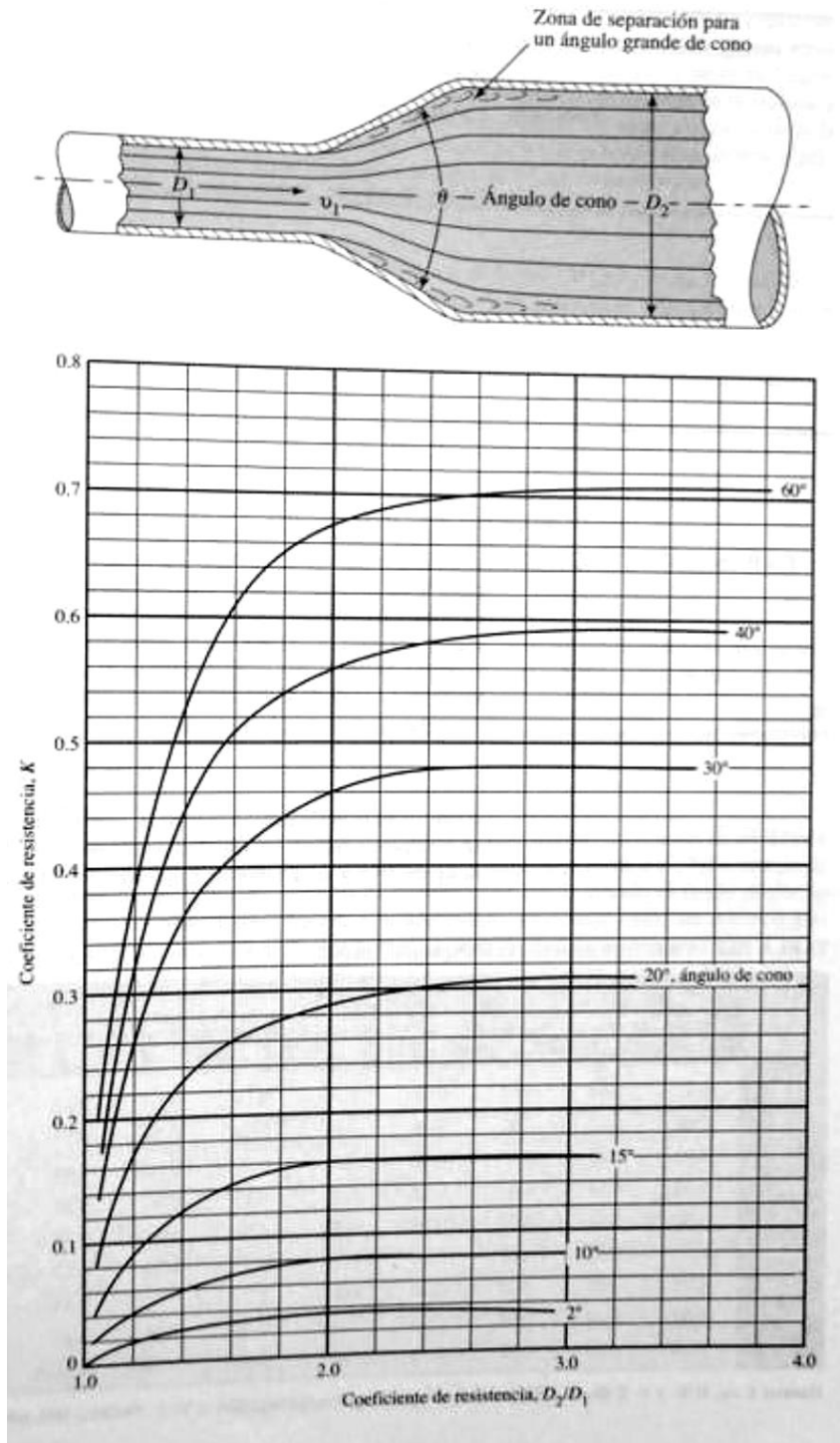
Fuente: Mecánica de fluidos, Robert L. Mott, 2006.

Anexo 9. Resistencia de válvulas y acoplamientos, expresada como longitud equivalente en diámetro de tubería Le/D .

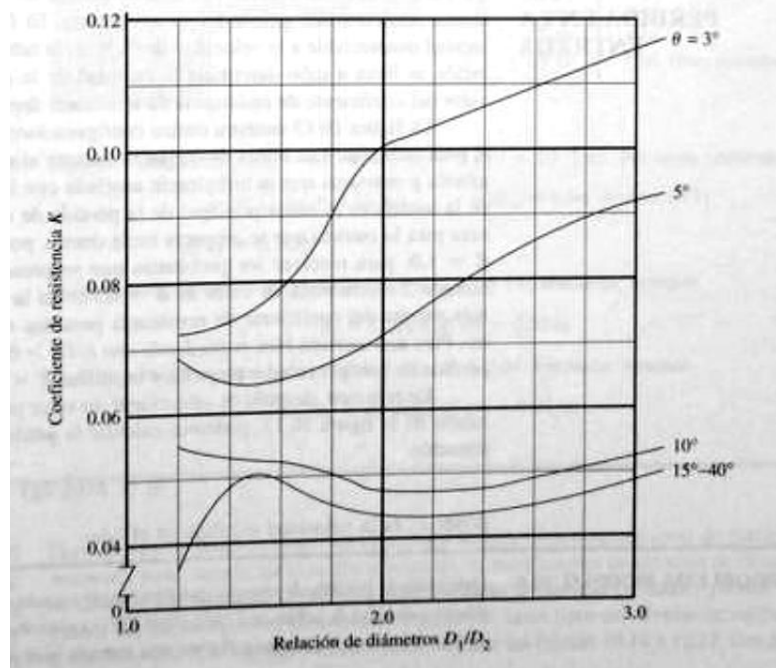
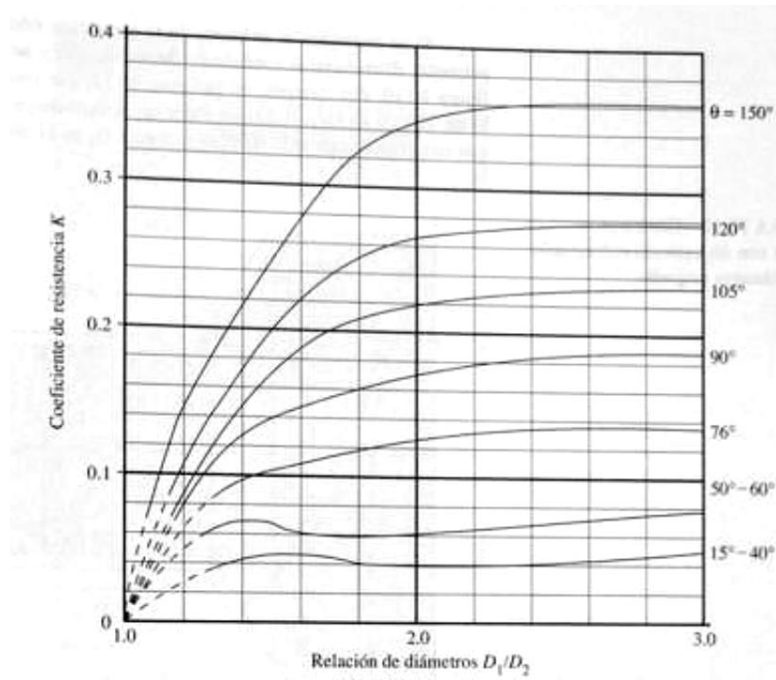
Pieza o accesorio	Longitud equivalente en diámetros de tubería Le/D
Válvula de globo – abierta por completo	340
Válvula de ángulo – abierta por completo	150
Válvula de compuerta – abierta por completo	8
- 3/4 abierta	35
- 1/2 abierta	160
- 1/4 abierta	900
Válvula de verificación – tipo giratorio	100
Válvula de verificación – tipo bola	150
Válvula de mariposa – abierta por completo	45
- 10 a 14 in	35
- 16 a 24 in	25
Válvula de pie – tipo disco de vástago	420
Válvula de pie – tipo disco de bisagra	75
Codo estándar a 90°	30
Codo a 90° de radio largo	20
Codo roscado a 90°	50
Codo estándar a 45°	16
Codo roscado a 45°	26
Vuelta cerrada en retorno	50
Tee o yee estándar – con flujo directo	20
- con flujo en el ramal	60

Fuente: Crane Valves, Signal Hill, CA., (2006).

Anexo 10.1. Coeficiente de resistencia en expansión y contracción gradual.



Anexo 10.2. Coeficiente de resistencia en expansión y contracción gradual.



Anexo 11. Diagrama de Moody.

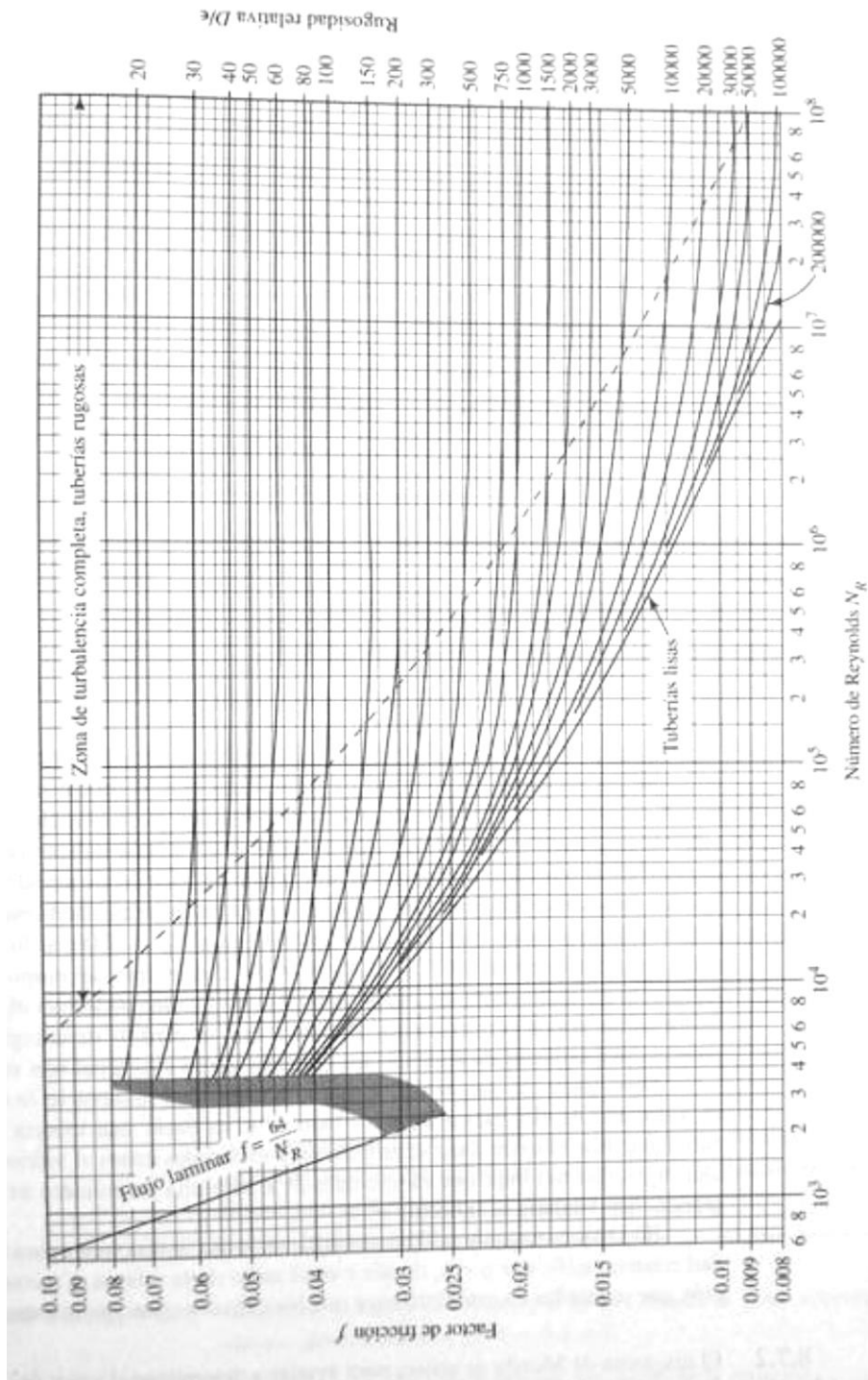


FIGURA 8.6 Diagrama de Moody. (Fuente: Pao, R. H. F. 1961. *Fluid Mechanics*. Nueva York: John Wiley e hijos, p. 284.)

Anexo 12. Propiedades del agua en unidades del sistema internacional.

Temperatura (°C)	Peso específico γ (kN/m ³)	Densidad ρ (kg/m ³)	Viscosidad dinámica η (Pa·s)	Viscosidad cinemática ν (m ² /s)
0	9.81	1000	1.75×10^{-3}	1.75×10^{-4}
5	9.81	1000	1.52×10^{-3}	1.52×10^{-4}
10	9.81	1000	1.30×10^{-3}	1.30×10^{-4}
15	9.81	1000	1.15×10^{-3}	1.15×10^{-4}
20	9.79	998	1.02×10^{-3}	1.02×10^{-4}
25	9.78	997	8.91×10^{-4}	8.94×10^{-5}
30	9.77	996	8.00×10^{-4}	8.03×10^{-5}
35	9.75	994	7.18×10^{-4}	7.22×10^{-5}
40	9.73	992	6.51×10^{-4}	6.56×10^{-5}
45	9.71	990	5.94×10^{-4}	6.00×10^{-5}
50	9.69	988	5.41×10^{-4}	5.48×10^{-5}
55	9.67	986	4.98×10^{-4}	5.05×10^{-5}
60	9.65	984	4.60×10^{-4}	4.67×10^{-5}
65	9.62	981	4.31×10^{-4}	4.39×10^{-5}
70	9.59	978	4.02×10^{-4}	4.11×10^{-5}
75	9.56	975	3.73×10^{-4}	3.83×10^{-5}
80	9.53	971	3.50×10^{-4}	3.60×10^{-5}
85	9.50	968	3.30×10^{-4}	3.41×10^{-5}
90	9.47	965	3.11×10^{-4}	3.22×10^{-5}
95	9.44	962	2.92×10^{-4}	3.04×10^{-5}
100	9.40	958	2.82×10^{-4}	2.94×10^{-5}

Fuente: Mecánica de fluidos, Robert L. Mott, 2006.

Anexo 13. Valores de diseño de la rugosidad de tubos.

MATERIAL	RUGOSIDAD ϵ (m)	RUGOSIDAD ϵ (ft)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	$3,0 \times 10^{-7}$	$1,0 \times 10^{-6}$
Tubo extruido; cobre, latón y acero	$1,5 \times 10^{-6}$	$5,0 \times 10^{-6}$
Acero, comercial o soldado	$4,6 \times 10^{-5}$	$1,5 \times 10^{-4}$
Hierro galvanizado	$1,5 \times 10^{-4}$	$5,0 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil, recubierto	$1,2 \times 10^{-4}$	$4,0 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil, no recubierto	$2,4 \times 10^{-4}$	$8,0 \times 10^{-4}$
Concreto bien fabricado	$1,2 \times 10^{-4}$	$4,0 \times 10^{-4}$
Acero remachado	$1,8 \times 10^{-3}$	$6,0 \times 10^{-3}$

Fuente: Mecánica de fluidos, Robert L. Mott, 2006.

Anexo 14. Presión nominal de servicios y prueba para tuberías (valor efectivo en bar) según la normativa DIN.

Presión Nominal PN	Presión máxima de diseño				Presión de Prueba
	I Agua $t \leq 120^{\circ}\text{C}$ Bridas y tubos	II Agua Vapor Saturado Gases $t \leq 300^{\circ}\text{C}$ Bridas y tubos	III Vapor recalentado Gases peligrosos $t \leq 350^{\circ}\text{C} - 425^{\circ}\text{C}$		
			Bridas	Tubos	
1	1	1	-	-	2
2,5	2,5	2	-	-	4
4	4	3,2	-	-	-
6	6	5	-	-	10
10	10	8	-	-	16
16	16	13	13	10	25
25	25	20	20	16	40
40	40	32	32	25	60
64	64	50	40	40	96
100	100	80	64	64	150
125	125	100	-	80	190
160	160	125	100	100	240
200	200	160	125	125	300
250	250	200	160	160	375
320	320	250	200	200	459
400	400	320	250	250	600
500	500	400	-	-	750
640	640	500	-	-	960
800	800	640	-	-	1200
1000	1000	800	-	-	1500

Fuente: Norma UNE y DIN.

Anexo 15. Diámetros nominales según la normativa ANSI.

DN		DE
[pulgadas]	[mm]	[mm]
3/8	10	17,1
1/2	15	21,3
3/4	20	26,7
1	25	33,4
1 1/4	32	42,2
1 1/2	40	48,3
2	50	60,3
2 1/2	65	73,0
3	80	88,9
4	100	114,3
5	125	141,3
6	150	168,3
8	200	219,1
10	250	273,0
12	300	323,8
14	350	355,6
16	400	406,4
20	500	508,0
24	600	609,6

Fuente: ASME B31.1.

Anexo 16. Esfuerzo admisibles “SE” [ksi] para materiales ANSI a distintas temperaturas. 1 ksi = 1000 psi; 1 psi = 6,9 kPa.

Material/°C	-20,9 to 27,78	93,33	148,89	204,44	260,00	315,56
Material/°F	-20 to 100	200	300	400	500	600
A 106 A	12	12	12	12	12	12
A 106 B	15	15	15	15	15	15
A 335 Gr P11	15	15	15	15	15	15
A 312 TP 316 L	15,7	13,3	11,9	10,8	10	9,4

Fuente: ASME B31.1, apéndices.

Anexo 17. Valores del coeficiente “y” según la temperatura.

Material/°C	482	538	593	649	Material
Ac. Ferrítico	0,4	0,7	0,7	0,7	
Ac. Austenítico	0,4	0,4	0,5	0,7	A 312 TP 316 L
Otros metales dúctiles	0,4	0,4	0,4	0,4	A106 A, A106 B, A335GrP11
Hierro colado	0,4	-	-	-	

Fuente: ASME B31.1, pág. 20, TABLE 104.1.2(A)

Anexo 18. Espesores de distintos tubos según la normativa ANSI [mm].

DN (")	(mm)	DE (mm)	ANSI	ANSI	ANSI	ANSI	ANSI	ANSI	ANSI	ANSI	ANSI	ANSI
			Sch 10	Sch 20	Sch 30	Sch 40	Sch 60	Sch 80	Sch 100	Sch 120	Sch 140	Sch 160
			Espesor	Espesor	Espesor	Espesor	Espesor	Espesor	Espesor	Espesor	Espesor	Espesor
3/8	10	17,1	-	-	-	2,31	-	3,2	-	-	-	-
1/2	15	21,3	-	-	-	2,77	-	3,73	-	-	-	4,78
3/4	20	26,7	-	-	-	2,87	-	3,91	-	-	-	5,56
1	25	33,4	2,77	-	-	3,38	-	4,55	-	-	-	6,35
1 1/4	32	42,2	2,77	-	-	3,56	-	4,85	-	-	-	6,35
1 1/2	40	48,3	2,77	-	-	3,68	-	5,08	-	-	-	7,14
2	50	60,3	2,77	-	-	3,91	-	5,54	-	-	-	8,74
2 1/2	65	73,0	3,05	-	-	5,16	-	7,01	-	-	-	9,53
3	80	88,9	3,05	-	-	5,49	-	7,62	-	-	-	11,12
4	100	114,3	3,05	-	-	6,02	-	8,56	-	11,13	-	13,49
5	125	141,3	3,4	-	-	6,55	-	9,52	-	12,7	-	15,88
6	150	168,3	3,4	-	-	7,11	-	10,97	-	14,28	-	18,26
8	200	219,1	4,78	6,35	7,04	8,18	10,31	12,7	15,09	18,26	20,62	23,01
10	250	273,0	4,19	6,35	7,8	9,27	12,7	15,09	18,26	21,44	25,4	28,58
12	300	323,8	4,57	6,35	8,38	10,31	14,27	17,48	21,44	25,4	28,58	33,33
14	350	355,6	6,35	7,92	9,52	11,13	15,09	19,05	23,83	27,79	31,75	35,71
16	400	406,4	6,35	7,92	9,52	12,7	16,66	21,44	26,19	30,96	36,53	40,49
20	500	508,0	6,35	9,52	12,7	15,09	20,62	26,19	32,54	38,1	44,45	50,01
24	600	609,6	6,35	9,52	14,27	17,47	24,61	30,96	38,89	46,03	52,37	59,54

Fuente: Norma ANSI.


Anexo 19. Diámetros interiores de los tubos según la normativa ANSI [mm].

DN (")	(mm)	DE (mm)	ANSI	ANSI	ANSI	ANSI	ANSI	ANSI	ANSI	ANSI	ANSI	ANSI
			Sch 10	Sch 20	Sch 30	Sch 40	Sch 60	Sch 80	Sch 100	Sch 120	Sch 140	Sch 160
			Dint	Dint	Dint	Dint	Dint	Dint	Dint	Dint	Dint	Dint
3/8	10	17,1	-	-	-	12,6	-	10,8	-	-	-	-
1/2	15	21,3	-	-	-	15,8	-	13,9	-	-	-	11,8
3/4	20	26,7	-	-	-	20,9	-	18,8	-	-	-	15,5
1	25	33,4	28,16	-	-	26,6	-	24,3	-	-	-	20,7
1 1/4	32	42,2	36,86	-	-	35	-	32,5	-	-	-	29,5
1 1/2	40	48,3	42,76	-	-	40,9	-	38,1	-	-	-	34
2	50	60,3	54,76	-	-	52,5	-	49,3	-	-	-	42,8
2 1/2	65	73,0	70	-	-	62,7	-	59	-	-	-	54
3	80	88,9	82,8	-	-	77,9	-	73,7	-	-	-	66,6
4	100	114,3	108,2	-	-	102,3	-	97,2	-	92	-	87,3
5	125	141,3	132,9	-	-	128,2	-	122,2	-	115,9	-	109,6
6	150	168,3	161,5	-	-	154,1	-	146,3	-	139,7	-	131,7
8	200	219,1	209,54	206,4	205,02	202,7	198,48	193,7	188,92	182,5	177,86	173,1
10	250	273,0	264,62	260,3	257,4	254,5	247,6	242,9	236,48	230,2	222,2	215,9
12	300	323,8	314,76	311,2	307,14	303,2	295,36	288,9	281,02	273	266,74	257,2
14	350	355,6	342,9	339,76	336,56	333,3	325,42	317,5	307,94	300	292,1	284,2
16	400	406,4	393,7	390,56	387,36	381	373,08	363,5	354,02	344,5	333,34	325,4
20	500	508,0	495,3	488,96	482,6	477,8	466,76	455,6	442,92	431,8	419,1	408
24	600	609,6	596,9	590,56	581,06	574,6	560,38	547,7	531,82	517,6	504,86	490,5

Fuente: Norma ANSI.


Anexo 20. Datos lumínicos de los diferentes artefactos.

Lámparas: FL 2 X 36 W IP : 65 (estanco) Conector :G13



RT	80				70				50			30			0
RP	70	50	30	10	70	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
K=0	67	67	67	67	64	64	64	64	60	60	60	55	55	55	49
1	60	56	53	51	57	54	52	49	50	48	46	46	45	43	38
2	54	49	44	40	51	47	43	39	43	40	37	40	37	35	31
3	49	42	37	33	47	41	36	32	38	34	31	35	32	29	26
4	45	37	32	28	43	36	31	27	33	29	26	31	27	25	22
5	41	33	28	24	39	32	27	23	30	25	22	28	24	21	19
6	38	30	24	21	36	29	24	20	27	22	19	25	21	18	16
7	35	27	22	18	33	26	21	18	24	20	17	23	19	16	14
8	32	24	19	16	31	24	19	16	22	18	15	21	17	15	13
9	30	22	18	14	29	22	17	14	20	16	14	19	16	13	11
10	28	21	16	13	27	20	16	13	19	15	12	18	14	12	10

Lámparas: 2 x 36 W



RT	80				70				50			30			0
RP	70	50	30	10	70	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0
K=0	65	65	65	65	63	63	63	63	60	60	60	58	58	58	54
1	59	57	55	53	58	56	54	52	54	52	50	51	50	49	46
2	54	50	47	44	53	49	46	43	47	44	42	45	43	41	39
3	50	44	40	36	48	43	39	36	42	38	35	40	37	35	33
4	45	39	34	31	44	38	34	31	37	33	30	36	33	30	28
5	42	35	30	27	41	34	30	26	33	29	26	32	29	26	24
6	38	31	27	23	37	31	26	23	30	26	23	29	25	23	21
7	36	28	24	20	35	28	24	20	27	23	20	26	23	20	19
8	33	26	21	18	32	26	21	18	25	21	18	24	21	18	17
9	31	24	19	16	30	23	19	16	23	19	16	22	19	16	15
10	29	22	18	15	28	22	17	15	21	17	15	21	17	15	14

Ambiente de trabajo	F _m
Acerías, fundiciones	0,65
Industrias de soldadura, mecanizado	0,70
Oficinas industriales, salas	0,75
Patios de operaciones, locales públicos	0,80
Despachos, oficinas comerciales, informáticas	0,85

Fuente: Montaje y diseño de instalaciones eléctricas interiores en edificaciones, Castillo, 2000.

o de instalaciones eléctricas interiores en edificaciones, Castillo, 2000.

Anexo 21. Capacidad de corriente permisible en amperes en los conductores de cobre aislado.

SECCION NOMINAL MM2	TEMPERATURA MAXIMA DE OPERACION DEL CONDUCTOR	
	60 °C TIPOS TW - MTW	75° C. TIPOS RHW - THW THWN - XHHW
0,75	6	---
1,00	8	---
1,50	10	---
2,5	18	20
4	25	27
6	35	38
10	46	50
16	62	75
25	80	95
35	100	120
50	125	145
70	150	180
95	180	215
120	210	245
150	240	285
185	275	320
240	320	375
300	355	420
400	430	490
500	490	580

Fuente: Montaje y diseño de instalaciones eléctricas interiores en edificaciones, Castillo, 2000.

o de instalaciones eléctricas interiores en edificaciones, Castillo, 2000.

Anexo 22. Sección mínima de los conductores de protección.

SECCIÓN MÍNIMA DE LOS CONDUCTORES DE PROTECCIÓN	
Capacidad nominal o ajuste del dispositivo automático de sobrecorriente	Sección nominal del conductor de protección (cobre) (mm ²)
No mayor de (A)	
15	2
20	3
60	5
100	8
200	16
400	25
800	50
1000	70
1200	95
2000	120
2500	185
4000	240
6000	400

Los valores de estas tablas corresponden al Código Nacional de Electricidad y están sujetos a las modificaciones que se produzcan en este.

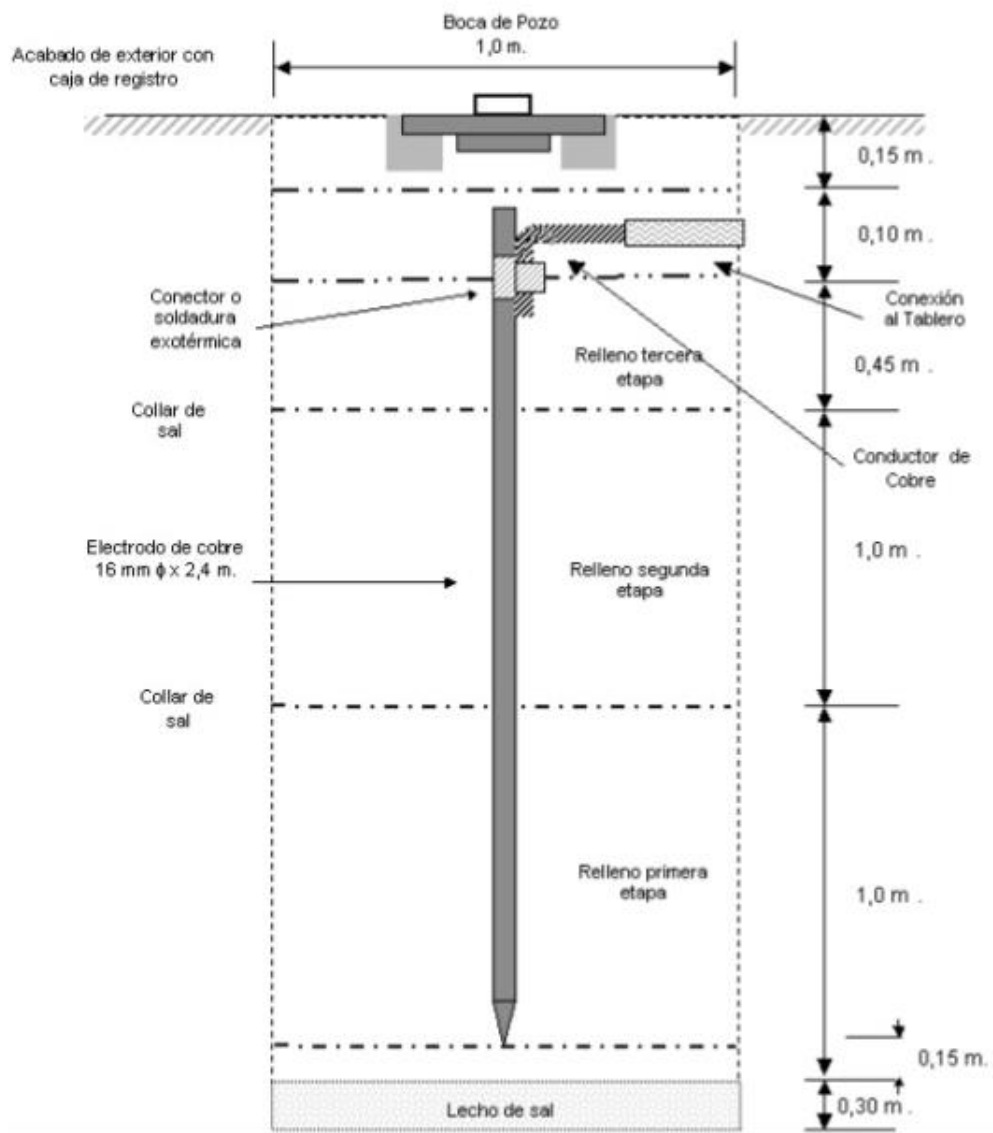
Fuente: NTP 370.053, 2005.

Anexo 23. Número máximo de conductores en tubos metálico y tubos de PVC de diámetros nominales.

TIPO DE CONDUCTORES	DIAMETRO mm	13	15	20	25	35	40	50	65	80	90	100	115	130	150
	SECCION mm ²	5" 8	1" 2	3" 4	1"	1¼"	1½"	2"	2½"	3"	3½"	4"	4½"	5"	6"
TW - XHHW O SIMILARES	1,5	7	9	16	27	47	64	105	150	---	---	---	---	---	---
	2,5	5	7	13	21	37	51	84	120	185	---	---	---	---	---
	4	4	5	10	16	28	39	64	91	141	190	---	---	---	---
	6	1	2	4	7	13	18	30	43	67	90	115	---	---	---
RWW Y RHH (SIN CUBIERTA EXTERNA) THHW - THW O SIMILARES	1,5	4	6	10	17	30	41	67	96	148	199	---	---	---	---
	2,5	4	5	8	14	25	34	56	80	123	166	---	---	---	---
	4	3	4	7	11	20	28	46	66	101	136	175	---	---	---
	6	1	1	3	6	10	14	24	34	52	70	90	113	142	---
TW THW THHW FEPS RHW RHH SIN CUBIERTA EXTERNA O SIMILARES	10	1	1	3	5	9	12	20	29	45	60	78	91	123	---
	16	1	1	1	4	7	9	15	22	34	45	58	73	92	133
	25	1	1	1	2	4	6	11	15	24	32	41	52	65	94
	35	---	1	1	2	4	5	9	13	20	27	34	43	54	78
	50	---	---	1	1	2	3	5	8	12	17	22	27	34	50
	70	---	---	1	1	1	2	4	6	10	14	18	22	28	41
	95	---	---	---	1	1	1	3	5	7	10	13	17	21	31
	120	---	---	---	1	1	1	2	4	6	8	10	13	16	24
	150	---	---	---	1	1	1	1	3	5	7	9	11	14	20
	185	---	---	---	---	1	1	1	3	4	6	8	10	13	18
240	---	---	---	---	1	1	1	3	4	6	7	9	14	---	
300	---	---	---	---	---	1	1	3	4	5	6	7	11	---	
400	---	---	---	---	---	---	1	1	3	4	5	6	9	---	


Fuente: Montaje y diseño de instalaciones eléctricas interiores en edificaciones, Castillo, 2000.

Anexo 24. Plano de puesta a tierra vertical.



Fuente: NTP 370.310, 2005.

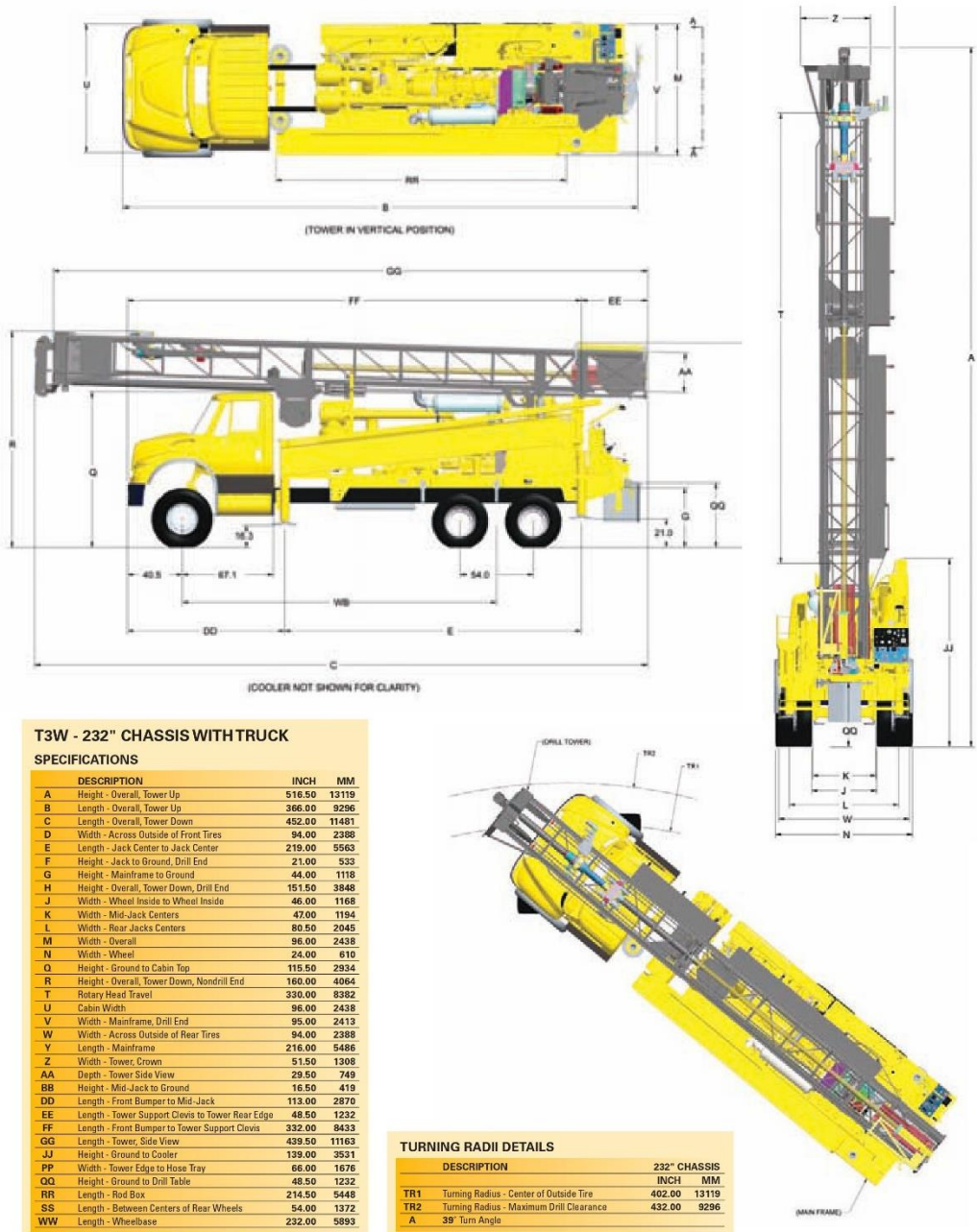
Anexo 25.1. Especificaciones técnicas la máquina perforadora T3W.

T3W													
GENERAL SPECIFICATIONS													
													
	T3W												
Pullback Options	Pullback – 40,000 lb Pulldown – 25,000 lb												
Feed System	Single Cylinder, Cable Feed D:d Ratio 28:1, 24 ½ in. sheaves w/ 7/8 in. cable Drill Feed Rate: 20 ft./min. Fast Feed Up/Down: 150 ft./min.												
Derrick	Capacity: 45,000 lb. Main Cord Length: 35 ft. 6 in. Head Travel: 27 ft. 4 in. Width: 36 in. Depth: 28 in.												
Standard Carrier	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> Standard – Navistar 7600, 6 x 4 Caterpillar C13 Diesel Engine 380 hp @ 2100 RPM 21 ft. 2 in. wheelbase 68,000 lbs. GVWR Optional – 410 hp, 908LL Transmission </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> Optional – Peterbilt 365, 6 x 4 Caterpillar C13 Diesel Engine 350 hp @ 2100 RPM 21 ft. 9 in. wheelbase 68,000 lbs. GVWR </td> </tr> </table>	Standard – Navistar 7600, 6 x 4 Caterpillar C13 Diesel Engine 380 hp @ 2100 RPM 21 ft. 2 in. wheelbase 68,000 lbs. GVWR Optional – 410 hp, 908LL Transmission	Optional – Peterbilt 365, 6 x 4 Caterpillar C13 Diesel Engine 350 hp @ 2100 RPM 21 ft. 9 in. wheelbase 68,000 lbs. GVWR										
Standard – Navistar 7600, 6 x 4 Caterpillar C13 Diesel Engine 380 hp @ 2100 RPM 21 ft. 2 in. wheelbase 68,000 lbs. GVWR Optional – 410 hp, 908LL Transmission	Optional – Peterbilt 365, 6 x 4 Caterpillar C13 Diesel Engine 350 hp @ 2100 RPM 21 ft. 9 in. wheelbase 68,000 lbs. GVWR												
Drawworks Single Line Bare Drum	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> Standard – 18,000 lbs. 165 ft./min. </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> Optional – 30,000 lbs. 150 ft./min. </td> </tr> </table>	Standard – 18,000 lbs. 165 ft./min.	Optional – 30,000 lbs. 150 ft./min.										
Standard – 18,000 lbs. 165 ft./min.	Optional – 30,000 lbs. 150 ft./min.												
Rotary Head	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> Standard – 5,500 ft.-lbs. @ 145 RPM Single-Speed Rotary Head Optional – 5,500 ft.-lbs. @ 145 RPM Two-Speed Rotary Head (Second Speed) 4,000 ft.-lbs. @ 195 RPM Optional – 6,250 ft.-lbs. @ 134 RPM Single-Speed Rotary Head Optional – 6,250 ft.-lbs. @ 134 RPM Two-Speed Rotary Head (Second Speed) 4,650 ft.-lbs. @ 180 RPM Optional – 8,000 ft.-lbs. @ 105 RPM Single-Speed Rotary Head Optional – 8,000 ft.-lbs. @ 105 RPM Two-Speed Rotary Head (Second Speed) 5,500 ft.-lbs. @ 145 RPM </td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> </table>	Standard – 5,500 ft.-lbs. @ 145 RPM Single-Speed Rotary Head Optional – 5,500 ft.-lbs. @ 145 RPM Two-Speed Rotary Head (Second Speed) 4,000 ft.-lbs. @ 195 RPM Optional – 6,250 ft.-lbs. @ 134 RPM Single-Speed Rotary Head Optional – 6,250 ft.-lbs. @ 134 RPM Two-Speed Rotary Head (Second Speed) 4,650 ft.-lbs. @ 180 RPM Optional – 8,000 ft.-lbs. @ 105 RPM Single-Speed Rotary Head Optional – 8,000 ft.-lbs. @ 105 RPM Two-Speed Rotary Head (Second Speed) 5,500 ft.-lbs. @ 145 RPM											
Standard – 5,500 ft.-lbs. @ 145 RPM Single-Speed Rotary Head Optional – 5,500 ft.-lbs. @ 145 RPM Two-Speed Rotary Head (Second Speed) 4,000 ft.-lbs. @ 195 RPM Optional – 6,250 ft.-lbs. @ 134 RPM Single-Speed Rotary Head Optional – 6,250 ft.-lbs. @ 134 RPM Two-Speed Rotary Head (Second Speed) 4,650 ft.-lbs. @ 180 RPM Optional – 8,000 ft.-lbs. @ 105 RPM Single-Speed Rotary Head Optional – 8,000 ft.-lbs. @ 105 RPM Two-Speed Rotary Head (Second Speed) 5,500 ft.-lbs. @ 145 RPM													
Powerpack	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> Option 1 – 900 CFM @ 350 psi – Caterpillar C15 diesel engine, 475 hp @ 1800 RPM IR HR2.5 over-under screw compressor, 900 CFM flow, direct coupled 120 to 350 psi, optional in/out compressor disconnect </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> Option 2 – 1070 CFM @ 350 psi – Caterpillar C15 diesel engine, 575 hp @ 1800 RPM IR HR2.5 over-under screw compressor, 1070 CFM flow with standard in/out box 8.3 to 24.1 bar </td> </tr> </table>	Option 1 – 900 CFM @ 350 psi – Caterpillar C15 diesel engine, 475 hp @ 1800 RPM IR HR2.5 over-under screw compressor, 900 CFM flow, direct coupled 120 to 350 psi, optional in/out compressor disconnect	Option 2 – 1070 CFM @ 350 psi – Caterpillar C15 diesel engine, 575 hp @ 1800 RPM IR HR2.5 over-under screw compressor, 1070 CFM flow with standard in/out box 8.3 to 24.1 bar										
Option 1 – 900 CFM @ 350 psi – Caterpillar C15 diesel engine, 475 hp @ 1800 RPM IR HR2.5 over-under screw compressor, 900 CFM flow, direct coupled 120 to 350 psi, optional in/out compressor disconnect	Option 2 – 1070 CFM @ 350 psi – Caterpillar C15 diesel engine, 575 hp @ 1800 RPM IR HR2.5 over-under screw compressor, 1070 CFM flow with standard in/out box 8.3 to 24.1 bar												
Options	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 25%;">Mud pumps</td> <td style="width: 25%;">Pipe spinner</td> <td style="width: 25%;">Single-pipe loader</td> <td style="width: 25%;">High-pressure air piping</td> </tr> <tr> <td>Floating-spindle hub</td> <td>Sand reel</td> <td>Service hoist</td> <td>Drop-down axle</td> </tr> <tr> <td>6 x 6 Heavy-duty trucks</td> <td>Water injection</td> <td>DHD lube injection</td> <td>Deck engine starting aid</td> </tr> </table>	Mud pumps	Pipe spinner	Single-pipe loader	High-pressure air piping	Floating-spindle hub	Sand reel	Service hoist	Drop-down axle	6 x 6 Heavy-duty trucks	Water injection	DHD lube injection	Deck engine starting aid
Mud pumps	Pipe spinner	Single-pipe loader	High-pressure air piping										
Floating-spindle hub	Sand reel	Service hoist	Drop-down axle										
6 x 6 Heavy-duty trucks	Water injection	DHD lube injection	Deck engine starting aid										

These machine specifications are those in effect at the time of this printing. However, Atlas Copco Drilling Solutions Inc. is constantly striving for product improvements and enhancements. Accordingly, the right is reserved to make such changes in specifications and design that the Company considers in conformity with this policy or are due to unavailability of materials or assemblies. Final confirmation of current specifications should be made by contacting Atlas Copco Drilling Solutions, Garland, Texas, USA.

Fuente: Atlas Copco, 2012.

Anexo 25.2. Especificaciones técnicas la máquina perforadora T3W.



Fuente: Atlas Copco, 2012.

Anexo 26. Catálogo de tricono de Atlas Copco.

Diam. broca	N.º producto	Código de BHMT	Código de producto	IADC	Producto	Características especiales	Circ.	Peso lbs	kg	Tipo de rosca	Sugerencias operativas WOB/RPM
17 1/2" 445 mm	91001081	3400216	132-0445-13-WW-1R-01	1-3-1	S3R	Pozo de agua, diente de medidor convencional	Reg	454,0	206	API 6 5/8"	7.937-23.813 kg 70-120 RPM
17 1/2" 445 mm	91001063	3400220	118-0445-22-WW-4R-01	2-2-1	M2R	Pozo de agua, diente de medidor en L	Reg	454,0	206	API 6 5/8"	23.813-39.689 kg 60-100 RPM
17 1/2" 445 mm	91001064	3400382	132-0445-22-WW-4R-01	2-2-1	M2R	Pozo de agua, diente de medidor en L	Reg	494,0	224,1	API 7 5/8"	23.813-39.689 kg 60-100 RPM
17 1/2" 445 mm	91000569	3400515	132-0445-22-WW-4STR-01	2-2-1	M2R-ST	Pozo de agua, diente de medidor en L, protección de faldón	Reg	332,0	150,6	API 7 5/8"	23.813-39.689 kg 60-100 RPM
17 1/2" 445 mm	91001062	3400361	118-0445-32-WW-1R-01	3-2-1	H2R	Pozo de agua, diente de medidor convencional	Reg	454,0	206	API 6 5/8"	31.751-55.565 kg 60-80 RPM
17 1/2" 445 mm	91001061	3400469	132-0445-32-WW-1R-01	3-2-1	H2R	Pozo de agua, diente de medidor convencional	Reg	499,0	226,4	API 7 5/8"	31.751-55.565 kg 60-80 RPM
17 1/2" 445 mm	91000570	3400516	132-0445-32-WW-1STR-01	3-2-1	H2R-ST	Pozo de agua, diente de medidor convencional, protección de faldón	Reg	332,0	150,6	API 7 5/8"	31.751-55.565 kg 60-80 RPM
6 1/4" 159 mm	91000553	3400154	114-0159-21-WW-1R-01	2-1-1	M1R	Pozo de agua, diente de medidor convencional	Reg	33,0	15,0	API 3 1/2"	8.504-14.174 kg 60-100 RPM
6 1/4" 159 mm	91000554	3400155	114-0159-31-WW-1R-01	3-1-1	H1R	Pozo de agua, diente de medidor convencional	Reg	33,0	15,0	API 3 1/2"	11.339-19.844 kg 60-80 RPM

Fuente: Atlas Copco, 2012.

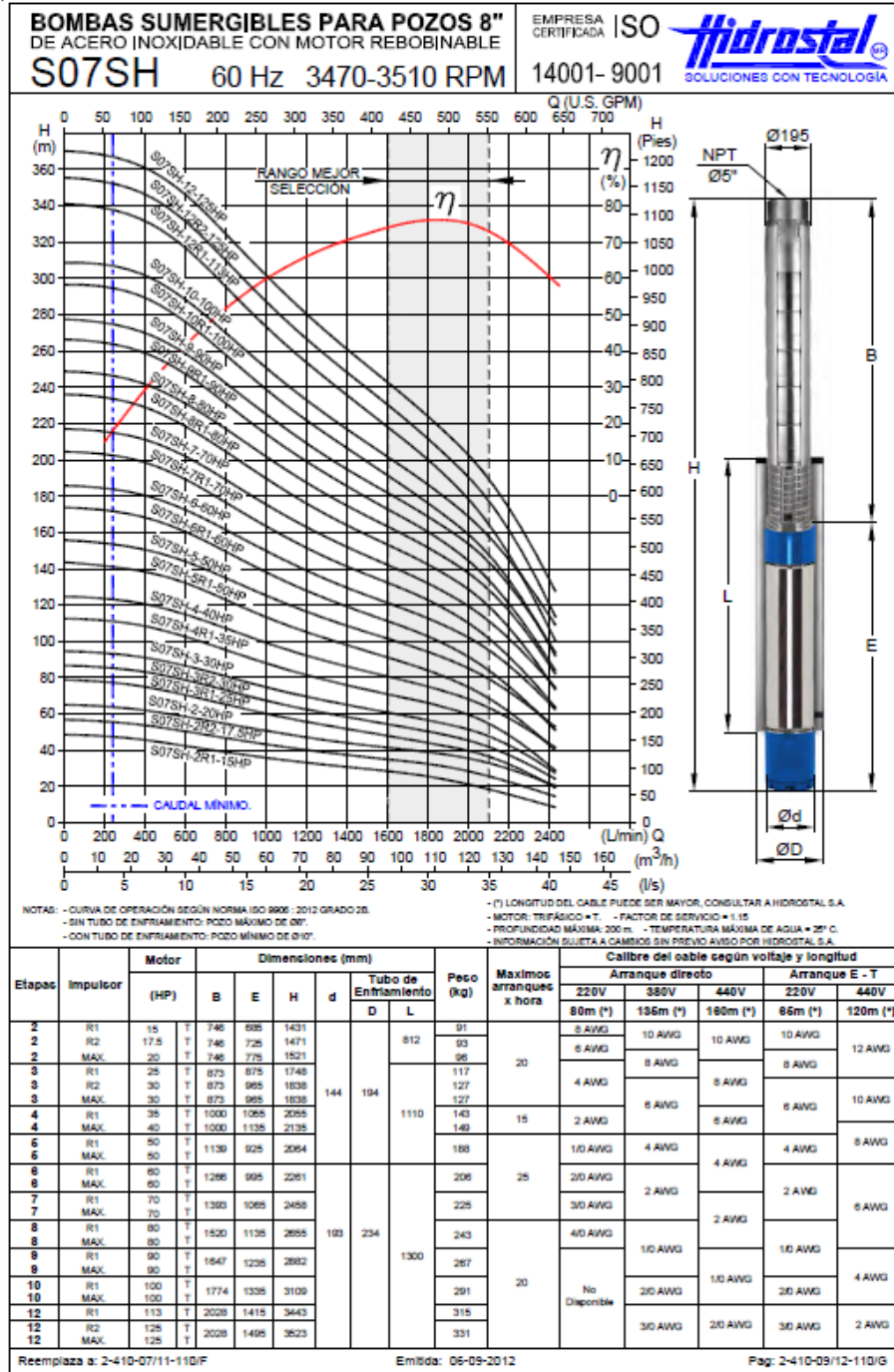
Anexo 27. Catálogo de tubos de perforación de Atlas Copco.

Traditional Rig Application: T2, T3, TH60/75E/100A

Diameter		Thread Pin/Box	Component	Wall Thickness		Length		Wrench Flats			Hex		Weight		Product No.	Catalogue No.
inch	mm			inch	mm	feet	m	inch	mm	flat location	inch	mm	lbs	g		
3.50	89	2 7/8 IF	PIPE	0.368	9	20.00	6.10	2.75	89	Box Only	No	No	229.07	104000	58160896	211-8561-48, 40-08
4.50	114	2 7/8 IF	PIPE	0.337	9	20.00	6.10	3.50	89	Box Only	No	No	343.61	156000	58160953	213-8761-48, 40-08
4.50	114	3 1/2 API REG	PIPE	0.337	9	20.00	6.10	3.50	89	Box Only	No	No	343.61	156000	58160912	214-8761-48, 40-08

Fuente: Atlas Copco, 2012.

Anexo 28. Especificaciones técnicas de la bomba sumergible S07SH-7R1-70HP.



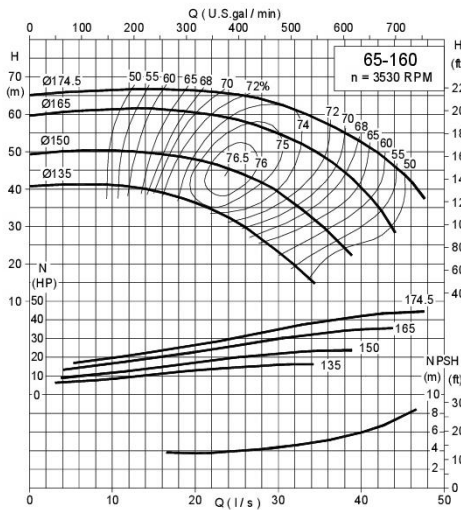
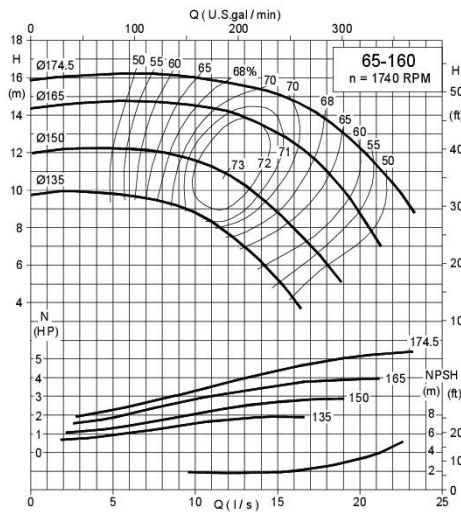
Fuente: Hidrostat, 2012.

Anexo 29.1. Especificaciones técnicas de la bomba centrífuga 65-160, 3600 rpm.



CURVAS DE OPERACION A 60 Hz

65 - 160



CURVAS MOSTRADAS PARA BOMBAS CON CAJA EN FIERRO FUNDIDO GRIS O NODULAR CON RECUBRIMIENTO CERAMICO.
CURVAS EN CONDICIONES NORMALES DE OPERACION (AGUA LIMPIA A 20°C) DE ACUERDO A NORMA ISO 9906:1999 GRADO 2.

BOMBA CENTRIFUGA
ISO 2858
CATALOGO I - VERSION: G
REV.10_06/12_16

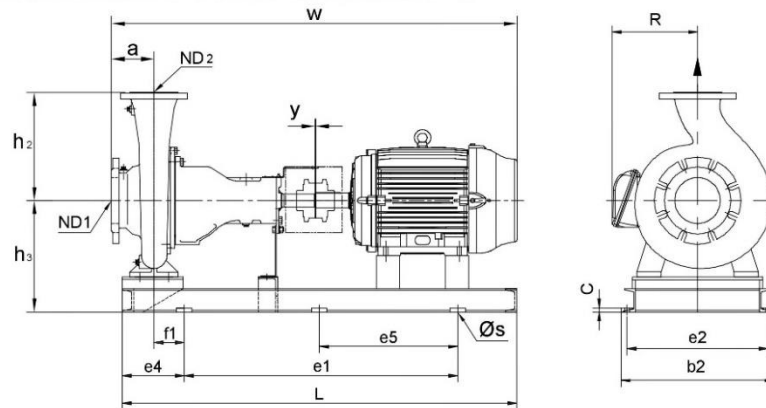


Fuente: Hidrostral, 2012.

Anexo 29.2. Especificaciones técnicas de la bomba centrífuga 65-160, 3600 rpm.



TABLA DE MEDIDAS - COPLES GARDEX TIPO TG



BOMBA	MOTOR	BASE	COPLE	c	L	e1	e4	e2	e5	b2	h3	h2	ND2	ND1	f1	w	R	a	y	es
32-125	71	1R-1	1030	13	770	450	155	320	-	359	227	140	32	50	93	739	130	25	5/8"	18
	80															760	139	18		
	90S															776	157	8		
	90L															801	157	8		
	100L															848	167	8		
32-160	71	1R-1	1030	13	770	450	155	320	-	359	247	160	32	50	93	741	130	27	5/8"	18
	80															760	139	18		
	90S															776	157	8		
	90L															801	157	8		
	100L															848	167	8		
2/32-200	71	1R-1	1030	13	770	450	155	320	-	359	275	180	32	50	93	741	126	8	5/8"	7
	80															760	135	7		
	90L															802	157	7		
	100L															849	167	7		
	112M															866	175	7		
40-125	71	1R-1	1030	13	770	450	155	320	-	359	227	140	40	65	93	741	130	27	5/8"	18
	80															760	139	18		
	90S															776	157	8		
	90L															801	157	8		
	100L															848	167	8		
40-160	71	1R-1	1030	13	770	450	155	320	-	359	247	160	40	65	93	741	130	27	5/8"	18
	80															760	139	18		
	90S															776	157	8		
	90L															801	157	8		
	100L															848	167	8		
40-200	71	1R-1	1030	13	770	450	155	320	-	359	275	180	40	65	93	741	130	27	5/8"	18
	80															760	139	18		
	90S															776	157	8		
	90L															802	157	7		
	100L															848	167	8		
40-200	160M	3R-1	1040	15	1150	750	230	440	-	490	275	180	40	65	145	1074	264	11	3/4"	23
	90S															796	157	7		
	90L															823	157	8		
	100L															868	167	8		
	132M															986	218	11		
40-200	160M	3R-1	1040	15	1150	750	230	440	-	490	302	180	40	65	145	1092	264	11	3/4"	23
	160L															1136	264	11		
	180M															1167	279	21		
	200M															1237	317	23		
	200L															1275	317	23		

BOMBA CENTRIFUGA
ISO 2858
CATALOGO I - VERSION: G
REV.10_06/12_65



Anexo 29.3. Especificaciones técnicas de la bomba centrífuga 65-160, 3600 rpm.



TABLA DE MEDIDAS - COPLES GUARDEX TIPO TG

BOMBA	MOTOR	BASE	COPLER	c	L	e1	e4	e2	e5	b2	h3	h2	ND2	ND1	f1	w	R	a	y	es			
40-250	90L	2R-1	1040	13	1000	700	205	425	464	295	225	40	65	100	934	157	100	3	5/8"				
	100L														997	192							
	112M														1201	264							
	160M	3R-1	15	1050	1350	900	230	470	520	322	225	40	65	145	1245	278	145	3	3/4"				
	180M														1332	317							
	200M														1370	317							
	200L														1460	408							
225S/M	5R-1	1070	1450	1220	140	716	610	760	480	225	40	65	55	1460	408	145	3	1"					
50-125	80	1R-1	1030	13	770	450	155	320	359	247	160	50	80	93	779	138	93	100	8	5/8"			
	90S														796	157							
	90L														823	192							
	112M	1R-2	1040	900	550																		
	132S																					887	218
	132M	3R-1	15	1150	750	230	440																
	160M																						948
160L	986																						218
160L	145	1092	264	145	1092	264	145	1092	264	145	1092	264	145	1092	264	145	1092	264	145	1092	264		
50-160	80	1R-1	1030	13	770	450	155	320	359	275	180	50	80	93	779	138	93	100	7	5/8"			
	90S														796	157							
	90L														822	192							
	112M	1R-2	1040	900	550																		
	132S																					885	218
	132M	3R-1	15	1150	750	230	440																
	160M																						949
160L	978																						218
160L	145	1092	264	145	1092	264	145	1092	264	145	1092	264	145	1092	264	145	1092	264	145	1092	264		
50-200	90L	1R-1	1030	13	770	450	155	320	359	275	200	50	80	93	823	157	93	100	7	5/8"			
	100L														865	167							
	112M														886	192							
	160M	3R-1	1040	1150	750	230	440																
	160L																					1092	264
	180M	3R-2	15	1350	900	230	470																
	200M																						1167
200L	1237																						317
225S/M	5R-1	1070	1450	1220	140	716	610	760	460	225	40	65	55	1364	408	145	36	1"					
50-250	112M	2R-1	1040	13	1140	800	205	465	504	295	225	50	80	100	1022	192	100	3	5/8"				
	132S														1118	218							
	132M														1118	218							
	200M	3R-2	1060	1350	900	230	470																
	200L																					1357	317
	225S/M	5R-1	1070	1450	1220	140	720	610	760	480	225	50	80	145	1484	408	145	3	3/4"				
	250S/M														1595	408							
250S/M	55	1484	408	55	1484	408	55	1484	408	55	1484	408	55	1484	408	55	1484	408	55	1484	408		
65-160	90S	1R-2	1040	13	900	550	155	320	359	275	200	65	100	93	907	157	93	100	3	5/8"			
	90L														934	167							
	100L														980	192							
	112M	3R-1	1040	1150	750	230	440																
	160M																					1201	264
	160L	3R-2	15	1350	900	230	470																
	180M																						1245
200M	1332																						317
200L	1370	317	1370	317	1370	317	1370	317	1370	317	1370	317	1370	317	1370	317	1370	317	1370	317			
225S/M	5R-1	1070	1450	1220	140	716	610	760	460	225	40	65	55	1495	314	145	3	1"					
65-200	100L	2R-1	1040	13	1000	700	205	425	464	295	225	65	100	100	980	167	100	3	5/8"				
	112M														997	192							
	132S														1055	218							
	132M	2R-2	1060	1140	800	205	465																
	200M																					1093	218
	200L	3R-2	15	1350	900	230	470																
	225S/M																						1332
250S/M	1370																						317
280S/M	5R-1	1070	1450	1220	140	720	610	760	480	225	65	100	130	1573	408	130	9	1"					
280S/M	55	1459	408	55	1459	408	55	1459	408	55	1459	408	55	1459	408	55	1459	408	55	1459	408		
65-250	112M	2R-1	1040	13	1140	800	205	465	504	315	250	65	100	100	1021	192	100	125	3	5/8"			
	132S														1080	218							
	132M														1118	218							
	160M	2R-3	1040	1300	900	140																	
	225S/M																					1226	264
	250S/M	5R-1	1070	1450	1120	215	720	610	760	500	250	65	100	55	1484	408	55	19	1"				
	280S/M														1713	442							
280S/M	130	1698	442	130	1698	442	130	1698	442	130	1698	442	130	1698	442	130	1698	442	130	1698	442		
65-315	132S	2R-2	1040	13	1140	800									1110	218							
	160M														1148	218							
	160L														1256	264							
	180M	2R-3	1050	1300	900																		
	180L																					1300	279
	200M	3R-2	1060	15	1350																		
	200L																						1322
200M	1360																						317
200M	145	1387	317	145	1387	317	145	1387	317	145	1387	317	145	1387	317	145	1387	317	145	1387	317		

BOMBA CENTRIFUGA
ISO 2858
CATALOGO I - VERSION: G
REV.10_06/12_66



Fuente: Hidrostat, 2012.

Anexo 30.1. Especificaciones técnicas del motor eléctrico marca WEG.



Gama de motores Fundición de hierro

Potencia kW	Carcasa	In (A) 400V	II/In	Cp/Cn	Cm/Cn	Inercia (kgm ²)	Nivel sonoro dB(A)	Peso (kg)	% de plena carga					
									Eficiencia			Factor de potencia		
									50	75	100	50	75	100

W22 - Fundición de hierro- Alta Eficiencia - IE2- 2 Polos

0,75	90S	1,71	6,5	270%	280%	0,00117	62	15,5	77	79	79	0,61	0,73	0,8
1,1	90S	2,38	6,1	250%	260%	0,0014	62	16,5	80	80,5	80,5	0,65	0,77	0,83
1,5	90L	3,14	5,9	260%	260%	0,00162	62	17,5	81,5	82	82	0,66	0,78	0,84
2,2	100L	4,47	7,5	260%	300%	0,00428	67	26,5	82,5	83,6	83,6	0,66	0,78	0,85
3	100L	5,92	7,7	290%	310%	0,00508	67	28,5	84	85	85	0,68	0,8	0,86
4	112M	7,72	6,5	230%	290%	0,00657	64	38	86	86	86	0,7	0,81	0,87
5,5	132S	10,6	6,8	220%	300%	0,01619	67	60	86,5	88	88	0,68	0,79	0,85
7,5	132M	14,1	6,8	220%	290%	0,01979	67	63	88	88,5	88,5	0,72	0,82	0,87
9,2	132M	17,3	7,6	250%	320%	0,02339	67	70	88,5	89	89	0,7	0,81	0,86
15	160L	27,6	7	230%	300%	0,03911	67	112	91	91,3	91,3	0,71	0,81	0,86
18,5	180M	33,1	7	210%	290%	0,0867	67	156	91,4	92	91,8	0,75	0,84	0,88
22	180L	39,1	7,3	220%	300%	0,09754	67	164	92	92,4	92,2	0,76	0,84	0,88
30	200L	53,6	6,5	240%	270%	0,17027	72	226	92,5	93	92,9	0,75	0,83	0,87
37	200L	65,8	6,8	240%	260%	0,22424	72	255	93	93,4	93,3	0,76	0,84	0,87
45	225S/M	78	7	220%	280%	0,325	75	356	93,3	93,6	93,6	0,79	0,86	0,89
55	250S/M	95	7	200%	280%	0,32262	75	413	93,6	93,9	93,9	0,79	0,86	0,89
75	280S/M	129	7	200%	280%	0,85411	77	630	93,4	94,3	94,3	0,79	0,86	0,89
90	280S/M	154	7	200%	280%	0,93857	77	653	94	94,6	94,6	0,79	0,86	0,89
110	315S/M	188	7,3	200%	290%	0,96911	77	874	94,3	94,9	94,9	0,79	0,86	0,89
132	315S/M	223	7,3	200%	290%	1,13536	77	931	94,5	95,1	95,1	0,8	0,87	0,9
160	315S/M	269	7,5	220%	290%	1,30242	77	995	94,8	95,3	95,3	0,8	0,87	0,9
185	315S/M	314	7,5	220%	310%	1,42433	77	1032	94,9	95,5	95,4	0,8	0,86	0,89
200	315L	336	7,5	230%	280%	1,55381	78	1175	95	95,5	95,4	0,82	0,88	0,9
200	315S/M	336	7,5	230%	280%	2,16513	77	1175	95	95,5	95,4	0,82	0,88	0,9
220	315L	369	7,8	240%	280%	5,17105	78	1228	95	95,5	95,5	0,81	0,87	0,9
220	355S/M	369	7,6	180%	250%	4,41704	80	1560	95,1	95,6	95,5	0,86	0,89	0,9
250	315L	415	7,8	240%	280%	5,74561	78	1316	95,1	95,6	95,5	0,84	0,89	0,91
250	355M/L	415	7,9	220%	280%	4,84797	80	1634	95,2	95,6	95,6	0,86	0,89	0,91
280	315L	465	7,9	230%	280%	5,74561	78	1442	95,2	95,6	95,6	0,85	0,89	0,91
280	355M/L	465	7,7	190%	260%	5,06343	80	1669	95,2	95,6	95,6	0,86	0,89	0,91
300	315L	503	7,5	250%	250%	0	86	1442	95,2	95,6	95,6	0,84	0,88	0,9
300	355M/L	492	8	250%	260%	5,60209	80	1777	95,2	95,6	95,6	0,87	0,91	0,92
315	315L	528	7,9	220%	270%	4,0145	86	1442	95,2	95,6	95,6	0,84	0,88	0,9
315	355M/L	517	7,8	210%	260%	5,60209	80	1777	95,2	95,6	95,6	0,87	0,91	0,92
355	355M/L	589	7,9	220%	280%	6,00505	80	1838	95,3	95,6	95,6	0,87	0,9	0,91
370	355A/B	616	7,9	250%	280%	6,76	83	2046	95,8	96,1	96,4	0,85	0,89	0,9
400	355A/B	658	7,6	240%	280%	6,76	83	2043	95,8	96,2	96,4	0,85	0,89	0,91
450	355A/B	739	7,5	250%	270%	7,4	83	2160	95,8	96,2	96,6	0,85	0,9	0,91

Fuente: WEG, 2012.

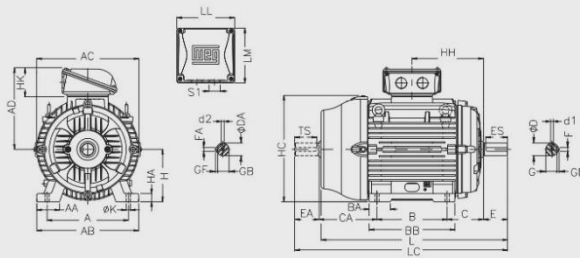
Anexo 30.2. Especificaciones técnicas del motor eléctrico marca WEG.



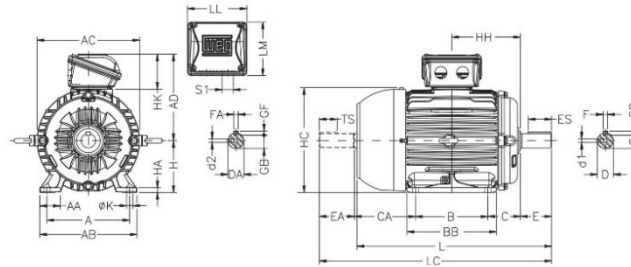
Datos dimensionales. Fundición de Hierro

Tipo constructivo: Patas

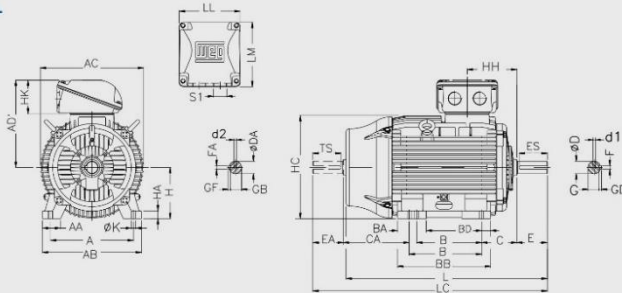
Carcasas 63 a 112



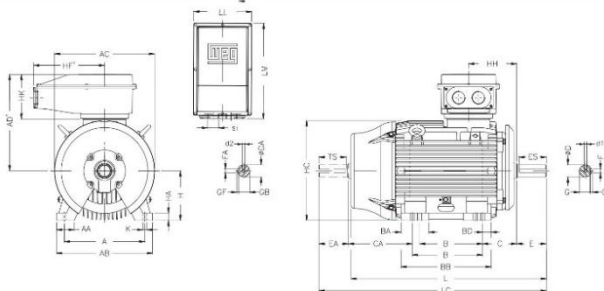
Carcasas 132 a 200



Carcasas 225 a 355M/L



Carcasas 355A/B



Fuente: WEG, 2012.

Anexo 30.3. Especificaciones técnicas del motor eléctrico marca WEG.

Carcasa	A	AA	AB	AC	AD (***)	AD'	B	BA	BB	BD	C	CA	Eje												
													D	DA	E	EA	ES	F	FA	G	GB	GD	GF	TS	
63	100	25.5	116	125	122	122	80				95	40	78	11j6	9j6	23	20	14	4	3	8.5	7.2	4	3	12
71	112	28.5	132	141	130	130	90				113.5	45	88	14j6	11j6	30	23	18	5	4	11	8.5	5	4	14
80																									
L80(**)	125	30.5	149	159	139	139					125.5	50	93	19j6	14j6	40	30	28	6		15.5	11	6		18
90S							100																		
L90S(**)											131										5			5	
90L	140	36.5	164	179	157	157						56	104	24j6	16j6	50	40	36			20	13			28
L90L(**)							125				156														
100L																					8			7	
L100L(**)	160	40	188	199	167	167					173	63	118		22j6					6		24	18.5		6
112M							140								28j6		60	50	45						36
L112M(**)	190	40.5	220	222	192	192					177	70	128		24j6							20			
132S																					8				
132M	216	51	248	271	218	218					187	89	150	38k6	28j6	80	60	63	10		33	24			45
132M/L							178	55			225													8	
160M							210				254	108	174	42k6	42k6					12	12	37	37		8
160L	254	64	308	329	264	264		63			298														
180M							241				294	121	200	48k6						14		42.5		9	80
180L	279	78	350	360	279	279		70			332					110	110	80							
200M							267				332										16		49		9
200L	318	82	385	402	317	317		82			370	133	222	55m6										10	
225S/M	356	80	436	455		384	286/311	124	412	41	149	319/294	55m6*	55m6*	110*	110*	100*	16*	16*	49*	49*	10*	10*	100*	
250S/M	406		506	486	408	402	311/349	146	467	59	168	354/316	60m6*	60m6*	140*	140*	125*	18*	18*	53*	53*	11*	11*	125*	
280S/M	457	100	557	599	442	472	368/419	151	517	49	190	385/334	65m6*	60m6*	140*	140*	125*	18*	18*	58*	53*	11*	11*	125*	
315S/M					525	530	406/457	184	621	70	216	494/443	75m6*	65m6*	140*	140*	125*	20*	18*	67.5*	58*	12*	11*	125*	
315L	508	120	630	657	589	575	508	219	752	81	216	497	65m6*	60m6*	140*	140*	125*	18*	18*	58*	53*	11*	11*	125*	
355M/L					609	625	560/630	230	760	65	254	483/413	80m6*	65m6*	170*	140*	160*	22*	18*	71*	58*	14*	14*	125*	
355A/B	610	140	750	736	701	755	710/800	325	955	70	254	528/438	75m6*	60m6*	140*	140*	125*	20*	18*	67.5*	53*	12*	11*	125*	
													100m6*	80m6*	210*	170*	200*	28*	22*	90*	71*	16*	14*	160*	
																									160*

Carcasa	H	HA	HB (***)	HC	HD (***)	HF (***)	HG (***)	HH	HK	K	L	LC	LL	LM	S1	d1	d2	Rodamientos		
																		D.E.	N.D.E.	
63	63		25.5	129		66.5		80		7	216	241				M4	M3	6201 - Z		
71	71	7	33	145		76		90	59		248	276				M5		6202 - Z		
80								100			276	313	108	98	2xM20x1.5	M6	M4	6204 - Z	6203 - Z	
L80(**)	80	8	43.5	163		87		106		10	325	362								
90S								106			304	350								
L90S(**)											335	381								
90L	90	9	45	182	90			118.5	67		329	375	115	104	2xM25x1.5	M8	M6	6205 - Z	6204 - Z	
L90L(**)											360	406								
100L								133			376	431								
L100L(**)	100		61.5	205	244	106.4					420	475								
112M								140		12	393	448								
L112M(**)	112		54.5	235	280	112					423	478								
132S								159	79		452	519	140	133	2xM32x1.5	M12	M10	6308 - Z	6207 - Z	
132M	132	20	75	266	319	132		178			490	557								
132M/L								191			515	582								
160M								213			598	712								
160L	160	22	79	327	374	168		235	100	14.5	642	756	198	188	2xM40x1.5	M16	M16	6309 - C3	6209 - Z-C3	
180M								241.5			664	782								
180L	180	28	92	363	413	180		260.5			702	820								
200M								266.5			729	842								
200L	200	30	119	405	464	218		285.5	118	18.5	767	880	228	217	2xM50x1.5			6312 C3	6212 Z-C3	
225S/M	225	34	255	453	550	403	523	212		143	856*	974*								
250S/M	250	43	290	493	583	449	566	214		24	886	1034	261	292						
280S/M	280	42	383	580	696	550	667	266	145		965	1113	1071	1223	314	312				
315S/M											124*	1392*	372	382						
315L	315	48	386	664	768	615	744	264	177		1274	1426								
											1333*	1505*	404	438						
											1383	1535								
											142*	1577*								
											1482	1677								
											1607*	1772*	443	730						
											318*									
											355									

Notas:
 (*) Dimensiones aplicables a motores de 2 polos
 (**) Esta medida es aplicable a montaje derechas o izquierdas de la caja de bornes
 (***) Cota aplicable a montante al lado izquierdo o derecho de la caja de conexiones

Fuente: WEG, 2012.

Anexo 31.1. Hoja de reporte de control diario del pozo profundo.

REPORTE DE CONTROL DIARIO DE OPERACIÓN DEL POZO PROFUNDO

N°	NOMBRE DEL OPERADOR	FECHA	HORA	NIVEL ESTÁTICO (m)	NIVEL DINÁMICO (m)	CAUDAL (l/s)	TENSIÓN (V)			CORRIENTE (A)			FRECUENCIA (Hz)	FACTOR DE POTENCIA (FP)	AUMENTO DE GRAVA (m³)	ESTADO DE TUBERÍAS	CALIDAD DEL AGUA		OBSERVACIONES		
							L1	L2	L3	L1	L2	L3					Buena	Mala			
1																					
2																					
3																					
4																					
5																					
6																					
7																					
8																					
9																					
10																					
11																					
12																					
13																					
14																					
15																					
16																					
17																					
18																					
19																					
20																					
21																					
22																					
23																					
24																					
25																					
26																					
27																					
28																					
29																					
30																					
31																					
32																					
33																					
34																					
35																					
36																					
37																					
38																					
39																					
40																					
41																					
42																					
43																					
44																					
45																					
46																					
47																					
48																					
49																					
50																					

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 31.2. Hoja de reporte de control diario de la cisterna.

N°	NOMBRE DEL OPERADOR	FECHA	HORA	NIVEL DE AGUA (m)	CAUDAL (l/s)	BOMBA CENTRIFUGA 01						BOMBA CENTRIFUGA 02						ESTADO DE TUBERIAS	CALIDAD DEL AGUA	OBSERVACIONES						
						TENSIÓN (V)		CORRIENTE (A)		FRECUENCIA (Hz)		FACTOR DE POTENCIA (FP)		TENSIÓN (V)		CORRIENTE (A)					FRECUENCIA (Hz)		FACTOR DE POTENCIA (FP)			
						L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3	Bueno	Malo	Bueno	Malo		
1																										
2																										
3																										
4																										
5																										
6																										
7																										
8																										
9																										
10																										
11																										
12																										
13																										
14																										
15																										
16																										
17																										
18																										
19																										
20																										
21																										
22																										
23																										
24																										
25																										
26																										
27																										
28																										
29																										
30																										
31																										
32																										
33																										
34																										
35																										
36																										
37																										
38																										
39																										
40																										
41																										
42																										
43																										
44																										
45																										
46																										
47																										
48																										
49																										
50																										

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 32. Programa de mantenimiento de la estación de bombeo.

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DE LA ESTACIÓN DE BOMBEO

GRUPO	ACTIVIDAD	FRECUENCIA	TIEMPO TRANSCURRIDO EN RELACIÓN A 15 DÍAS																							
			15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360
Subestación eléctrica	Inspección de accesorios	360 días																								X
	Inspección del nivel de aceite del transformador	360 días																								X
	Inspección de tuberías por fugas de agua y ajuste de pernos de bridas	diario	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Inspección de niveles de agua del pozo profundo y sistema	diario	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Inspección del nivel de grava en el pre-filtro	diario	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Toma de video del pozo profundo	120 días								X																X
Instalaciones	Limpieza de tuberías y accesorios del pozo	120 días							X																X	
	Limpieza del pozo profundo	240 días								X															X	
	Limpieza de la cisterna	360 días																							X	
	Limpieza de tuberías y accesorios de la cisterna	360 días																							X	
	Limpieza de luminarias y tomaacorrientes	360 días																							X	
	Limpieza y ajuste de accesorios del tablero general de distribución	360 días																							X	
	Inspección y limpieza del pozo a tierra	360 días																							X	
	Medición de voltaje, amperaje, frecuencia, factor de potencia y caudal	diario	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Limpieza y ajuste de accesorios del tablero de control	30 días		X						X						X					X					X
	Medición del aislamiento del motor eléctrico	30 días		X						X						X					X					X
Bomba sumergible	Inspección del cable sumergible y sensores de nivel	120 días								X															X	
	Inspección y limpieza de la superficie de la bomba y su filtro, y medición de nivel de líquido refrigerante para relleno	120 días								X															X	
	Inspección y limpieza de los impulsores y tazones	240 días																							X	
	Medición de voltaje, amperaje, frecuencia, factor de potencia y caudal	diario	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Inspección de fugas de agua por sello mecánico	diario	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Verificación de temperatura de rodamientos	15 días	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Bomba centrífuga horizontal	Reajuste de pernos de la base y guarda	15 días	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Limpieza y ajuste de accesorios del tablero de control	30 días		X					X						X					X					X	
	Medición del aislamiento del motor eléctrico	30 días		X					X						X					X					X	
	Lubricación de rodamientos	30 días		X					X						X					X					X	
	Verificación del alineamiento y coupling	90 días																							X	
	Inspección y limpieza de los impulsores, sello mecánico, y la caja	180 días																							X	
	Inspección del cableado y sensores de nivel	360 días																							X	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 33.1. Hoja de reporte de control de mantenimiento del equipo de bombeo del pozo profundo.

N°	NOMBRE DEL OPERADOR / TECNICO	FECHA		HORA		TIPO DE MANTENIMIENTO	ASLAMIENTO (Megahmicos)	MANTENIMIENTO TABLERO CONTROL	ESTADO DE CABLES		ESTADO DE BOMBA		ESTADO DE IMPULSORES		REFRIGERANTE AUMENTADO (litros)	ESTADO DE TUBERIAS	OBSERVACIONES
		Inicial	Final	Inicial	Final				Buena	Mala	Buena	Mala	Buena	Mala			
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	
27																	
28																	
29																	
30																	
31																	
32																	
33																	
34																	
35																	
36																	
37																	
38																	
39																	
40																	
41																	
42																	
43																	
44																	
45																	
46																	
47																	
48																	
49																	
50																	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 33.2. Hoja de reporte de control de mantenimiento del equipo de bombeo
de la cisterna.

REPORTE DE CONTROL DE MANTENIMIENTO DEL EQUIPO DE BOMBEO DE LA CISTERNA

N°	NOMBRE DEL OPERADOR / TECNICO	FECHA		HORA		TIPO DE MANTENI- MIENTO	ASISLAMIENTO (Megajornos)	MANTENIMIENTO TABLERO CONTROL		ESTADO DE CABLES	ESTADO DE BOMBA	ESTADO DE IMPULSORES	ESTADO DE SELLO MEC.	ESTADO DE RODAMIENTOS	LUBRICACION (litros)	TEMPERATURA RODAMIENTOS (°C)	AJUSTE DE PERNOS	ALINEAMIENTO Y COUPLING	ESTADO DE TUBERIAS		OBSERVACIONES		
		Inicial	Final	Inicial	Final			SI	No										Buena	Mala		Buena	Mala
1																							
2																							
3																							
4																							
5																							
6																							
7																							
8																							
9																							
10																							
11																							
12																							
13																							
14																							
15																							
16																							
17																							
18																							
19																							
20																							
21																							
22																							
23																							
24																							
25																							
26																							
27																							
28																							
29																							
30																							
31																							
32																							
33																							
34																							
35																							
36																							
37																							
38																							
39																							
40																							
41																							
42																							
43																							
44																							
45																							
46																							
47																							
48																							
49																							
50																							

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 34. Hoja de reporte de control de mantenimiento del pozo profundo.

REPORTE DE CONTROL DE MANTENIMIENTO DEL POZO PROFUNDO

N°	NOMBRE DEL OPERADOR / TECNICO	FECHA		HORA		ESTADO DE FILTROS EN EL VIDEO		ACIDO MURIATICO USADO (g)	POLIFOSFATO USADO (kg)	HIPOCLORITO DE CALCIO USADO (kg)	TIEMPO DE PISTONEO (horas)	TIEMPO DE AIRE COMPRIMIDO (horas)	DESINFECCION DEL POZO		OBSERVACIONES	
		Inicial	Final	Inicial	Final	Buena	Mala						Buena	Mala		
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																
26																
27																
28																
29																
30																
31																
32																
33																
34																
35																
36																
37																
38																
39																
40																
41																
42																
43																
44																
45																
46																
47																
48																
49																
50																

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 36.1. Análisis de costos unitarios de las tareas.

1.01 NIVELACION DE TERRENO Y EXCAVACION DE POZAS DE LODOS		3 días	Costo unitario global: S/ 3,700.51		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	CAPATAZ DE PERFORACION OPERARIO	HH	24.00 S/	17.34 S/	416.16
		HH	24.00 S/	15.22 S/	365.28
					S/ 781.44
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	781.44 S/	39.07
	CARGADOR RETROEXCAVADORA 62HP	HM	24.00 S/	120.00 S/	2,880.00
					S/ 2,919.07
1.02 EXCAVACION MANUAL DE ANTEPOZO DE 1M DE DIAMETRO		3 días	Costo unitario global: S/ 1,611.64		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	CAPATAZ DE PERFORACION OFICIAL	HH	24.00 S/	17.34 S/	416.16
	PEON	HH	24.00 S/	13.23 S/	317.52
		HH	48.00 S/	11.93 S/	572.64
					S/ 1,306.32
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	1,306.32 S/	65.32
	ELEVADOR MANUAL DE CABLE DE ACERO	HE	24.00 S/	9.00 S/	216.00
	ESCALERA DE 5 METROS	HM	24.00 S/	1.00 S/	24.00
					S/ 305.32
1.03 SUMINISTRO DE TUBERIA CIEGA DE ACERO A 53 GRADO A DE 500MM DE DIAM. e=6.35MM		1 día	Costo unitario global: S/ 2,500.00		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Materiales				
	TUBERIA CIEGA DE ACERO A 53 GRADO A DE 500MM DE DIAM. e=6.35MM	ML	5.00 S/	500.00 S/	2,500.00
					S/ 2,500.00
1.04 INSTALACION DE TUBERIA CIEGA DE ACERO A 53 GRADO A DE 500MM DE DIAM. e=6.35MM		1 día	Costo unitario global: S/ 440.11		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	CAPATAZ DE PERFORACION TECNICO SOLDADOR	HH	6.00 S/	17.34 S/	104.04
	OPERARIO	HH	6.00 S/	15.22 S/	91.32
		HH	1.00 S/	15.22 S/	15.22
					S/ 210.58
	Materiales				
	FIERRO CORRUGADO DE 12.7 MM (1/2 IN) X 9 M, PARA ANCLAJE	VAR	1.00 S/	27.00 S/	27.00
					S/ 27.00
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	210.58 S/	10.53
	MAQUINA DE SOLDAR	HM	4.00 S/	13.00 S/	52.00
	CAMION GRUA 4X2 DE 10 TN	HM	1.00 S/	140.00 S/	140.00
					S/ 202.53
1.05 CEMENTACION DE TUBERIA CIEGA DE ACERO DE 500MM CON CONCRETO F'C=175 KG/CM2		1 día	Costo unitario global: S/ 1,364.14		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	CAPATAZ DE PERFORACION	HH	8.00 S/	17.34 S/	138.72
	PEON	HH	24.00 S/	11.93 S/	286.32
	OPERARIO	HH	8.00 S/	15.22 S/	121.76
					S/ 546.80
	Materiales				
	CEMENTO PORTLAND (42.5 KG)	BOL	10.00 S/	22.00 S/	220.00
	ARENA GRUESA	M3	3.00 S/	30.00 S/	90.00
	PIEDRA MEDIANA DE 3/4"	M3	2.50 S/	30.00 S/	75.00
	AGUA	M3	2.00 S/	10.50 S/	21.00
					S/ 406.00
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	546.80 S/	27.34
	CARRETIILLAS	HM	8.00 S/	13.00 S/	104.00
	MEZCLADORA DE CONCRETO DE TAMBOR DE 18HP	HM	8.00 S/	35.00 S/	280.00
					S/ 411.34
2.01 INSTALACION DE MAQUINA PERFORADORA		1 día	Costo unitario global: S/ 1,984.64		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	CAPATAZ DE PERFORACION OPERARIO DE PERFORACION	HH	8.00 S/	17.34 S/	138.72
	OFICIAL DE PERFORACION	HH	8.00 S/	15.22 S/	121.76
		HH	8.00 S/	13.23 S/	105.84
					S/ 366.32
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	366.32 S/	18.32
	MAQUINA PERFORADORA ROTATIVA ATLAS COPCO	HM	4.00 S/	400.00 S/	1,600.00
					S/ 1,618.32

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 36.2. Análisis de costos unitarios de las tareas.

2.02 PERFORACION DE POZO PILOTO DE 158,75 MM (6 1/4 IN) DE DIAMETRO DE 5 HASTA 200 M		6 días	Costo unitario global: S/ 69,130.90		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	CAPATAZ DE PERFORACION	HH	48.00 S/	17.34 S/	832.32
	OPERARIO DE PERFORACION	HH	96.00 S/	15.22 S/	1,461.12
	OFICIAL DE PERFORACION	HH	48.00 S/	13.23 S/	635.04
					S/ 2,928.48
	Materiales				
	BENTONITA SODICA (PRESENTACION DE 50 LBS)	SCO	390.00 S/	35.00 S/	13,650.00
	CONTROL DE ALCALINIDAD	KG	59.00 S/	10.00 S/	590.00
	VISCOSIFICANTE	KG	195.00 S/	25.00 S/	4,875.00
	ALQUILER DE TUBERIAS O SARTA DE PERFORACION	ML	195.00 S/	95.00 S/	18,525.00
	BROCA TRICONICA DE 158,75 MM (6 1/4 IN)	HRA	48.00 S/	42.00 S/	2,016.00
					S/ 39,656.00
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	2,928.48 S/	146.42
	TANQUE CISTERNA PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA (CAPAC. 200 GLS)	HM	48.00 S/	150.00 S/	7,200.00
	MAQUINA PERFORADORA ROTATIVA ATLAS COPCO	HM	48.00 S/	400.00 S/	19,200.00
					S/ 26,546.42
2.03 PERFILEAJE ELECTRICO Y EVALUACION DE MUESTREO DEL MATERIAL PERFORADO		1 día	Costo unitario global: S/ 6,513.50		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	OPERADOR DE EQUIPO GEOELECTRICO	HH	8.00 S/	17.34 S/	138.72
	OPERARIO	HH	8.00 S/	15.22 S/	121.76
					S/ 260.48
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	260.48 S/	13.02
	EQUIPO COMPLETO PARA PERFILEAJE ELECTRICO DE POZO	HM	8.00 S/	780.00 S/	6,240.00
					S/ 6,253.02
2.04 RIMADO DEL POZO DE 444,5 MM (17 1/2 IN) DE DIAMETRO DE 5 HASTA 200 M		9 días	Costo unitario global: S/ 104,007.36		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	CAPATAZ DE PERFORACION	HH	72.00 S/	17.34 S/	1,248.48
	OPERARIO DE PERFORACION	HH	144.00 S/	15.22 S/	2,191.68
	OFICIAL DE PERFORACION	HH	72.00 S/	13.23 S/	952.56
					S/ 4,392.72
	Materiales				
	BENTONITA SODICA (PRESENTACION DE 50 LBS)	SCO	390.00 S/	35.00 S/	13,650.00
	CONTROL DE ALCALINIDAD	KG	59.00 S/	10.00 S/	590.00
	VISCOSIFICANTE	KG	195.00 S/	25.00 S/	4,875.00
	REDUCTOR DE FILTRADO	KG	195.00 S/	25.00 S/	4,875.00
	ALQUILER DE TUBERIAS O SARTA DE PERFORACION	ML	195.00 S/	95.00 S/	18,525.00
	BROCA TRICONICA DE 444,5 MM (17 1/2 IN)	HRA	72.00 S/	240.00 S/	17,280.00
					S/ 59,795.00
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	4,392.72 S/	219.64
	TANQUE CISTERNA PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA (CAPAC. 200 GLS)	HM	72.00 S/	150.00 S/	10,800.00
	MAQUINA PERFORADORA ROTATIVA ATLAS COPCO	HM	72.00 S/	400.00 S/	28,800.00
					S/ 39,819.64
2.05 SUMINISTRO DE TUBERIA CIEGA Y FILTRO DE ACERO INOX AISI 304 DE 300MM DE DIAM. e=6.35MM		2 días	Costo unitario global: S/ 155,840.00		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Materiales				
	TUBERIA CIEGA DE ACERO INOX AISI 304 DE 300MM DE DIAM. e=6.35MM	ML	104.00 S/	760.00 S/	79,040.00
	TUBERIA FILTRO DE ACERO INOX AISI 304 DE 300MM DE DIAM. e=6.35MM	ML	96.00 S/	800.00 S/	76,800.00
					S/ 155,840.00
2.06 INSTALACION DE TUBERIA CIEGA Y FILTRO DE ACERO INOX AISI 304 DE 300MM DE DIAM. e=6.35MM		10 días	Costo unitario global: S/ 43,832.00		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	CAPATAZ DE PERFORACION	HH	80.00 S/	17.34 S/	1,387.20
	OPERARIO DE PERFORACION	HH	160.00 S/	15.22 S/	2,435.20
	TECNICO SOLDADOR	HH	80.00 S/	15.22 S/	1,217.60
					S/ 5,040.00
	Materiales				
	SOLDADURA INOX AW E308L-16 DE 3.9688 MM (5/32 IN)	KG	100.00 S/	55.00 S/	5,500.00
					S/ 5,500.00
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	5,040.00 S/	252.00
	MAQUINA DE SOLDAR	HM	80.00 S/	13.00 S/	1,040.00
	MAQUINA PERFORADORA ROTATIVA ATLAS COPCO	HM	80.00 S/	400.00 S/	32,000.00
					S/ 33,292.00

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 36.3. Análisis de costos unitarios de las tareas.

2.07 INSTALACION DE SUMINISTRO DE GRAVA PRE-FILTRO SELECCIONADA DE 5 A 9 MM Y SELLO BENTÓNICO		1 día	Costo unitario global: S/ 12,094.24		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de Obra					
	CAPATAZ DE PERFORACION	HH	8.00 S/	17.34 S/	138.72
	OPERARIO DE PERFORACION	HH	8.00 S/	15.22 S/	121.76
	OFICIAL DE PERFORACION	HH	8.00 S/	13.23 S/	105.84
				S/	366.32
Materiales					
	GRAVA REDONDEADA DE PLAYA DE 5 A 9 MM SELECCIONADA	M3	43.40 S/	234.00 S/	10,155.60
	TABLETAS BENTONICAS DE 9,525 mm (3/8 in)	BDE	1.00 S/	250.00 S/	250.00
				S/	10,405.60
Equipos					
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	366.32 S/	18.32
	CARRETIILLAS	HM	8.00 S/	13.00 S/	104.00
	VOLQUETE DE 8 M3	HM	8.00 S/	150.00 S/	1,200.00
				S/	1,322.32
2.08 CEMENTACION DE TUBERIA CIEGA DE AERO DE 500MM CON CONCRETO F'C=175 KG/CM2		1 día	Costo unitario global: S/ 1,863.98		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de Obra					
	CAPATAZ DE PERFORACION	HH	8.00 S/	17.34 S/	138.72
	PEON	HH	24.00 S/	11.93 S/	286.32
	OPERARIO	HH	8.00 S/	15.22 S/	121.76
				S/	546.80
Materiales					
	CEMENTO PORTLAND (42.5 KG)	BOL	20.00 S/	22.00 S/	440.00
	ARENA GRUESA	M3	6.00 S/	30.00 S/	180.00
	PIEDRA MEDIANA DE 3/4"	M3	5.00 S/	30.00 S/	150.00
	AGUA	M3	4.00 S/	10.50 S/	42.00
	TUBERIA PVC SAP DE 38.1 MM (1 1/2 IN)	ML	51.00 S/	1.84 S/	93.84
				S/	905.84
Equipos					
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	546.80 S/	27.34
	CARRETIILLAS	HM	8.00 S/	13.00 S/	104.00
	MEZCLADORA DE CONCRETO DE TAMBOR DE 18HP	HM	8.00 S/	35.00 S/	280.00
				S/	411.34
2.09 APLICACION DE TRIPOLIFOSFATO DE SODIO		1 día	Costo unitario global: S/ 6,209.50		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de Obra					
	CAPATAZ DE PERFORACION	HH	8.00 S/	17.34 S/	138.72
	OPERARIO DE PERFORACION	HH	8.00 S/	15.22 S/	121.76
				S/	260.48
Materiales					
	TRIPOLIFOSFATO DE SODIO	KG	200.00 S/	7.50 S/	1,500.00
				S/	1,500.00
Equipos					
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	260.48 S/	13.02
	TINA METALICA 1,90 X 1,40 X 3,00 M	HE	8.00 S/	4.50 S/	36.00
	TANQUE CISTERNA PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA (CAPAC. 200 GLS)	HM	8.00 S/	150.00 S/	1,200.00
	MAQUINA PERFORADORA ROTATIVA ATLAS COPCO	HM	8.00 S/	400.00 S/	3,200.00
				S/	4,449.02
2.10 DESINSTALACION DE MAQUINA PERFORADORA		1 día	Costo unitario global: S/ 1,838.98		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de Obra					
	OPERARIO	HH	8.00 S/	15.22 S/	121.76
	OFICIAL DE PERFORACION	HH	8.00 S/	13.23 S/	105.84
				S/	227.60
Equipos					
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	227.60 S/	11.38
	MAQUINA PERFORADORA ROTATIVA ATLAS COPCO	HM	4.00 S/	400.00 S/	1,600.00
				S/	1,611.38
2.11 PISTONEO Y LIMPIEZA DEL POZO, CON AGUA Y AIRE A PRESION		2 días	Costo unitario global: S/ 13,676.65		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de Obra					
	CAPATAZ DE PERFORACION	HH	16.00 S/	17.34 S/	277.44
	OPERARIO	HH	32.00 S/	15.22 S/	487.04
				S/	764.48
Materiales					
	HIPOCLORITO DE CALCIO AL 70%	KG	10.25 S/	15.80 S/	161.95
				S/	161.95
Equipos					
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	764.48 S/	38.22
	TINA METALICA 1,90 X 1,40 X 3,00 M	HE	16.00 S/	4.50 S/	72.00
	TANQUE CISTERNA PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA (CAPAC. 200 GLS)	HM	16.00 S/	150.00 S/	2,400.00
	MAQUINA ROTATIVA PARA AGITACION CON PISTON O AIRE	HM	16.00 S/	420.00 S/	6,720.00
	BOMBA DE LODOS DE 14 L/S	HM	16.00 S/	220.00 S/	3,520.00
				S/	12,750.22

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 36.4. Análisis de costos unitarios de las tareas.

2.12 SELLADO DEL POZO CON TAPA METALICA CON LOZA		1 día	Costo unitario global: S/ 406.61		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	CAPATAZ DE PERFORACION	HH	4.00 S/	17.34 S/	69.36
	TECNICO SOLDADOR	HH	4.00 S/	15.22 S/	60.88
	PEON	HH	4.00 S/	11.93 S/	47.72
					S/ 177.96
	Materiales				
	TAPA DE FIERRO PARA POZO DE 1 M	UND	1.00 S/	50.00 S/	50.00
	SOLDADURA INOX AW E308L-16 DE 3.9688 MM (5/32 IN)	KG	0.50 S/	55.00 S/	27.50
	CEMENTO PORTLAND (42.5 KG)	BOL	1.00 S/	22.00 S/	22.00
	ARENA GRUESA	M3	0.50 S/	30.00 S/	15.00
	AGUA	M3	0.50 S/	10.50 S/	5.25
					S/ 119.75
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	177.96 S/	8.90
	MAQUINA DE SOLDAR	HM	4.00 S/	13.00 S/	52.00
	EQUIPO DE OXICORTE	HM	4.00 S/	12.00 S/	48.00
					S/ 108.90
3.01 MONTAJE DEL EQUIPO DE BOMBEO		2 días	Costo unitario global: S/ 3,103.32		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	TECNICO ELECTRICISTA	HH	16.00 S/	17.34 S/	277.44
	TECNICO MECÁNICO	HH	16.00 S/	17.34 S/	277.44
	OPERARIO	HH	16.00 S/	15.22 S/	243.52
					S/ 798.40
	Materiales				
	CINTA BANDIT 13 MM	PZA	1.00 S/	25.00 S/	25.00
					S/ 25.00
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	798.40 S/	39.92
	CAMION GRUA 4X2 DE 10 TN	HM	16.00 S/	140.00 S/	2,240.00
					S/ 2,279.92
3.02 DESARROLLO DEL POZO CON BOMBA		1 día	Costo unitario global: S/ 2,324.16		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	TECNICO ELECTRICISTA	HH	8.00 S/	17.34 S/	138.72
	TECNICO EN PRUEBAS DE BOMBEO	HH	8.00 S/	17.34 S/	138.72
	OPERARIO	HH	8.00 S/	15.22 S/	121.76
					S/ 399.20
	Materiales				
	CINTA BANDIT 13 MM	PZA	1.00 S/	25.00 S/	25.00
					S/ 25.00
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	399.20 S/	19.96
	ACCESORIO PARA BOMBEO (TUBERIA DE DESCARGA)	HE	8.00 S/	5.00 S/	40.00
	ACCESORIO PARA MEDICION DE PRUEBA DE BOMBEO	HM	8.00 S/	6.00 S/	48.00
	BOMBA PARA PRUEBAS DE 100 HP	HM	8.00 S/	140.00 S/	1,120.00
	SONDA ELECTRICA DE NIVELES	HM	8.00 S/	7.00 S/	56.00
	SONDA ELECTRICA DE CALIDAD DE AGUA	HM	8.00 S/	7.00 S/	56.00
	GRUPO ELECTROGENO 140 HP 90 KW	HM	8.00 S/	70.00 S/	560.00
					S/ 1,899.96
3.03 PRUEBA DE BOMBEO CON CAUDAL VARIABLE		3 días	Costo unitario global: S/ 6,897.48		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	TECNICO ELECTRICISTA	HH	24.00 S/	17.34 S/	416.16
	TECNICO EN PRUEBAS DE BOMBEO	HH	24.00 S/	17.34 S/	416.16
	OPERARIO	HH	24.00 S/	15.22 S/	365.28
					S/ 1,197.60
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	1,197.60 S/	59.88
	ACCESORIO PARA BOMBEO (TUBERIA DE DESCARGA)	HE	24.00 S/	5.00 S/	120.00
	ACCESORIO PARA MEDICION DE PRUEBA DE BOMBEO	HM	24.00 S/	6.00 S/	144.00
	BOMBA PARA PRUEBAS DE 100 HP	HM	24.00 S/	140.00 S/	3,360.00
	SONDA ELECTRICA DE NIVELES	HM	24.00 S/	7.00 S/	168.00
	SONDA ELECTRICA DE CALIDAD DE AGUA	HM	24.00 S/	7.00 S/	168.00
	GRUPO ELECTROGENO 140 HP 90 KW	HM	24.00 S/	70.00 S/	1,680.00
					S/ 5,699.88
3.04 DESMONTAJE DEL EQUIPO DE BOMBEO		2 días	Costo unitario global: S/ 3,078.32		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	TECNICO ELECTRICISTA	HH	16.00 S/	17.34 S/	277.44
	TECNICO MECÁNICO	HH	16.00 S/	17.34 S/	277.44
	OPERARIO	HH	16.00 S/	15.22 S/	243.52
					S/ 798.40
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	798.40 S/	39.92
	CAMION GRUA 4X2 DE 10 TN	HM	16.00 S/	140.00 S/	2,240.00
					S/ 2,279.92

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 36.5. Análisis de costos unitarios de las tareas.

4.01 LIMPIEZA Y TAPADO DE POZAS DE LODOS, Y NIVELACION DE TERRENO		3 días	Costo unitario global: S/ 6,100.51			
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial	
	Mano de Obra					
	CAPATAZ OPERARIO	HH	24.00 S/	17.34 S/	416.16	
		HH	24.00 S/	15.22 S/	365.28	
					S/ 781.44	
	Equipos					
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	781.44 S/	39.07	
	TANQUE CISTERNA PARA TRASLADO DE AGUA CON LODO (CAPAC. 200 GLS)	HM	16.00 S/	150.00 S/	2,400.00	
	CARGADOR RETROEXCAVADORA 62HP	HM	24.00 S/	120.00 S/	2,880.00	
					S/ 5,319.07	
4.02 EXCAVACION DE ZANJAS PARA ZAPATAS Y CISTERNA		10 días	Costo unitario global: S/ 23,396.24			
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial	
	Mano de Obra					
	CAPATAZ OPERARIO	HH	80.00 S/	17.34 S/	1,387.20	
	PEON	HH	80.00 S/	15.22 S/	1,217.60	
		HH	800.00 S/	11.93 S/	9,544.00	
					S/ 12,148.80	
	Equipos					
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	12,148.80 S/	607.44	
	CARRETIILLAS	HM	80.00 S/	13.00 S/	1,040.00	
	CARGADOR RETROEXCAVADORA 62HP	HM	80.00 S/	120.00 S/	9,600.00	
					S/ 11,247.44	
4.03 ARMADO DE ZAPATAS Y COLUMNAS		4 días	Costo unitario global: S/ 5,847.74			
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial	
	Mano de Obra					
	PEON	HH	96.00 S/	11.93 S/	1,145.28	
					S/ 1,145.28	
	Materiales					
	FIERRO CORRUGADO DE 15.875 MM (5/8 IN) X 9 M	VAR	66.00 S/	45.00 S/	2,970.00	
	FIERRO CORRUGADO DE 12.7 MM (1/2 IN) X 9 M	VAR	40.00 S/	27.00 S/	1,080.00	
	FIERRO CORRUGADO DE 6.35 MM (1/4 IN) X 9 M	VAR	18.00 S/	6.65 S/	119.70	
	ALAMBRE NEGRO N° 16	KG	15.00 S/	6.10 S/	91.50	
					S/ 4,261.20	
	Equipos					
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	1,145.28 S/	57.26	
	DOBLADORA	HM	32.00 S/	12.00 S/	384.00	
					S/ 441.26	
4.04 MONTAJE DE COLUMNAS Y VACIADO DE ZAPATAS CON CONCRETO F'C=210 KG/CM2		5 días	Costo unitario global: S/ 15,526.76			
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial	
	Mano de Obra					
	CAPATAZ	HH	40.00 S/	17.34 S/	693.60	
	PEON	HH	320.00 S/	11.93 S/	3,817.60	
					S/ 4,511.20	
	Materiales					
	CEMENTO PORTLAND (42.5 KG)	BOL	200.00 S/	22.00 S/	4,400.00	
	ARENA GRUESA	M3	60.00 S/	30.00 S/	1,800.00	
	PIEDRA MEDIANA DE 1"	M3	50.00 S/	45.00 S/	2,250.00	
	AGUA	M3	40.00 S/	10.50 S/	420.00	
					S/ 8,870.00	
	Equipos					
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	4,511.20 S/	225.56	
	CARRETIILLAS	HM	40.00 S/	13.00 S/	520.00	
	MEZCLADORA DE CONCRETO DE TAMBOR DE 18HP	HM	40.00 S/	35.00 S/	1,400.00	
					S/ 2,145.56	
4.05 VACIADO DE SOBRECIMIENTO F'C=210 KG/CM2		7 días	Costo unitario global: S/ 14,075.66			
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial	
	Mano de Obra					
	CAPATAZ	HH	56.00 S/	17.34 S/	971.04	
	PEON	HH	448.00 S/	11.93 S/	5,344.64	
					S/ 6,315.68	
	Materiales					
	CEMENTO PORTLAND (42.5 KG)	BOL	100.00 S/	22.00 S/	2,200.00	
	ARENA GRUESA	M3	30.00 S/	30.00 S/	900.00	
	PIEDRA MEDIANA DE 1"	M3	25.00 S/	45.00 S/	1,125.00	
	AGUA	M3	20.00 S/	10.50 S/	210.00	
	CLAVO PARA MADERA 3"	KG	10.00 S/	4.12 S/	41.20	
					S/ 4,476.20	
	Equipos					
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	6,315.68 S/	315.78	
	MADERA TORNILLO (LARGA)	HE	56.00 S/	5.00 S/	280.00	
	CARRETIILLAS	HM	56.00 S/	13.00 S/	728.00	
	MEZCLADORA DE CONCRETO DE TAMBOR DE 18HP	HM	56.00 S/	35.00 S/	1,960.00	
					S/ 3,283.78	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 36.6. Análisis de costos unitarios de las tareas.

4.06 CONSTRUCCION DE MUROS DE LADRILLOS		15 días	Costo unitario global: S/ 25,080.28		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	CAPATAZ	HH	120.00 S/	17.34 S/	2,080.80
	PEON	HH	960.00 S/	11.93 S/	11,452.80
					S/ 13,533.60
	Materiales				
	CEMENTO PORTLAND (42.5 KG)	BOL	100.00 S/	22.00 S/	2,200.00
	ARENA GRUESA	M3	30.00 S/	30.00 S/	900.00
	AGUA	M3	20.00 S/	10.50 S/	210.00
	LADRILLO KING KONG 18H 9X13X23	MLL	1.60 S/	600.00 S/	960.00
					S/ 4,270.00
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	13,533.60 S/	676.68
	ANDAMIOS	HE	120.00 S/	7.00 S/	840.00
	CARRETIILLAS	HM	120.00 S/	13.00 S/	1,560.00
	MEZCLADORA DE CONCRETO DE TAMBOR DE 18HP	HM	120.00 S/	35.00 S/	4,200.00
					S/ 7,276.68
4.07 VACIADO DE COLUMNAS CON CONCRETO F'C=210 KG/CM2		9 días	Costo unitario global: S/ 19,655.37		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	CAPATAZ	HH	72.00 S/	17.34 S/	1,248.48
	PEON	HH	576.00 S/	11.93 S/	6,871.68
					S/ 8,120.16
	Materiales				
	CEMENTO PORTLAND (42.5 KG)	BOL	200.00 S/	22.00 S/	4,400.00
	ARENA GRUESA	M3	60.00 S/	30.00 S/	1,800.00
	PIEDRA MEDIANA DE 3/4"	M3	50.00 S/	30.00 S/	1,500.00
	AGUA	M3	40.00 S/	10.50 S/	420.00
	CLAVO PARA MADERA 3"	KG	10.00 S/	4.12 S/	41.20
					S/ 8,161.20
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	8,120.16 S/	406.01
	MADERA TORNILLO (LARGA)	HE	56.00 S/	5.00 S/	280.00
	CARRETIILLAS	HM	56.00 S/	13.00 S/	728.00
	MEZCLADORA DE CONCRETO DE TAMBOR DE 18HP	HM	56.00 S/	35.00 S/	1,960.00
					S/ 3,374.01
4.08 ARMADO DE VIGAS		3 días	Costo unitario global: S/ 3,650.71		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	PEON	HH	72.00 S/	11.93 S/	858.96
					S/ 858.96
	Materiales				
	FIERRO CORRUGADO DE 15.875 MM (5/8 IN) X 9 M	VAR	44.00 S/	45.00 S/	1,980.00
	FIERRO CORRUGADO DE 12.7 MM (1/2 IN) X 9 M	VAR	16.00 S/	27.00 S/	432.00
	ALAMBRE NEGRO N° 16	KG	8.00 S/	6.10 S/	48.80
					S/ 2,460.80
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	858.96 S/	42.95
	DOBLADORA	HM	24.00 S/	12.00 S/	288.00
					S/ 330.95
4.09 MONTAJE Y VACIADO, DE VIGAS, VIGUETAS Y TECHO CON CONCRETO F'C=210 KG/CM2		16 días	Costo unitario global: S/ 32,575.23		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	CAPATAZ	HH	128.00 S/	17.34 S/	2,219.52
	PEON	HH	1024.00 S/	11.93 S/	12,216.32
					S/ 14,435.84
	Materiales				
	CEMENTO PORTLAND (42.5 KG)	BOL	200.00 S/	22.00 S/	4,400.00
	ARENA GRUESA	M3	60.00 S/	30.00 S/	1,800.00
	PIEDRA MEDIANA DE 3/4"	M3	50.00 S/	30.00 S/	1,500.00
	AGUA	M3	40.00 S/	10.50 S/	420.00
	LADRILLO KING KONG 18H 9X13X23	MLL	1.40 S/	450.00 S/	630.00
	FIERRO CORRUGADO DE 12.7 MM (1/2 IN) X 9 M	VAR	64.00 S/	27.00 S/	1,728.00
	ALAMBRE NEGRO N° 16	KG	12.00 S/	6.10 S/	73.20
	CLAVO PARA MADERA 3"	KG	20.00 S/	4.12 S/	82.40
					S/ 10,633.60
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	14,435.84 S/	721.79
	MADERA TORNILLO (LARGA)	HE	128.00 S/	5.00 S/	640.00
	CARRETIILLAS	HM	128.00 S/	13.00 S/	1,664.00
	MEZCLADORA DE CONCRETO DE TAMBOR DE 18HP	HM	128.00 S/	35.00 S/	4,480.00
					S/ 7,505.79

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 36.7. Análisis de costos unitarios de las tareas.

4.10 INSTALACION DE SUMINISTRO DE CAJAS DE PASO Y TUBERIAS DE PVC PARA ELECTRICIDAD Y DESAGUE		5 días	Costo unitario global: S/ 4,834.57		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	CAPATAZ	HH	40.00 S/	17.34 S/	693.60
	PEON	HH	200.00 S/	11.93 S/	2,386.00
					S/ 3,079.60
	Materiales				
	CAJA DE PASO OCTOGONAL DE PLASTICO	PTO	23.00 S/	1.00 S/	23.00
	CAJA DE PASO RECTANGULAR DE PLASTICO	PTO	16.00 S/	0.90 S/	14.43
	TUBERIA DE PVC SEL DE 15 MM (1/2 IN) DE DIAM.	ML	160.00 S/	0.72 S/	115.20
	TUBERIA DE PVC SAP DE 50 MM (2 IN) DE DIAM.	ML	9.00 S/	7.55 S/	67.95
	TUBERIA DE PVC SAP DE 40 MM (1 1/2 IN) DE DIAM.	ML	16.00 S/	2.75 S/	44.00
	TUBERIA DE PVC SAP DE 80 MM (3 IN) DE DIAM.	ML	10.00 S/	15.17 S/	151.70
	CURVA DE PVC SEL 90° DE 15 MM (1/2 IN) DE DIAM.	UND	66.00 S/	0.31 S/	20.46
	CURVA DE PVC SAP DE 90° DE 50 MM (2 IN) DE DIAM.	UND	2.00 S/	6.88 S/	13.76
	CURVA DE PVC SAP DE 90° DE 40 MM (1 1/2 IN) DE DIAM.	UND	6.00 S/	3.00 S/	18.00
	CURVA DE PVC SAP DE 90° DE 80 MM (3 IN) DE DIAM.	UND	2.00 S/	20.77 S/	41.54
	TUBERIA DE PVC PARA AGUA DE 15 MM (1/2 IN) DE DIAM. CON ROSCA	ML	6.00 S/	1.80 S/	10.80
	CODO DE PVC PARA AGUA DE 15 MM (1/2 IN) DE DIAM. CON ROSCA	UND	5.00 S/	1.10 S/	5.50
	TEE DE PVC PARA AGUA DE 15 MM (1/2 IN) DE DIAM. CON ROSCA	UND	2.00 S/	1.70 S/	3.40
	VALVULA DE GLOBO DE DN 15 MM (1/2 IN) DE PLASTICO	UND	1.00 S/	6.50 S/	6.50
	TUBERIA DE PVC SAL DE 100 MM (4 IN) DE DIAM.	ML	35.00 S/	7.28 S/	254.80
	CODO DE PVC SAL DE 100 MM (4 IN) DE DIAM.	UND	6.00 S/	1.70 S/	10.20
	CINTA TEFLON 12.7 MM (1/2 IN)	UND	2.00 S/	2.50 S/	5.00
	PEGAMENTO PARA TUBO DE PVC, PRESENTACION EN 1/4 GALON	UND	3.00 S/	31.95 S/	95.85
	CAJA DE REGISTRO DE DESAGUE DE 4"	UND	3.00 S/	148.90 S/	446.70
	ALAMBRE NEGRO N° 16	KG	2.00 S/	6.10 S/	12.20
					S/ 1,360.99
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	3,079.60 S/	153.98
	ESCALERA TIPO TIJERA DE 4 METROS	HM	40.00 S/	4.00 S/	160.00
	ESCALERA TIPO TIJERA DE 2 METROS	HM	40.00 S/	2.00 S/	80.00
					S/ 393.98
4.11 TARRAJEADO CON IMPERMEABILIZANTE LOS MUROS, COLUMNAS Y TECHO DE LA CISTERNA		5 días	Costo unitario global: S/ 5,993.82		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	CAPATAZ	HH	20.00 S/	17.34 S/	346.80
	PEON	HH	120.00 S/	11.93 S/	1,431.60
					S/ 1,778.40
	Materiales				
	CEMENTO PORTLAND (42.5 KG)	BOL	50.00 S/	22.00 S/	1,100.00
	ARENA FINA	M3	30.00 S/	21.00 S/	630.00
	AGUA	M3	15.00 S/	10.50 S/	157.50
	IMPERMEABILIZANTE PARA MEZCLAR CON CONCRETO	GLN	10.00 S/	23.90 S/	239.00
					S/ 2,126.50
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	1,778.40 S/	88.92
	ESCALERA TIPO TIJERA DE 2 METROS	HM	40.00 S/	2.00 S/	80.00
	CARRETIILLAS	HM	40.00 S/	13.00 S/	520.00
	MEZCLADORA DE CONCRETO DE TAMBOR DE 18HP	HM	40.00 S/	35.00 S/	1,400.00
					S/ 2,088.92
4.12 TARRAJEADO DE MUROS, COLUMNAS Y TECHO, DE LA CISTERNA Y CASETA		12 días	Costo unitario global: S/ 15,351.45		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	CAPATAZ	HH	76.00 S/	17.34 S/	1,317.84
	PEON	HH	480.00 S/	11.93 S/	5,726.40
					S/ 7,044.24
	Materiales				
	CEMENTO PORTLAND (42.5 KG)	BOL	100.00 S/	22.00 S/	2,200.00
	ARENA FINA	M3	60.00 S/	21.00 S/	1,260.00
	AGUA	M3	30.00 S/	10.50 S/	315.00
					S/ 3,775.00
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	7,044.24 S/	352.21
	ANDAMIOS	HE	76.00 S/	7.00 S/	532.00
	CARRETIILLAS	HM	76.00 S/	13.00 S/	988.00
	MEZCLADORA DE CONCRETO DE TAMBOR DE 18HP	HM	76.00 S/	35.00 S/	2,660.00
					S/ 4,532.21
4.13 VACIADO DE PISO CON IMPERMEABILIZANTE INTERIOR DE LA CISTERNA		3 días	Costo unitario global: S/ 3,419.74		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	CAPATAZ	HH	12.00 S/	17.34 S/	208.08
	PEON	HH	72.00 S/	11.93 S/	858.96
					S/ 1,067.04
	Materiales				
	CEMENTO PORTLAND (42.5 KG)	BOL	25.00 S/	22.00 S/	550.00
	ARENA GRUESA	M3	12.00 S/	30.00 S/	360.00
	ARENA FINA	M3	3.00 S/	21.00 S/	63.00
	AGUA	M3	7.50 S/	10.50 S/	78.75
	IMPERMEABILIZANTE PARA MEZCLAR CON CONCRETO	GLN	4.00 S/	23.90 S/	95.60
					S/ 1,147.35
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	1,067.04 S/	53.35
	CARRETIILLAS	HM	24.00 S/	13.00 S/	312.00
	MEZCLADORA DE CONCRETO DE TAMBOR DE 18HP	HM	24.00 S/	35.00 S/	840.00
					S/ 1,205.35

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 36.8. Análisis de costos unitarios de las tareas.

4.14 VACIADO DE PISO Y ESCALERA DE LAS CASETAS		4 días	Costo unitario global: S/ 5,733.09		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	CAPATAZ	HH	20.00 S/	17.34 S/	346.80
	PEON	HH	128.00 S/	11.93 S/	1,527.04
					S/ 1,873.84
	Materiales				
	CEMENTO PORTLAND (42.5 KG)	BOL	50.00 S/	22.00 S/	1,100.00
	ARENA GRUESA	M3	20.00 S/	30.00 S/	600.00
	ARENA FINA	M3	10.00 S/	21.00 S/	210.00
	AGUA	M3	15.00 S/	10.50 S/	157.50
	CLAVO PARA MADERA 3"	KG	0.50 S/	4.12 S/	2.06
					S/ 2,069.56
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	1,873.84 S/	93.69
	MADERA TORNILLO (LARGA)	HE	32.00 S/	5.00 S/	160.00
	CARRETIILLAS	HM	32.00 S/	13.00 S/	416.00
	MEZCLADORA DE CONCRETO DE TAMBOR DE 18HP	HM	32.00 S/	35.00 S/	1,120.00
					S/ 1,789.69
4.15 VACIADO DE PISO DE PASADIZOS EXTERNOS		4 días	Costo unitario global: S/ 5,264.64		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	CAPATAZ	HH	32.00 S/	17.34 S/	554.88
	PEON	HH	128.00 S/	11.93 S/	1,527.04
					S/ 2,081.92
	Materiales				
	CEMENTO PORTLAND (42.5 KG)	BOL	30.00 S/	22.00 S/	660.00
	ARENA GRUESA	M3	18.00 S/	30.00 S/	540.00
	ARENA FINA	M3	5.00 S/	21.00 S/	105.00
	AGUA	M3	7.00 S/	10.50 S/	73.50
	CLAVO PARA MADERA 3"	KG	1.00 S/	4.12 S/	4.12
					S/ 1,382.62
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	2,081.92 S/	104.10
	MADERA TORNILLO (LARGA)	HE	32.00 S/	5.00 S/	160.00
	CARRETIILLAS	HM	32.00 S/	13.00 S/	416.00
	MEZCLADORA DE CONCRETO DE TAMBOR DE 18HP	HM	32.00 S/	35.00 S/	1,120.00
					S/ 1,800.10
4.16 PINTADO DE MUROS, COLUMNAS Y TECHO CON IMPERMEABILIZANTE INTERIOR DE LA CISTERNA		3 días	Costo unitario global: S/ 981.68		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	PINTOR	HH	24.00 S/	15.22 S/	365.28
	AYUDANTE DE PINTOR	HH	24.00 S/	11.93 S/	286.32
					S/ 651.60
	Materiales				
	IMPERMEABILIZANTE CHEMA TIPO PINTURA	GLN	4.00 S/	42.00 S/	168.00
	AGUA	M3	3.00 S/	10.50 S/	31.50
	LIJA PARA FIERRO N°60	UND	20.00 S/	2.50 S/	50.00
					S/ 249.50
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	651.60 S/	32.58
	ESCALERA TIPO TIJERA DE 2 METROS	HM	24.00 S/	2.00 S/	48.00
					S/ 80.58
4.17 PINTADO DE MUROS, COLUMNAS Y TECHO, DE LAS CASETAS		7 días	Costo unitario global: S/ 2,667.67		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	PINTOR	HH	56.00 S/	15.22 S/	852.32
	AYUDANTE DE PINTOR	HH	56.00 S/	11.93 S/	668.08
					S/ 1,520.40
	Materiales				
	SELLADOR PARA MUROS TIPO BASE BLANCO	GLN	20.00 S/	19.00 S/	380.00
	PINTURA LATEX BLANCO	GLN	9.00 S/	45.00 S/	405.00
	AGUA	M3	3.50 S/	10.50 S/	36.75
	LIJA PARA FIERRO N°60	UND	55.00 S/	2.50 S/	137.50
					S/ 959.25
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	1,520.40 S/	76.02
	ESCALERA TIPO TIJERA DE 2 METROS	HM	56.00 S/	2.00 S/	112.00
					S/ 188.02
4.18 INSTALACION DE ACCESORIOS DE DESAGUE Y DE SERVICIO HIGIENICO		3 días	Costo unitario global: S/ 995.29		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	PEON	HH	24.00 S/	11.93 S/	286.32
					S/ 286.32
	Materiales				
	CONJUNTO INODORO Y LAVADERO CERAMICO	UND	1.00 S/	259.90 S/	259.90
	LLAVE PARA LAVATORIO DE 12.7 (1/2 IN) MARCA TREBOL	UND	1.00 S/	22.90 S/	22.90
	LLAVE PARA JARDIN DE 12.7 (1/2 IN) MARCA ITAP	UND	1.00 S/	27.90 S/	27.90
	ACCESORIOS PARA INSTALAR TANQUE DE INODORO Y TRAMPA DE LAVADERO	UND	1.00 S/	105.00 S/	105.00
	TAPA DE REGISTRO DE SUMIDERO DE 101.6 MM (4 IN)	UND	5.00 S/	26.00 S/	130.00
	CINTA TEFLON 12.7 MM (1/2 IN)	UND	2.00 S/	2.50 S/	5.00
	PEGAMENTO PARA TUBO DE PVC, PRESENTACION EN 1/4 GALON	UND	1.00 S/	31.95 S/	31.95
					S/ 582.65
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	286.32 S/	14.32
	ESCALERA TIPO TIJERA DE 2 METROS	HM	56.00 S/	2.00 S/	112.00
					S/ 126.32

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 36.9. Análisis de costos unitarios de las tareas.

4.19 INSTALACION DE SUMINISTRO DE PUERTAS, VENTANAS Y OTROS		12 días	Costo unitario global: S/ 6,443.61		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	TECNICO SOLDADOR	HH	48.00 S/	15.22 S/	730.56
	PEON	HH	96.00 S/	11.93 S/	1,145.28
					S/ 1,875.84
	Materiales				
	PUERTA FABRICADA DE MADERA CON MARCO PINTADA DE 0,90 X 2,40 M	UND	2.00 S/	125.00 S/	250.00
	PUERTA FABRICADA DE METAL DE DOS HOJAS CON MARCO PINTADA DE 1,80 X 2,40 M	UND	3.00 S/	290.00 S/	870.00
	PUERTA FABRICADA DE METAL DE DOS HOJAS TIPO REJA CON MARCO PINTADA DE 2,65 X 2,30 M	UND	1.00 S/	370.00 S/	370.00
	PUERTA FABRICADA DE METAL DE DOS HOJAS TIPO REJA CON MARCO PINTADA DE 3,40 X 2,30 M	UND	1.00 S/	460.00 S/	460.00
	MARCO DE VENTANA DE ALUMINIO FABRICADO DE 0,80 X 1,50 M CON VIDRIO DE 4 MM DE ESPESOR	UND	1.00 S/	95.00 S/	95.00
	MARCO DE VENTANA DE ALUMINIO FABRICADO DE 0,90 X 0,40 M CON VIDRIO DE 4 MM DE ESPESOR	UND	1.00 S/	55.00 S/	55.00
	MARCO DE VENTANA DE ALUMINIO FABRICADO DE 1,525 X 0,25 M CON VIDRIO DE 4 MM DE ESPESOR	UND	4.00 S/	75.00 S/	300.00
	MARCO DE VENTANA DE ALUMINIO FABRICADO DE 1,80 X 0,25 M CON VIDRIO DE 4 MM DE ESPESOR	UND	3.00 S/	85.00 S/	255.00
	MARCO DE VENTANA DE ALUMINIO FABRICADO DE 1,40 X 0,25 M CON VIDRIO DE 4 MM DE ESPESOR	UND	2.00 S/	65.00 S/	130.00
	ESCALERA DE METAL DE TIPO GATO FABRICADA Y PINTADA DE 2.75 X 0.45 M DE TUBERIA CUADRADA DE FIERRO DE 25.4 MM	UND	1.00 S/	235.00 S/	235.00
	TECHO DE METAL FABRICADO Y PINTADO DE 3.80 X 1.86 X 0.25 M DE AGUJO DE FIERRO DE 25.4 MM	UND	1.00 S/	450.00 S/	450.00
	SOLDADURA CELLOCORD E6011 DE 3.175 mm (1/8 in)	KG	0.50 S/	13.90 S/	6.95
	CLAVO PARA MADERA 3"	KG	0.25 S/	4.12 S/	1.03
	TORNILLO CABEZA PLANA 2"	UND	100.00 S/	0.10 S/	10.00
	TARUGO PLASTICO DE 3/8"	UND	100.00 S/	2.50 S/	250.00
					S/ 3,737.98
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	1,875.84 S/	93.79
	MAQUINA DE SOLDAR	HM	48.00 S/	13.00 S/	624.00
	ESCALERA TIPO TIJERA DE 2 METROS	HM	56.00 S/	2.00 S/	112.00
					S/ 829.79
5.01 INSTALACION DE SUBESTACION ELECTRICA EN POSTES, INSTALACION DE MEDIDOR Y ACOMETIDA		20 días	Costo unitario global: S/ 225,000.00		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	EMPRESA CONTRATADA PARA LA INSTALACION DE LA SUBESTACION	GLB	1.00 S/	30,000.00 S/	30,000.00
					S/ 30,000.00
	Materiales				
	TRANSFORMADOR TRIFASICO DE 250 KVA	UND	1.00 S/	100,000.00 S/	100,000.00
	POSTES Y BASE DE CONCRETO PARA INSTALAR TRANSFORMADOR	UND	1.00 S/	25,000.00 S/	25,000.00
	ACCESORIOS PARA SUBESTACION, CABLEADO Y MEDIDOR ELECTRICOS	UND	1.00 S/	20,000.00 S/	20,000.00
					S/ 145,000.00
	Equipos				
	EQUIPOS DE EMPRESA CONTRATADA PARA LA INSTALACION DE LA SUBESTACION	GLB	1.00 S/	50,000.00 S/	50,000.00
					S/ 50,000.00
6.01 SUMINISTRO DE BOMBA SUMERGIBLE Y CENTRIFUGAS, TUBERIAS, BRIDAS Y ACCESORIOS HIDRAULICOS		5 días	Costo unitario global: S/ 370,806.16		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Materiales				
	BOMBA SUMERGIBLE DE 70 HP Y 7 IMPULSORES Q=30 L/S; H=120 M; MARCA HIDROSTAL	UND	1.00 S/	128,500.00 S/	128,500.00
	BOMBA CENTRIFUGA HORIZONTAL DE 24 HP E IMPULSOR DE 150 MM; Q=30 L/S; H=33 M; MARCA HIDROSTAL	UND	2.00 S/	53,500.00 S/	107,000.00
	TUBERIA CIEGA DE ACERO ASTM A53 SCH 40 DE DN 125 MM DE 6 M DE LARGO CON ROSCA NPT AMBOS LADOS	ML	108.00 S/	245.00 S/	26,460.00
	UNION SIMPLE TIPO ROSCA NPT AMBOS LADOS DN 125 MM; PN-16	UND	18.00 S/	135.00 S/	2,430.00
	VALVULA DE VERIFICACION TIPO RESORTE VERTICAL CON ROSCA NPT AMBOS LADOS DN 125 MM; PN-16	UND	1.00 S/	4,500.00 S/	4,500.00
	CODO DE DESCARGA A 90° ENTRADA DN 125 MM CON ROSCA NPT SALIDA DN 150 MM CON BRIDA NTP ISO 7005-1; PN-16	UND	1.00 S/	985.00 S/	985.00
	VALVULA CHECK SILENCIOSA TIPO GLOBO DN 150 MM CON BRIDAS NTP ISO 7005-1; PN-10; MARCA FUMOSAC	UND	3.00 S/	4,830.00 S/	14,490.00
	MEDIDOR DE CAUDAL ELECTROMAGNETICO SIEMENS MAG 5100W DE DN 150 MM CON BRIDAS NTP ISO 7005-1; PN-10	UND	1.00 S/	8,216.00 S/	8,216.00
	CODO ESTANDAR DE HIERRO DUCTIL A 90° DE DN 150 MM CON BRIDAS NTP ISO 7005-1; PN-10; MARCA FUMOSAC	UND	15.00 S/	349.00 S/	5,235.00
	CODO ESTANDAR DE HIERRO DUCTIL A 90° DE DN 150 MM CON BRIDAS NTP ISO 7005-1; PN-10; MARCA FUMOSAC	UND	2.00 S/	301.00 S/	602.00
	BRIDA DE ACERO PARA SOLAR DE DN 150 MM NTP ISO 7005-1; PN-10; MARCA FUMOSAC	UND	42.00 S/	69.06 S/	2,900.52
	BRIDA ROMPE A GUA O ANCLAJE DE ACERO PARA SOLAR DE DN 150 MM NTP ISO 7005-1; PN-10; MARCA FUMOSAC	UND	7.00 S/	28.30 S/	198.10
	TUBERIA CIEGA DE ACERO ASTM A53 SCH 40 DE DN 150 MM DE 6 M DE LARGO	UND	17.60 S/	325.00 S/	5,720.00
	EMPAQUETADURA PARA BRIDA DE JEBE LONA DE DN 150 MM; MARCA FUMOSAC	UND	56.00 S/	7.57 S/	423.92
	VALVULA DE PIE CON CANASTILLA DN 150 MM CON BRIDA NTP 350.105; PN-10; MARCA FUMOSAC	UND	2.00 S/	2,179.50 S/	4,359.00
	VALVULA DE COMPUERTA DE HIERRO DUCTIL DN 150 MM NTP ISO 7259-SERIE 3 TIPO BRIDA NTP-350-064; PN-10; MARCA FUMUM	UND	7.00 S/	638.22 S/	4,467.54
	REDUCCION EXCENTRICA DE HIERRO DUCTIL DE DN 150 MM A 100 MM SEGUN NTP ISO 2531-2001; PN-10; MARCA FUMOSAC	UND	2.00 S/	254.90 S/	509.80
	UNION FLEXIBLE DE GOMA DN 100 MM CON BRIDA NTP ISO 7005-1; PN-10	UND	2.00 S/	318.20 S/	636.40
	EMPAQUETADURA PARA BRIDA DE JEBE LONA DE DN 100 MM; MARCA FUMOSAC	UND	4.00 S/	6.19 S/	24.76
	UNION FLEXIBLE DE GOMA DN 65 MM CON BRIDA NTP ISO 7005-1; PN-10	UND	2.00 S/	273.40 S/	546.80
	EMPAQUETADURA PARA BRIDA DE JEBE LONA DE DN 65 MM; MARCA FUMOSAC	UND	4.00 S/	4.57 S/	18.28
	REDUCCION CONCENTRICA DE HIERRO DUCTIL DE DN 150 MM A 65 MM SEGUN NTP ISO 2531-2001; PN-10; MARCA FUMOSAC	UND	2.00 S/	215.17 S/	430.34
	YE REDUCTORA LATERAL 45° DE HIERRO DUCTIL DN 200X150 MM SEGUN NTP ISO 2531-2001 TIPO BRIDA; PN-10; MARCA FUMUM	UND	3.00 S/	759.86 S/	2,279.58
	VALVULA CHECK SILENCIOSA TIPO GLOBO DN 200 MM CON BRIDAS NTP ISO 7005-1; MARCA FUMOSAC	UND	1.00 S/	6,896.45 S/	6,896.45
	TEE CON TRES BRIDAS DE HIERRO DUCTIL DN 200X50 MM SEGUN NTP ISO 2531-2001 TIPO BRIDA; PN-10; MARCA FUMOSAC	UND	1.00 S/	622.12 S/	622.12
	VALVULA DE COMPUERTA DE HIERRO DUCTIL DN 50 MM NTP ISO 7259-SERIE 3 TIPO BRIDA NTP-350-064; PN-10; MARCA FUMUM	UND	1.00 S/	236.62 S/	236.62
	VALVULA AUTOMATICA DE ENTRADA Y SALIDA DE AIRE CINETICA TRIPLE FUNCION DN 50 MM CON BRIDA NTP 350.101; PN-10; UND	UND	1.00 S/	4,869.00 S/	4,869.00
	TEE CON TRES BRIDAS DE HIERRO DUCTIL DN 200X150 MM SEGUN NTP ISO 2531-2001 TIPO BRIDA; PN-10; MARCA FUMOSAC	UND	1.00 S/	719.56 S/	719.56
	TEE CON TRES BRIDAS DE HIERRO DUCTIL DN 200X200 MM SEGUN NTP ISO 2531-2001 TIPO BRIDA; PN-10; MARCA FUMOSAC	UND	1.00 S/	828.29 S/	828.29
	REDUCCION CONCENTRICA DE HIERRO DUCTIL DE DN 200 MM A 150 MM SEGUN NTP ISO 2531-2001; PN-10; MARCA FUMOSAC	UND	1.00 S/	278.95 S/	278.95
	VALVULA MARIPOSA EXCENTRICA DE ACERO INOXIDABLE DN 150 MM TIPO BRIDA; PN-10; MARCA FUMOSAC	UND	1.00 S/	2,495.00 S/	2,495.00
	VALVULA DE CONTROL DIFERENCIAL DE ENTRADA Y SALIDA DE AIRE CINETICA TRIPLE FUNCION DN 150 MM CON BRIDAS NTP ISO 7005-1; PN-10; MARCA SINGER VALVE	UND	1.00 S/	13,278.28 S/	13,278.28
	MANOMETRO DIGITAL CON SENSOR TRANSDUCTOR DE PRESION DE 1/2" MARCA APLISENS MEDIDA DE 0-25 BAR	UND	1.00 S/	4,336.00 S/	4,336.00
	MEDIDOR DE CAUDAL ELECTROMAGNETICO SIEMENS MAG 5100W DE DN 200 MM A PN-10 CON BRIDA NTP ISO 7005-1	UND	1.00 S/	9,044.00 S/	9,044.00
	CODO ESTANDAR DE HIERRO DUCTIL DN 150 MM NTP ISO 7259-SERIE 3 TIPO BRIDA NTP-350-064; PN-10; MARCA FUMUM	UND	1.00 S/	918.22 S/	918.22
	CODO ESTANDAR DE HIERRO DUCTIL A 45° DE DN 200 MM CON BRIDAS NTP ISO 7005-1; PN-10; MARCA FUMOSAC	UND	2.00 S/	485.97 S/	971.94
	BRIDA DE ACERO PARA SOLAR DE DN 200 MM NTP ISO 7005-1; PN-10; MARCA FUMOSAC	UND	16.00 S/	91.97 S/	1,471.52
	PLACA O BRIDA CIEGA DE ACERO DE DN 200 MM NTP ISO 2531; PN-10; MARCA FUMOSAC	UND	1.00 S/	187.90 S/	187.90
	TUBERIA CIEGA DE ACERO ASTM A53 SCH 40 DE DN 200 MM DE 6 M DE LARGO	UND	6.50 S/	375.80 S/	2,442.70
	EMPAQUETADURA PARA BRIDA DE JEBE LONA DE DN 200 MM MARCA FUMOSAC	UND	21.00 S/	13.17 S/	276.57
					S/ 370,806.16

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 36.10. Análisis de costos unitarios de las tareas.

6.02 FABRICACION DE TUBERIAS CON BRIDAS		4 días	Costo unitario global: S/ 999.89		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	TECNICO SOLDADOR	HH	32.00 S/	15.22 S/	487.04
				S/	487.04
	Materiales				
	SOLDADURA SUPERCITO E7018 DE 3.9688 MM (5/32 IN)	KG	5.00 S/	14.50 S/	72.50
				S/	72.50
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	487.04 S/	24.35
	MAQUINA DE SOLDAR	HM	32.00 S/	13.00 S/	416.00
				S/	440.35
6.03 PINTADO DE TUBERIAS Y ACCESORIOS HIDRAULICOS		3 días	Costo unitario global: S/ 2,933.78		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	PINTOR	HH	24.00 S/	15.22 S/	365.28
	AYUDANTE DE PINTOR	HH	24.00 S/	11.93 S/	286.32
				S/	651.60
	Materiales				
	PINTURA ANTICORROSIVA-EPÓXICA NAVAL	GLN	12.00 S/	135.00 S/	1,620.00
	PINTURA ESMALTE SINTÉTICO	GLN	8.00 S/	60.00 S/	480.00
	THINNER	GLN	4.00 S/	24.90 S/	99.60
	LJIA PARA FIERRO N°60	UND	20.00 S/	2.50 S/	50.00
				S/	2,249.60
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	651.60 S/	32.58
				S/	32.58
6.04 INSTALACION DE BOMBA SUMERGIBLE, CABLE SUMERGIBLE, TUBERIAS 125 MM Y ACCESORIOS EN EL POZO PROFUNDO		2 días	Costo unitario global: S/ 7,458.46		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	TECNICO ELECTRICISTA	HH	4.00 S/	17.34 S/	69.36
	TECNICO MECÁNICO	HH	16.00 S/	17.34 S/	277.44
	AYUDANTE MECANICO	HH	16.00 S/	11.93 S/	190.88
	OPERARIO	HH	16.00 S/	15.22 S/	243.52
				S/	781.20
	Materiales				
	CABLE PLANO SUMERGIBLE 3 X 50MM2 + 16 MM2 MARCA CELSA	ML	120.00 S/	45.20 S/	5,424.00
	CINTA BANDIT 13 MM	PZA	1.00 S/	25.00 S/	25.00
	CINTA ASILANTE 3M 1700 COLOR NEGRO	UND	1.00 S/	6.50 S/	6.50
	CINTA VULCANIZANTE 3M	UND	1.00 S/	42.90 S/	42.90
	GRASA EP-2 MULTIPROPOSITO, PRESENTACION 453 GR	UND	2.00 S/	9.90 S/	19.80
				S/	5,518.20
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	781.20 S/	39.06
	CAMION GRUA 4X2 DE 10 TN	HM	8.00 S/	140.00 S/	1,120.00
				S/	1,159.06
6.05 INSTALACION DE TUBERIAS DE 150 MM DE IMPULSION Y ACCESORIOS DEL CODO DE DESCARGA A LA CISTERNA		2 días	Costo unitario global: S/ 827.02		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	TECNICO MECÁNICO	HH	16.00 S/	17.34 S/	277.44
	AYUDANTE MECANICO	HH	16.00 S/	11.93 S/	190.88
				S/	468.32
	Materiales				
	PERNO DE CABEZA HEXAGO DE FIERRO DE 20 MM (3/4 IN) X 88 MM (3 1/2 IN) UNC-2	UND	88.00 S/	2.24 S/	197.12
	TUERCA DE FIERRO DE 20 MM (3/4 IN) UNC-2	UND	88.00 S/	0.89 S/	78.32
	ARANDELA DE PRESION DE 20 MM (3/4 IN)	UND	88.00 S/	0.68 S/	59.84
				S/	335.28
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	468.32 S/	23.42
				S/	23.42
6.06 INSTALACION DE BOMBA CENTRIFUGAS, TUBERIAS DE 150 MM DE SUCCION Y ACCESORIOS EN LA CISTERNA		2 días	Costo unitario global: S/ 1,075.82		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	TECNICO MECÁNICO	HH	16.00 S/	17.34 S/	277.44
	AYUDANTE MECANICO	HH	16.00 S/	11.93 S/	190.88
				S/	468.32
	Materiales				
	PERNO DE CABEZA HEXAGO DE FIERRO DE 20 MM (3/4 IN) X 88 MM (3 1/2 IN) UNC-2	UND	64.00 S/	2.24 S/	143.36
	TUERCA DE FIERRO DE 20 MM (3/4 IN) UNC-2	UND	72.00 S/	0.89 S/	64.08
	ARANDELA DE PRESION DE 20 MM (3/4 IN)	UND	72.00 S/	0.68 S/	48.96
	PERNO DE CABEZA HEXAGO DE FIERRO DE 16 MM (5/8 IN) X 76 MM (3 IN) UNC-2	UND	32.00 S/	1.63 S/	52.16
	TUERCA DE FIERRO DE 16 MM (5/8 IN) UNC-2	UND	32.00 S/	0.77 S/	24.64
	ARANDELA DE PRESION DE 16 MM (5/8 IN)	UND	32.00 S/	0.59 S/	18.88
	PERNO DE ANCLAJE DE 20 MM (3/4 IN) X 139.7 MM (5 1/2 IN) UNC-2	UND	8.00 S/	29.00 S/	232.00
				S/	584.08
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	468.32 S/	23.42
				S/	23.42

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 36.11. Análisis de costos unitarios de las tareas.

6.07 INSTALACION DE TUBERIAS DE 200 MM IMPULSION Y ACCESORIOS, DE LAS YEES A LOS CODOS DE SALIDA		4 días	Costo unitario global: S/ 1,898.99		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	TECNICO MECÁNICO	HH	32.00 S/	17.34 S/	554.88
	AYUDANTE MECANICO	HH	32.00 S/	11.93 S/	381.76
				S/	936.64
	Materiales				
	PERNO DE CABEZA HEXAGO DE FIERRO DE 20 MM (3/4 IN) X 88 MM (3 1/2 IN) UNC-2	UND	160.00 S/	2.24 S/	358.40
	TUERCA DE FIERRO DE 20 MM (3/4 IN) UNC-2	UND	160.00 S/	0.89 S/	142.40
	ARANDELA DE PRESION DE 20 MM (3/4 IN)	UND	160.00 S/	0.68 S/	108.80
	PERNO DE CABEZA HEXAGO DE FIERRO DE 16 MM (5/8 IN) X 76 MM (3 IN) UNC-2	UND	8.00 S/	1.63 S/	13.04
	TUERCA DE FIERRO DE 16 MM (5/8 IN) UNC-2	UND	8.00 S/	0.77 S/	6.16
	ARANDELA DE PRESION DE 16 MM (5/8 IN)	UND	8.00 S/	0.59 S/	4.72
	ABRAZADERA FABRICADA PARA TUBERIA DE 200 MM DE 150.8 MM (2 IN) DE ANCHO PINTADA DE COLOR AMARILLO	UND	2.00 S/	25.00 S/	50.00
	PERNO DE ANCLAJE DE 20 MM (3/4 IN) X 139.7 MM (5 1/2 IN) UNC-2	UND	8.00 S/	29.00 S/	232.00
				S/	915.52
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	936.64 S/	46.83
				S/	46.83
6.08 INSTALACION DE TUBERIAS DE 150 MM IMPULSION Y ACCESORIOS, DE LAS BOMBAS A LAS YEES		2 días	Costo unitario global: S/ 844.38		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	TECNICO MECÁNICO	HH	16.00 S/	17.34 S/	277.44
	AYUDANTE MECANICO	HH	16.00 S/	11.93 S/	190.88
				S/	468.32
	Materiales				
	PERNO DE CABEZA HEXAGO DE FIERRO DE 20 MM (3/4 IN) X 88 MM (3 1/2 IN) UNC-2	UND	80.00 S/	2.24 S/	179.20
	TUERCA DE FIERRO DE 20 MM (3/4 IN) UNC-2	UND	80.00 S/	0.89 S/	71.20
	ARANDELA DE PRESION DE 20 MM (3/4 IN)	UND	80.00 S/	0.68 S/	54.40
	PERNO DE CABEZA HEXAGO DE FIERRO DE 16 MM (5/8 IN) X 76 MM (3 IN) UNC-2	UND	16.00 S/	1.63 S/	26.08
	TUERCA DE FIERRO DE 16 MM (5/8 IN) UNC-2	UND	16.00 S/	0.77 S/	12.32
	ARANDELA DE PRESION DE 16 MM (5/8 IN)	UND	16.00 S/	0.59 S/	9.44
				S/	352.64
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	468.32 S/	23.42
				S/	23.42
6.09 INSTALACION DE TUBERIAS DE 150 MM Y ACCESORIOS DE LA LINEA DE DESFOGUE		2 días	Costo unitario global: S/ 705.10		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	TECNICO MECÁNICO	HH	16.00 S/	17.34 S/	277.44
	AYUDANTE MECANICO	HH	16.00 S/	11.93 S/	190.88
				S/	468.32
	Materiales				
	PERNO DE CABEZA HEXAGO DE FIERRO DE 20 MM (3/4 IN) X 88 MM (3 1/2 IN) UNC-2	UND	56.00 S/	2.24 S/	125.44
	TUERCA DE FIERRO DE 20 MM (3/4 IN) UNC-2	UND	56.00 S/	0.89 S/	49.84
	ARANDELA DE PRESION DE 20 MM (3/4 IN)	UND	56.00 S/	0.68 S/	38.08
				S/	213.36
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	468.32 S/	23.42
				S/	23.42
6.10 INSTALACION DE TUBERIAS DE 150 MM Y ACCESORIOS DE LA LINEA DE RECIRCULACION, Y DE LA ENTRADA A LA CISTERNA DEL		3 días	Costo unitario global: S/ 1,377.68		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	TECNICO MECÁNICO	HH	24.00 S/	17.34 S/	416.16
	AYUDANTE MECANICO	HH	24.00 S/	11.93 S/	286.32
				S/	702.48
	Materiales				
	PERNO DE CABEZA HEXAGO DE FIERRO DE 20 MM (3/4 IN) X 88 MM (3 1/2 IN) UNC-2	UND	168.00 S/	2.24 S/	376.32
	TUERCA DE FIERRO DE 20 MM (3/4 IN) UNC-2	UND	168.00 S/	0.89 S/	149.52
	ARANDELA DE PRESION DE 20 MM (3/4 IN)	UND	168.00 S/	0.68 S/	114.24
				S/	640.08
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	702.48 S/	35.12
				S/	35.12
7.01 INSTALACION DE SUMINISTRO DE CABLEADO ELECTRICO POR TUBERIAS DE PVC		4 días	Costo unitario global: S/ 4,330.71		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	TECNICO ELECTRICISTA	HH	32.00 S/	17.34 S/	554.88
	AYUDANTE ELECTRICISTA	HH	32.00 S/	11.93 S/	381.76
				S/	936.64
	Materiales				
	CABLE THW 2,5MM2 COLOR NEGRO MARCA INDECO	ML	160.00 S/	0.94 S/	149.76
	CABLE THW 2,5MM2 COLOR ROJO MARCA INDECO	ML	160.00 S/	0.94 S/	149.76
	CABLE NYY 3-1 X 50MM2 MARCA INDECO	ML	9.00 S/	67.00 S/	603.00
	CABLE NYY 3-1 X 35MM2 MARCA INDECO	ML	16.00 S/	31.57 S/	505.12
	CABLE NYY 3-1 X 150MM2 MARCA INDECO	ML	10.00 S/	139.86 S/	1,398.60
	CABLE CPT 2,5MM2 MARCA INDECO	ML	79.00 S/	1.70 S/	134.30
	CABLE CPT 16MM2 MARCA INDECO	ML	9.00 S/	13.90 S/	125.10
	CABLE CPT 10MM2 MARCA INDECO	ML	16.00 S/	5.60 S/	89.60
				S/	3,155.24
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	936.64 S/	46.83
	ESCALERA TIPO TUJERA DE 4 METROS	HM	32.00 S/	4.00 S/	128.00
	ESCALERA TIPO TUJERA DE 2 METROS	HM	32.00 S/	2.00 S/	64.00
				S/	238.83

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 36.12. Análisis de costos unitarios de las tareas.

7.02 FABRICACION DE TABLERO GENERAL		1 día	Costo unitario global: S/ 3,917.83		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
		Mano de Obra			
	TECNICO ELECTRICISTA	HH	8.00 S/	17.34 S/	138.72
	AYUDANTE ELECTRICISTA	HH	8.00 S/	11.93 S/	95.44
				S/	234.16
		Materiales			
	INTERRUPTOR DIFERENCIAL 2 X 25A MARCA SCHNEIDER	UND	1.00 S/	191.00 S/	191.00
	INTERRUPTOR AUTOMATICO 2 X 10A MARCA SCHNEIDER	UND	2.00 S/	67.10 S/	134.20
	INTERRUPTOR AUTOMATICO 2 X 16A MARCA SCHNEIDER	UND	1.00 S/	67.10 S/	67.10
	INTERRUPTOR AUTOMATICO 2 X 20A MARCA SCHNEIDER	UND	1.00 S/	67.10 S/	67.10
	INTERRUPTOR AUTOMATICO 3 X 200A MARCA ABB	UND	1.00 S/	543.00 S/	543.00
	INTERRUPTOR AUTOMATICO 3 X 125A MARCA ABB	UND	1.00 S/	339.00 S/	339.00
	INTERRUPTOR AUTOMATICO 3 X 320A MARCA ABB	UND	1.00 S/	1,428.00 S/	1,428.00
	RIEL DIN PARA TABLERO	UND	1.00 S/	14.90 S/	14.90
	STOVE BOLT 3/16 X 1 PULGADA	UND	10.00 S/	0.13 S/	1.30
	TUERCA 3/16 X 1 PULGADA	UND	10.00 S/	0.11 S/	1.10
	ANILLO PLANO 3/16 X 1 PULGADA	UND	10.00 S/	0.11 S/	1.10
	TABLERO MURAL DE ACERO IP66 COLOR GRIS DE 800X600X300MM MARCA SCHNEIDER	UND	1.00 S/	557.00 S/	557.00
	PLACA DE MONTAJE DE ACERO GALVANIZADO PARA TABLERO DE 750X550MM MARCA SCHNEIDER	UND	1.00 S/	142.00 S/	142.00
	CABLE THW 2,5MM2 COLOR NEGRO MARCA INDECO	ML	1.00 S/	0.94 S/	0.94
	CABLE NYY 3-1 X 50MM2 MARCA INDECO	ML	0.25 S/	67.00 S/	16.75
	CABLE NYY 3-1 X 35MM2 MARCA INDECO	ML	0.25 S/	31.57 S/	7.89
	TERMINALES TIPO UÑA BIMETALICAS PRE AISLADAS 2,5MM2	UND	2.00 S/	0.55 S/	1.10
	TERMINALES TIPO OJO BIMETALICAS 50MM2	UND	6.00 S/	6.04 S/	36.24
	TERMINALES TIPO OJO BIMETALICAS 35MM2	UND	6.00 S/	2.54 S/	15.24
	BORNERA PARA PUESTA A TIERRA	UND	1.00 S/	28.60 S/	28.60
	CINTILLOS 100 X 2.5 MM COLOR NEGRO	UND	100.00 S/	0.29 S/	29.00
	CINTA ASILANTE 3M 1700 COLOR NEGRO	UND	1.00 S/	6.50 S/	6.50
	CINTA VULCANIZANTE 3M	UND	1.00 S/	42.90 S/	42.90
				S/	3,671.96
		Equipos			
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	234.16 S/	11.71
				S/	11.71

7.03 FABRICACION DEL TABLERO DE CONTROL DE LA BOMBA SUMERGIBLE		1 día	Costo unitario global: S/ 18,904.27		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
		Mano de Obra			
	TECNICO ELECTRICISTA	HH	8.00 S/	17.34 S/	138.72
	AYUDANTE ELECTRICISTA	HH	8.00 S/	11.93 S/	95.44
				S/	234.16
		Materiales			
	INTERRUPTOR AUTOMATICO 3 X 175A MARCA SCHNEIDER	UND	1.00 S/	543.00 S/	543.00
	INTERRUPTOR AUTOMATICO 2 X 16A MARCA SCHNEIDER	UND	1.00 S/	67.10 S/	67.10
	SECCIONADOR PORTAFUSIBLE 1P MARCA SCHNEIDER	UND	2.00 S/	22.70 S/	45.40
	FUSIBLE TIPO CARTUCHO DE 4A DE 10X38 MARCA DF	UND	2.00 S/	1.00 S/	2.00
	TRANSFORMADOR TRIFASICO 380/220V DE 100VA MARCA AUDAX	UND	1.00 S/	239.00 S/	239.00
	CONTACTOR TRIPOLAR AF116 BOBINA 100-250VAC MARCA ABB	UND	1.00 S/	1,093.00 S/	1,093.00
	TEMPORIZADOR ELECTRONICO TESS-240 HASTA 240VAC MARCA ABB	UND	1.00 S/	223.00 S/	223.00
	VARIADOR DE FRECUENCIA DE 110A MOTOR 75HP/55KW TRIFASICO 380V MARCA DELTA	UND	1.00 S/	11,032.00 S/	11,032.00
	PULSADOR RASANTE DE PARADA (N/C) ROJO MARCA SCHNEIDER	UND	1.00 S/	44.50 S/	44.50
	PULSADOR RASANTE DE PARADA (N/C) VERDE MARCA SCHNEIDER	UND	1.00 S/	44.50 S/	44.50
	CONMUTADOR DE 3 POSICIONES MANIJA STANDARD MARCA ABB	UND	1.00 S/	122.00 S/	122.00
	PILOTO DE SEÑALIZACION LED DE 220VAC COLOR VERDE MARCA SCHNEIDER	UND	1.00 S/	63.40 S/	63.40
	PILOTO DE SEÑALIZACION LED DE 220VAC COLOR ROJO MARCA SCHNEIDER	UND	1.00 S/	63.40 S/	63.40
	PILOTO DE SEÑALIZACION LED DE 220VAC COLOR AMARILLO MARCA SCHNEIDER	UND	1.00 S/	67.30 S/	67.30
	SIRENA ELECTROMAGNETICA MINI ROJA 220V MARCA VKB	UND	1.00 S/	119.00 S/	119.00
	RELE DE MONITOREO DE FASE 3X300-500VAC CM-MPS.415 MARCA ABB	UND	1.00 S/	777.00 S/	777.00
	RELE DE NIVEL LVM20 240VAC MARCA LOVATO ELECTRIC	UND	1.00 S/	315.00 S/	315.00
	BORNERA DIN 2,5MM2 MARCA SCHNEIDER	UND	4.00 S/	2.60 S/	10.40
	CABLE NYY 3-1 X 50MM2 MARCA INDECO	ML	2.00 S/	67.00 S/	134.00
	CABLE CPT 16MM2 MARCA INDECO	ML	2.00 S/	13.90 S/	27.80
	CABLE GPT 2,5MM2 MARCA INDECO	ML	50.00 S/	0.80 S/	40.00
	TERMINALES TIPO OJO BIMETALICAS 50MM2	UND	18.00 S/	6.04 S/	108.72
	TERMINALES TIPO UÑA BIMETALICAS PRE AISLADAS 2,5MM2	UND	50.00 S/	0.55 S/	27.50
	RIEL DIN DE 35MM X 2MTRS	UND	2.00 S/	14.90 S/	29.80
	STOVE BOLT 3/16 X 1 PULGADA	UND	30.00 S/	0.13 S/	3.90
	TUERCA 3/16 X 1 PULGADA	UND	30.00 S/	0.11 S/	3.30
	ARANDELA PLANA 3/16 X 1 PULGADA	UND	30.00 S/	0.11 S/	3.30
	CANALETA RANURADA de 60 X 40MM	ML	1.00 S/	2.00 S/	2.00
	CANALETA RANURADA de 40 X 40MM	ML	1.00 S/	2.00 S/	2.00
	TABLERO MURAL DE ACERO IP66 COLOR GRIS DE 1200X800X300MM MARCA SCHNEIDER	UND	1.00 S/	1,341.00 S/	1,341.00
	PLACA DE MONTAJE DE ACERO GALVANIZADO PARA TABLERO DE 1150X750MM MARCA SCHNEIDER	UND	1.00 S/	388.00 S/	388.00
	VENTILADOR 220V PARA GABINETE	UND	2.00 S/	298.24 S/	596.48
	CINTA ASILANTE 3M 1700 COLOR NEGRO	UND	1.00 S/	6.50 S/	6.50
	CINTA VULCANIZANTE 3M	UND	1.00 S/	42.90 S/	42.90
	CINTILLOS 100 X 2.5 MM COLOR NEGRO	UND	100.00 S/	0.29 S/	29.00
	MEDIDOR MULTIFUNCION DM6200 MARCA SCHNEIDER	UND	1.00 S/	430.00 S/	430.00
	TRANSFORMADOR DE NUCLEO CERRADO RECTANGULAR DE 96X116X58 MARCA SCHNEIDER	UND	3.00 S/	190.40 S/	571.20
				S/	18,658.40
		Equipos			
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	234.16 S/	11.71
				S/	11.71

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 36.13. Análisis de costos unitarios de las tareas.

7.04 FABRICACION DE LOS TABLERO DE CONTROL DE LAS BOMBAS CENTRIFUGAS		2 días	Costo unitario global: S/ 28,316.20		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	TECNICO ELECTRICISTA	HH	16.00 S/	17.34 S/	277.44
	AYUDANTE ELECTRICISTA	HH	16.00 S/	11.93 S/	190.88
				S/	468.32
	Materiales				
	INTERRUPTOR AUTOMATICO 3 X 63A MARCA SCHNEIDER	UND	2.00 S/	228.00 S/	456.00
	INTERRUPTOR AUTOMATICO 2 X 16A MARCA SCHNEIDER	UND	2.00 S/	67.10 S/	134.20
	SECCIONADOR PORTAFUSIBLE 1P MARCA SCHNEIDER	UND	4.00 S/	22.70 S/	90.80
	FUSIBLE TIPO CARTUCHO DE 4A DE 10X38 MARCA DF	UND	4.00 S/	1.00 S/	4.00
	TRANSFORMADOR TRIFASICO 380/220V DE 100VA MARCA AUDAX	UND	2.00 S/	239.00 S/	478.00
	CONTACTOR TRIPOLAR AF40 BOBINA 100-250VAC MARCA ABB	UND	2.00 S/	358.00 S/	716.00
	TEMPORIZADOR ELECTRONICO FRONTAL TEF4-ON HASTA 240VAC MARCA ABB	UND	2.00 S/	258.00 S/	516.00
	CONTACTOR TRIPOLAR AF09 BOBINA 100-250VAC MARCA ABB	UND	2.00 S/	88.00 S/	176.00
	TEMPORIZADOR ELECTRONICO FRONTAL TEF4-ON HASTA 240VAC MARCA ABB	UND	2.00 S/	258.00 S/	516.00
	VARIADOR DE FRECUENCIA DE 38A MOTOR 25HP/18,55KW TRIFASICO 380V MARCA DELTA	UND	2.00 S/	8,240.00 S/	16,480.00
	PULSADOR RASANTE DE PARADA (N/C) ROJO MARCA SCHNEIDER	UND	2.00 S/	44.50 S/	89.00
	PULSADOR RASANTE DE PARADA (N/C) VERDE MARCA SCHNEIDER	UND	2.00 S/	44.50 S/	89.00
	CONMUTADOR DE 3 POSICIONES MANIJA STANDARD MARCA ABB	UND	2.00 S/	122.00 S/	244.00
	PILOTO DE SEÑALIZACION LED DE 220VAC COLOR VERDE MARCA SCHNEIDER	UND	2.00 S/	63.40 S/	126.80
	PILOTO DE SEÑALIZACION LED DE 220VAC COLOR ROJO MARCA SCHNEIDER	UND	2.00 S/	63.40 S/	126.80
	PILOTO DE SEÑALIZACION LED DE 220VAC COLOR AMARILLO MARCA SCHNEIDER	UND	2.00 S/	67.30 S/	134.60
	SIRENA ELECTROMAGNETICA MINI ROJA 220V MARCA VKB	UND	2.00 S/	119.00 S/	238.00
	RELE DE MONITOREO DE FASE 3X300-500VAC CM-MPS. 41S MARCA ABB	UND	2.00 S/	777.00 S/	1,554.00
	RELE DE NIVEL LVM20 240VAC MARCA LOVATO ELECTRIC	UND	2.00 S/	315.00 S/	630.00
	BORNERA DIN 2,5MM2 MARCA SCHNEIDER	UND	8.00 S/	2.60 S/	20.80
	CABLE NYY 3-1 X 16MM2 MARCA INDECO	ML	4.00 S/	19.32 S/	77.28
	CABLE CPT 5MM2 MARCA INDECO	ML	6.00 S/	2.80 S/	16.80
	CABLE GPT 2,5MM2 MARCA INDECO	ML	100.00 S/	0.80 S/	80.00
	CABLE NYY UNIPOLAR 2,5MM2 MARCA CEPER	ML	70.00 S/	1.75 S/	122.50
	TERMINALES TIPO OJO BIMETALICAS 16MM2	UND	36.00 S/	1.37 S/	49.32
	TERMINALES TIPO UÑA BIMETALICAS PRE AISLADAS 2,5MM2	UND	100.00 S/	0.55 S/	55.00
	RIEL DIN DE 35MM X 2MTRS	UND	4.00 S/	14.90 S/	59.60
	STOVE BOLT 3/16 X 1 PULGADA	UND	60.00 S/	0.13 S/	7.80
	TUERCA 3/16 X 1 PULGADA	UND	60.00 S/	0.11 S/	6.60
	ARANDELA PLANA 3/16 X 1 PULGADA	UND	60.00 S/	0.11 S/	6.60
	CANALETA RANURADA DE 60 X 40MM	ML	2.00 S/	2.00 S/	4.00
	CANALETA RANURADA DE 40 X 40MM	ML	2.00 S/	2.00 S/	4.00
	TABLERO MURAL DE ACERO IP66 COLOR GRIS DE 800X600X300MM MARCA SCHNEIDER	UND	2.00 S/	557.00 S/	1,114.00
	PLACA DE MONTAJE DE ACERO GALVANIZADO PARA TABLERO DE 750X550MM MARCA SCHNEIDER	UND	2.00 S/	142.00 S/	284.00
	VENTILADOR 220V PARA GABINETE	UND	4.00 S/	298.24 S/	1,192.96
	CINTA ASILANTE 3M 1700 COLOR NEGRO	UND	2.00 S/	6.50 S/	13.00
	CINTA VULCANIZANTE 3M	UND	2.00 S/	42.90 S/	85.80
	CINTILLOS 100 X 2.5 MM COLOR NEGRO	UND	200.00 S/	0.29 S/	58.00
	MEDIDOR MULTIFUNCION DM6200 MARCA SCHNEIDER	UND	2.00 S/	430.00 S/	860.00
	TRANSFORMADOR DE NUCLEO CERRADO CIRCULAR DE 70X95X45 MARCA SCHNEIDER	UND	6.00 S/	151.20 S/	907.20
				S/	27,824.46
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	468.32 S/	23.42
				S/	23.42
7.05 INSTALACION Y CONEXIÓN DE LOS TABLERO ELECTRICOS		1 día	Costo unitario global: S/ 757.47		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	TECNICO ELECTRICISTA	HH	8.00 S/	17.34 S/	138.72
	AYUDANTE ELECTRICISTA	HH	8.00 S/	11.93 S/	95.44
				S/	234.16
	Materiales				
	CONJUNTO DE FIJACION MURAL PARA TABLERO MARCA SCHNEIDER	UND	12.00 S/	27.20 S/	326.40
	TERMINALES TIPO OJO BIMETALICAS 50MM2	UND	6.00 S/	6.04 S/	36.24
	TERMINALES TIPO OJO BIMETALICAS 35MM2	UND	9.00 S/	2.54 S/	22.86
	TERMINALES TIPO OJO BIMETALICAS 150MM2	UND	6.00 S/	11.70 S/	70.20
	CINTA ASILANTE 3M 1700 COLOR NEGRO	UND	2.00 S/	6.50 S/	13.00
	CINTA VULCANIZANTE 3M	UND	1.00 S/	42.90 S/	42.90
				S/	511.60
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	234.16 S/	11.71
				S/	11.71
7.06 INSTALACION DE SUMINISTRO DE LUMINARIAS E INTERRUPTORES		3 días	Costo unitario global: S/ 2,766.40		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	Mano de Obra				
	TECNICO ELECTRICISTA	HH	24.00 S/	17.34 S/	416.16
	AYUDANTE ELECTRICISTA	HH	24.00 S/	11.93 S/	286.32
				S/	702.48
	Materiales				
	EQUIPO FLUORESCENTE HERMETICO 2XTL-36W MARCA PHILIPS	PTO	21.00 S/	82.90 S/	1,740.90
	SOCKET EMPOTRABLE E27 220 V	PTO	2.00 S/	7.90 S/	15.80
	FOCO HORRADOR 32W E27 MARCA PHILIPS	PTO	2.00 S/	19.90 S/	39.80
	INTERRUPTOR SIMPLE EMPOTRABLE MARCA BTICINO	PTO	7.00 S/	8.90 S/	62.30
	CINTA ASILANTE 3M 1700 COLOR NEGRO	UND	4.00 S/	6.50 S/	26.00
				S/	1,884.80
	Equipos				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	702.48 S/	35.12
	ESCALERA TIPO TIJERA DE 4 METROS	HM	24.00 S/	4.00 S/	96.00
	ESCALERA TIPO TIJERA DE 2 METROS	HM	24.00 S/	2.00 S/	48.00
				S/	179.12

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 36.14. Análisis de costos unitarios de las tareas.

7.07 INSTALACION DE SUMINISTRO DE TOMACORRIENTES Y ACCESORIOS		1 día	Costo unitario global: S/ 1,049.07		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
		Mano de Obra			
	TECNICO ELECTRICISTA	HH	8.00 S/	17.34 S/	138.72
	AYUDANTE ELECTRICISTA	HH	8.00 S/	11.93 S/	95.44
					S/ 234.16
		Materiales			
	TOMACORRIENTE DOBLE CON PUESTA A TIERRA 2P+T 15A	PTO	3.00 S/	18.90 S/	56.70
	TOMACORRIENTE SIMPLE CON PUESTA A TIERRA 2P+T 15A	PTO	5.00 S/	5.90 S/	29.50
	SEÑAL DE SEGURIDAD DE SALIDA DE 5 LEDS MARCA OPALUX	UND	2.00 S/	144.90 S/	289.80
	LUZ DE EMERGENCIA 24 LEDS CON LAMPARAS GIRATORIAS MARCA OPALUX	UND	3.00 S/	134.90 S/	404.70
	CINTA ASILANTE 3M 1700 COLOR NEGRO	UND	1.00 S/	6.50 S/	6.50
					S/ 787.20
		Equipos			
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	234.16 S/	11.71
	ESCALERA TIPO TIJERA DE 2 METROS	HM	8.00 S/	2.00 S/	16.00
					S/ 27.71
7.08 CONSTRUCCION Y CONEXION DEL POZO A TIERRA		2 días	Costo unitario global: S/ 1,282.70		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
		Mano de Obra			
	TECNICO ELECTRICISTA	HH	12.00 S/	17.34 S/	208.08
	AYUDANTE ELECTRICISTA	HH	12.00 S/	11.93 S/	143.16
					S/ 351.24
		Materiales			
	CAJA DE REGISTRO PARA POZO A TIERRA 405 X 405 MM	UND	1.00 S/	35.00 S/	35.00
	VARILLA DE COBRE DE 16 MM (5/8 IN) POR 2,4 M DE LARGO	UND	1.00 S/	189.90 S/	189.90
	CONECTOR DE COBRE PARA POZO A TIERRA DE 16 MM (5/8 IN)	UND	1.00 S/	8.90 S/	8.90
	BENTONITA SODICA PARA POZO A TIERRA	KG	50.00 S/	4.00 S/	200.00
	DOSIS QUIMICA THOR GEL	CJA	3.00 S/	99.90 S/	299.70
	CEMENTO CONDUCTIVO THOR CEM	UND	1.00 S/	122.90 S/	122.90
	SAL GRANO INDUSTRIAL PARA POZO	KG	10.00 S/	0.50 S/	5.00
	TIERRA DE CULTIVO TAMIZADA EN MALLA DE 12.7 MM (1/2 IN)	M3	3.00 S/	2.50 S/	7.50
	AGUA	M3	2.00 S/	10.50 S/	21.00
					S/ 889.90
		Equipos			
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	351.24 S/	17.56
	ESCALERA ESTANDAR DE 2 METROS	HM	12.00 S/	2.00 S/	24.00
					S/ 41.56
7.09 CONEXIÓN DE ELECTROBOMBAS Y SONDAS, Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO		2 días	Costo unitario global: S/ 2,422.82		
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
		Mano de Obra			
	TECNICO ELECTRICISTA	HH	8.00 S/	17.34 S/	138.72
	AYUDANTE ELECTRICISTA	HH	8.00 S/	11.93 S/	95.44
	TECNICO EN PRUEBAS DE BOMBEO	HH	8.00 S/	17.34 S/	138.72
					S/ 372.88
		Materiales			
	CABLE NYY 3-1 X 16MM2 MARCA INDECO	ML	12.00 S/	19.32 S/	231.84
	TERMINALES TIPO OJO BIMETALICAS 50MM2	UND	3.00 S/	6.04 S/	18.12
	TERMINALES TIPO OJO BIMETALICAS 16MM2	UND	12.00 S/	1.37 S/	16.44
	SONDA ELECTRODO TIPO SN1 MARCA LOVATO ELECTRIC	UND	9.00 S/	98.50 S/	886.50
	CABLE NYY UNIPOLAR 2,5MM2 MARCA CEPER	ML	470.00 S/	1.75 S/	822.50
	CINTA ASILANTE 3M 1700 COLOR NEGRO	UND	2.00 S/	6.50 S/	13.00
	CINTA VULCANIZANTE 3M	UND	1.00 S/	42.90 S/	42.90
					S/ 2,031.30
		Equipos			
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	5.00 S/	372.88 S/	18.64
					S/ 18.64

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 37.1. Costo de inversión segregado.

Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
MANO DE OBRA					
	AYUDANTE DE PINTOR	HH	104.00	S/ 11.93	S/ 1,240.72
	AYUDANTE ELECTRICISTA	HH	124.00	S/ 11.93	S/ 1,479.32
	AYUDANTE MECANICO	HH	136.00	S/ 11.93	S/ 1,622.48
	CAPATAZ	HH	720.00	S/ 17.34	S/ 12,484.80
	CAPATAZ DE PERFORACION	HH	314.00	S/ 17.34	S/ 5,444.76
	OFICIAL	HH	24.00	S/ 13.23	S/ 317.52
	OFICIAL DE PERFORACION	HH	144.00	S/ 13.23	S/ 1,905.12
	OPERADOR DE EQUIPO GEOELECTRICO	HH	8.00	S/ 17.34	S/ 138.72
	OPERARIO	HH	273.00	S/ 15.22	S/ 4,155.06
	OPERARIO DE PERFORACION	HH	424.00	S/ 15.22	S/ 6,453.28
	PEON	HH	5644.00	S/ 11.93	S/ 67,332.92
	PINTOR	HH	104.00	S/ 15.22	S/ 1,582.88
	TECNICO ELECTRICISTA	HH	192.00	S/ 17.34	S/ 3,329.28
	TECNICO EN PRUEBAS DE BOMBEO	HH	40.00	S/ 17.34	S/ 693.60
	TECNICO MECÁNICO	HH	168.00	S/ 17.34	S/ 2,913.12
	TECNICO SOLDADOR	HH	170.00	S/ 15.22	S/ 2,587.40
					S/ 113,680.98
MATERIALES					
	ABRAZADERA FABRICADA PARA TUBERIA DE 200 MM DE 150.8 MM (2 IN) DE ANCHO PINTADA DE COLOR AMARILLO	UND	2.00	S/ 25.00	S/ 50.00
	ACCESORIOS PARA INSTALAR TANQUE DE INODORO Y TRAMPA DE LAVADERO	UND	1.00	S/ 105.00	S/ 105.00
	ACCESORIOS PARA SUBESTACION, CABLEADO Y MEDIDOR ELECTRICO	UND	1.00	S/ 20,000.00	S/ 20,000.00
	AGUA	M3	249.50	S/ 10.50	S/ 2,619.75
	ALAMBRE NEGRO N° 16	KG	37.00	S/ 6.10	S/ 225.70
	ANILLO PLANO 3/16 X 1 PULGADA	UND	10.00	S/ 0.11	S/ 1.10
	ARANDELA DE PRESION DE 16 MM (5/8 IN)	UND	56.00	S/ 0.59	S/ 33.04
	ARANDELA DE PRESION DE 20 MM (3/4 IN)	UND	624.00	S/ 0.68	S/ 424.32
	ARANDELA PLANA 3/16 X 1 PULGADA	UND	90.00	S/ 0.11	S/ 9.90
	ARENA FINA	M3	108.00	S/ 21.00	S/ 2,268.00
	ARENA GRUESA	M3	299.50	S/ 30.00	S/ 8,985.00
	BENTONITA SODICA (PRESENTACION DE 50 LBS)	SCO	780.00	S/ 35.00	S/ 27,300.00
	BENTONITA SODICA PARA POZO A TIERRA	KG	50.00	S/ 4.00	S/ 200.00
	BOMBA CENTRIFUGA HORIZONTAL DE 24 HP E IMPULSOR DE 150 MM; Q=30 L/S; H=33 M; MARCA HIDROSTAL	UND	2.00	S/ 53,500.00	S/ 107,000.00
	BOMBA SUMERGIBLE DE 70 HP Y 7 IMPULSORES Q=30 L/S; H=120 M; MARCA HIDROSTAL	UND	1.00	S/ 128,500.00	S/ 128,500.00
	BORNERA DIN 2,5MM2 MARCA SCHNEIDER	UND	12.00	S/ 2.60	S/ 31.20
	BORNERA PARA PUESTA A TIERRA	UND	1.00	S/ 28.60	S/ 28.60
	BRIDA DE ACERO PARA SOLAR DE DN 150 MM NTP ISO 7005-1; PN-10; MARCA FUMOSAC	UND	42.00	S/ 69.06	S/ 2,900.52
	BRIDA DE ACERO PARA SOLAR DE DN 200 MM NTP ISO 7005-1; PN-10; MARCA FUMOSAC	UND	16.00	S/ 91.97	S/ 1,471.52
	BRIDA ROMPE A GUA O ANCLAJE DE ACERO PARA SOLAR DE DN 150 MM NTP ISO 7005-1; PN-10; MARCA FUMOSAC	UND	7.00	S/ 28.30	S/ 198.10
	CABLE CPT 10MM2 MARCA INDECO	ML	16.00	S/ 5.60	S/ 89.60
	CABLE CPT 16MM2 MARCA INDECO	ML	11.00	S/ 13.90	S/ 152.90
	CABLE CPT 2,5MM2 MARCA INDECO	ML	79.00	S/ 1.70	S/ 134.30
	CABLE CPT 5MM2 MARCA INDECO	ML	6.00	S/ 2.80	S/ 16.80
	CABLE GPT 2,5MM2 MARCA INDECO	ML	150.00	S/ 0.80	S/ 120.00
	CABLE NYY 3-1 X 150MM2 MARCA INDECO	ML	10.00	S/ 139.86	S/ 1,398.60
	CABLE NYY 3-1 X 16MM2 MARCA INDECO	ML	16.00	S/ 19.32	S/ 309.12
	CABLE NYY 3-1 X 35MM2 MARCA INDECO	ML	16.25	S/ 31.57	S/ 513.01
	CABLE NYY 3-1 X 50MM2 MARCA INDECO	ML	11.25	S/ 67.00	S/ 753.75
	CABLE NYY UNIPOLAR 2,5MM2 MARCA CEPER	ML	540.00	S/ 1.75	S/ 945.00
	CABLE PLANO SUMERGIBLE 3 X 50MM2 + 16 MM2 MARCA CELSA	ML	120.00	S/ 45.20	S/ 5,424.00
	CABLE THW 2,5MM2 COLOR NEGRO MARCA INDECO	ML	161.00	S/ 0.94	S/ 150.70
	CABLE THW 2,5MM2 COLOR ROJO MARCA INDECO	ML	160.00	S/ 0.94	S/ 149.76
	CAJA DE PASO OCTOGONAL DE PLASTICO	PTO	23.00	S/ 1.00	S/ 23.00
	CAJA DE PASO RECTANGULAR DE PLASTICO	PTO	16.00	S/ 0.90	S/ 14.40
	CAJA DE REGISTRO DE DESAGUE DE 4"	UND	3.00	S/ 148.90	S/ 446.70
	CAJA DE REGISTRO PARA POZO A TIERRA 405 X 405 MM	UND	1.00	S/ 35.00	S/ 35.00
	CANALETA RANURADA de 40 X 40MM	ML	3.00	S/ 2.00	S/ 6.00
	CANALETA RANURADA de 60 X 40MM	ML	3.00	S/ 2.00	S/ 6.00
	CEMENTO CONDUCTIVO THOR CEM	UND	1.00	S/ 122.90	S/ 122.90
	CEMENTO PORTLAND (42.5 KG)	BOL	1086.00	S/ 22.00	S/ 23,892.00
	CINTA ASILANTE 3M 1700 COLOR NEGRO	UND	14.00	S/ 6.50	S/ 91.00
	CINTA BANDIT 13 MM	PZA	3.00	S/ 25.00	S/ 75.00
	CINTA TEFLON 12.7 MM (1/2 IN)	UND	4.00	S/ 2.50	S/ 10.00
	CINTA VULCANIZANTE 3M	UND	7.00	S/ 42.90	S/ 300.30
	CINTILLOS 100 X 2.5 MM COLOR NEGRO	UND	400.00	S/ 0.29	S/ 116.00
	CLAVO PARA MADERA 3"	KG	41.75	S/ 4.12	S/ 172.01
	CODO DE DESCARGA A 90° ENTRADA DN 125 MM CON ROSCA NPT SALIDA DN 150 MM CON BRIDA NTP ISO 7005-1; PN-16	UND	1.00	S/ 985.00	S/ 985.00
	CODO DE PVC PARA AGUA DE 15 MM (1/2 IN) DE DIAM. CON ROSCA	UND	5.00	S/ 1.10	S/ 5.50
	CODO DE PVC SAL DE 100 MM (4 IN) DE DIAM.	UND	6.00	S/ 1.70	S/ 10.20
	CODO ESTANDAR DE HIERRO DUCTIL A 45° DE DN 200 MM CON BRIDAS NTP ISO 7005-1; PN-10; MARCA FUMOSAC	UND	2.00	S/ 485.97	S/ 971.94
	CODO ESTANDAR DE HIERRO DUCTIL A 90° DE DN 150 MM CON BRIDAS NTP ISO 7005-1; PN-10; MARCA FUMOSAC	UND	17.00	S/ 325.00	S/ 5,525.00
	CONECTOR DE COBRE PARA POZO A TIERRA DE 16 MM (5/8 IN)	UND	1.00	S/ 8.90	S/ 8.90
	CONJUNTO DE FIJACION MURAL PARA TABLERO MARCA SCHNEIDER	UND	12.00	S/ 27.20	S/ 326.40
	CONJUNTO INODORO Y LAVADERO CERAMICO	UND	1.00	S/ 259.90	S/ 259.90
	CONMUTADOR DE 3 POSICIONES MANIJA STANDARD MARCA ABB	UND	3.00	S/ 122.00	S/ 366.00

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 37.2. Costo de inversión segregado.

Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	CONTACTOR TRIPOLAR AF09 BOBINA 100-250VAC MARCA ABB	UND	2.00	88.00	176.00
	CONTACTOR TRIPOLAR AF116 BOBINA 100-250VAC MARCA ABB	UND	1.00	1,093.00	1,093.00
	CONTACTOR TRIPOLAR AF40 BOBINA 100-250VAC MARCA ABB	UND	2.00	358.00	716.00
	CONTROL DE ALCALINIDAD	KG	118.00	10.00	1,180.00
	CURVA DE PVC SAP DE 90° DE 40 MM (1 1/2 IN) DE DIAM.	UND	6.00	3.00	18.00
	CURVA DE PVC SAP DE 90° DE 50 MM (2 IN) DE DIAM.	UND	2.00	6.88	13.76
	CURVA DE PVC SAP DE 90° DE 80 MM (3 IN) DE DIAM.	UND	2.00	20.77	41.54
	CURVA DE PVC SEL 90° DE 15 MM (1/2 IN) DE DIAM.	UND	66.00	0.31	20.46
	DOSIS QUIMICA THOR GEL	CJA	3.00	99.90	299.70
	EMPAQUETADURA PARA BRIDA DE JEBE LONA DE DN 100 MM; MARCA FUMOSAC	UND	4.00	6.19	24.76
	EMPAQUETADURA PARA BRIDA DE JEBE LONA DE DN 150 MM; MARCA FUMOSAC	UND	56.00	7.57	423.92
	EMPAQUETADURA PARA BRIDA DE JEBE LONA DE DN 200 MM MARCA FUMOSAC	UND	21.00	13.17	276.57
	EMPAQUETADURA PARA BRIDA DE JEBE LONA DE DN 65 MM; MARCA FUMOSAC	UND	4.00	4.57	18.28
	EQUIPO FLUORESCENTE HERMETICO 2xTL-36W MARCA PHILIPS	PTO	21.00	82.90	1,740.90
	ESCALERA DE METAL DE TIPO GATO FABRICADA Y PINTADA DE 2.75 X 0.45 M DE TUBERIA CUADRADA DE FIERRO DE 25.4 MM	UND	1.00	235.00	235.00
	FIERRO CORRUGADO DE 12.7 MM (1/2 IN) X 9 M	VAR	120.00	27.00	3,240.00
	FIERRO CORRUGADO DE 12.7 MM (1/2 IN) X 9 M, PARA ANCLAJE	VAR	1.00	27.00	27.00
	FIERRO CORRUGADO DE 15.875 MM (5/8 IN) X 9 M	VAR	110.00	45.00	4,950.00
	FIERRO CORRUGADO DE 6.35 MM (1/4 IN) X 9 M	VAR	18.00	6.65	119.70
	FOCO AHORRADOR 32W E27 MARCA PHILIPS	PTO	2.00	19.90	39.80
	FUSIBLE TIPO CARTUCHO DE 4A DE 10X38 MARCA DF	UND	6.00	1.00	6.00
	GRASA EP-2 MULTIPROPOSITO, PRESENTACION 453 GR	UND	2.00	9.90	19.80
	GRAVA REDONDEADA DE PLAYA DE 5 A 9 MM SELECCIONADA	M3	43.40	234.00	10,155.60
	HIPOCLORITO DE CALCIO AL 70%	KG	10.25	15.80	161.95
	IMPERMEABILIZANTE CHEMA TIPO PINTURA	GLN	4.00	42.00	168.00
	IMPERMEABILIZANTE PARA MEZCLAR CON CONCRETO	GLN	14.00	23.90	334.60
	INTERRUPTOR AUTOMATICO 2 X 10A MARCA SCHNEIDER	UND	2.00	67.10	134.20
	INTERRUPTOR AUTOMATICO 2 X 16A MARCA SCHNEIDER	UND	4.00	67.10	268.40
	INTERRUPTOR AUTOMATICO 2 X 20A MARCA SCHNEIDER	UND	1.00	67.10	67.10
	INTERRUPTOR AUTOMATICO 3 X 125A MARCA ABB	UND	1.00	339.00	339.00
	INTERRUPTOR AUTOMATICO 3 X 175A MARCA SCHNEIDER	UND	1.00	543.00	543.00
	INTERRUPTOR AUTOMATICO 3 X 200A MARCA ABB	UND	1.00	543.00	543.00
	INTERRUPTOR AUTOMATICO 3 X 320A MARCA ABB	UND	1.00	1,428.00	1,428.00
	INTERRUPTOR AUTOMATICO 3 X 63A MARCA SCHNEIDER	UND	2.00	228.00	456.00
	INTERRUPTOR DIFERENCIAL 2 X 25A MARCA SCHNEIDER	UND	1.00	191.00	191.00
	INTERRUPTOR SIMPLE EMPOTRABLE MARCA BTICINO	PTO	7.00	8.90	62.30
	LADRILLO KING KONG 18H 9X13X23	MLL	3.00	525.00	1,590.00
	LJA PARA FIERRO N°60	UND	95.00	2.50	237.50
	LLAVE PARA JARDIN DE 12.7 (1/2 IN) MARCA ITAP	UND	1.00	27.90	27.90
	LLAVE PARA LAVATORIO DE 12.7 (1/2 IN) MARCA TREBOL	UND	1.00	22.90	22.90
	LUZ DE EMERGENCIA 24 LEDS CON LAMPARAS GIRATORIAS MARCA OPALUX	UND	3.00	134.90	404.70
	MANOMETRO DIGITAL CON SENSOR TRANSDUCTOR DE PRESION DE 1/2" MARCA APLISENS MEDIDA DE 0-25 BAR	UND	1.00	4,336.00	4,336.00
	MARCO DE VENTANA DE ALUMINIO FABRICADO DE 0,80 X 1,50 M CON VIDRIO DE 4 MM DE ESPESOR	UND	1.00	95.00	95.00
	MARCO DE VENTANA DE ALUMINIO FABRICADO DE 0,90 X 0,40 M CON VIDRIO DE 4 MM DE ESPESOR	UND	1.00	55.00	55.00
	MARCO DE VENTANA DE ALUMINIO FABRICADO DE 1,40 X 0,25 M CON VIDRIO DE 4 MM DE ESPESOR	UND	2.00	65.00	130.00
	MARCO DE VENTANA DE ALUMINIO FABRICADO DE 1,525 X 0,25 M CON VIDRIO DE 4 MM DE ESPESOR	UND	4.00	75.00	300.00
	MARCO DE VENTANA DE ALUMINIO FABRICADO DE 1,80 X 0,25 M CON VIDRIO DE 4 MM DE ESPESOR	UND	3.00	85.00	255.00
	MEDIDOR DE CAUDAL ELECTROMAGNETICO SIEMENS MAG 5100W DE DN 150 MM CON BRIDAS NTP ISO 7005-1; PN-10	UND	1.00	8,216.00	8,216.00
	MEDIDOR DE CAUDAL ELECTROMAGNETICO SIEMENS MAG 5100W DE DN 200 MM PN-10 CON BRIDA NTP ISO 7005-1	UND	1.00	9,044.00	9,044.00
	MEDIDOR MULTIFUNCION DM6200 MARCA SCHNEIDER	UND	3.00	430.00	1,290.00
	PEGAMENTO PARA TUBO DE PVC, PRESENTACION EN 1/4 GALON	UND	4.00	31.95	127.80
	PERNO DE ANCLAJE DE 20 MM (3/4 IN) X 139.7 MM (5 1/2 IN) UNC-2	UND	16.00	29.00	464.00
	PERNO DE CABEZA HEXAGO DE FIERRO DE 16 MM (5/8 IN) X 76 MM (3 IN) UNC-2	UND	56.00	1.63	91.28
	PERNO DE CABEZA HEXAGO DE FIERRO DE 20 MM (3/4 IN) X 88 MM (3 1/2 IN) UNC-2	UND	616.00	2.24	1,379.84
	PIEDRA MEDIANA DE 1"	M3	75.00	45.00	3,375.00
	PIEDRA MEDIANA DE 3/4"	M3	107.50	30.00	3,225.00
	PILOTO DE SEÑALIZACION LED DE 220VAC COLOR AMARILLO MARCA SCHNEIDER	UND	3.00	67.30	201.90
	PILOTO DE SEÑALIZACION LED DE 220VAC COLOR ROJO MARCA SCHNEIDER	UND	3.00	63.40	190.20
	PILOTO DE SEÑALIZACION LED DE 220VAC COLOR VERDE MARCA SCHNEIDER	UND	3.00	63.40	190.20
	PINTURA ANTICORROSIVA-EPÓXICA NAVAL	GLN	12.00	135.00	1,620.00
	PINTURA ESMALTE SINTÉTICO	GLN	8.00	60.00	480.00
	PINTURA LATEX BLANCO	GLN	9.00	45.00	405.00
	PLACA DE MONTAJE DE ACERO GALVANIZADO PARA TABLERO DE 1150X750MM MARCA SCHNEIDER	UND	1.00	388.00	388.00
	PLACA DE MONTAJE DE ACERO GALVANIZADO PARA TABLERO DE 750X550MM MARCA SCHNEIDER	UND	3.00	142.00	426.00
	PLACA O BRIDA CIEGA DE ACERO DE DN 200 MM NTP ISO 2531; PN-10; MARCA FUMOSAC	UND	1.00	187.90	187.90
	POSTES Y BASE DE CONCRETO PARA INSTALAR TRANSFORMADOR	UND	1.00	25,000.00	25,000.00
	PUERTA FABRICADA DE MADERA CON MARCO PINTADA DE 0,90 X 2,40 M	UND	2.00	125.00	250.00
	PUERTA FABRICADA DE METAL DE DOS HOJAS CON MARCO PINTADA DE 1,80 X 2,40 M	UND	3.00	290.00	870.00
	PUERTA FABRICADA DE METAL DE DOS HOJAS TIPO REJA CON MARCO PINTADA DE 2,65 X 2,30 M	UND	1.00	370.00	370.00
	PUERTA FABRICADA DE METAL DE DOS HOJAS TIPO REJA CON MARCO PINTADA DE 3,40 X 2,30 M	UND	1.00	460.00	460.00
	PULSADOR RASANTE DE PARADA (N/C) ROJO MARCA SCHNEIDER	UND	3.00	44.50	133.50
	PULSADOR RASANTE DE PARADA (N/C) VERDE MARCA SCHNEIDER	UND	3.00	44.50	133.50
	REDUCCION CONCENTRICA DE FIERRO DUCTIL DE DN 150 MM A 65 MM SEGÚN NTP ISO 2531-2001; PN-10; MARCA FUMOSAC	UND	2.00	215.17	430.34
	REDUCCION CONCENTRICA DE FIERRO DUCTIL DE DN 200 MM A 150 MM SEGÚN NTP ISO 2531-2001; PN-10; MARCA FUMOSAC	UND	1.00	278.95	278.95
	REDUCCION EXCENTRICA DE FIERRO DUCTIL DE DN 150 MM A 100 MM SEGÚN NTP ISO 2531-2001; PN-10; MARCA FUMOSAC	UND	2.00	254.90	509.80
	REDUCTOR DE FILTRADO	KG	195.00	25.00	4,875.00

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 37.3. Costo de inversión segregado.

Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	RELE DE MONITOREO DE FASE 3X300-500VAC CM-MPS 41S MARCA ABB	UND	3.00	777.00	2,331.00
	RELE DE NIVEL LVM20 240VAC MARCA LOVATO ELECTRIC	UND	3.00	315.00	945.00
	RIEL DIN DE 35MM X 2MTRS	UND	6.00	14.90	89.40
	RIEL DIN PARA TABLERO	UND	1.00	14.90	14.90
	SAL GRANO INDUSTRIAL PARA POZO	KG	10.00	0.50	5.00
	SECCIONADOR PORTAFUSIBLE 1P MARCA SCHNEIDER	UND	6.00	22.70	136.20
	SELLADOR PARA MUROS TIPO BASE BLANCO	GLN	20.00	19.00	380.00
	SEÑAL DE SEGURIDAD DE SALIDA DE 5 LEDS MARCA OPALUX	UND	2.00	144.90	289.80
	SIRENA ELECTROMAGNETICA MINI ROJA 220V MARCA VKB	UND	3.00	119.00	357.00
	SOCKET EMPOTRABLE E27 220 V	PTO	2.00	7.90	15.80
	SOLDADURA CELLOCORD E6011 DE 3.175 mm (1/8 in)	KG	0.50	13.90	6.95
	SOLDADURA INOX AW E308L-16 DE 3.9688 MM (5/32 IN)	KG	100.50	55.00	5,527.50
	SOLDADURA SUPERCITO E7018 DE 3.9688 MM (5/32 IN)	KG	5.00	14.50	72.50
	SONDA ELECTRODO TIPO SN1 MARCA LOVATO ELECTRIC	UND	9.00	98.50	886.50
	STOVE BOLT 3/16 X 1 PULGADA	UND	100.00	0.13	13.00
	TABLERO MURAL DE ACERO IP66 COLOR GRIS DE 1200X800X300MM MARCA SCHNEIDER	UND	1.00	1,341.00	1,341.00
	TABLERO MURAL DE ACERO IP66 COLOR GRIS DE 800X600X300MM MARCA SCHNEIDER	UND	3.00	557.00	1,671.00
	TABLETAS BENTONICAS DE 9,525 mm (3/8 in)	BDE	1.00	250.00	250.00
	TAPA DE FIERRO PARA POZO DE 1 M	UND	1.00	50.00	50.00
	TAPA DE REGISTRO DE SUMIDERO DE 101.6 MM (4 IN)	UND	5.00	26.00	130.00
	TARUGO PLASTICO DE 3/8"	UND	100.00	2.50	250.00
	TECHO DE METAL FABRICADO Y PINTADO DE 3.80 X 1.86 X 0.25 M DE AGULO DE FIERRO DE 25.4 MM	UND	1.00	450.00	450.00
	TEE CON TRES BRIDAS DE HIERRO DUCTIL DN 200X150 MM SEGÚN NTP ISO 2531-2001 TIPO BRIDA; PN-10; MARCA FUMOSAC	UND	1.00	719.56	719.56
	TEE CON TRES BRIDAS DE HIERRO DUCTIL DN 200X200 MM SEGÚN NTP ISO 2531-2001 TIPO BRIDA; PN-10; MARCA FUMOSAC	UND	1.00	828.29	828.29
	TEE CON TRES BRIDAS DE HIERRO DUCTIL DN 200X50 MM SEGÚN NTP ISO 2531-2001 TIPO BRIDA; PN-10; MARCA FUMOSAC	UND	1.00	622.12	622.12
	TEE DE PVC PARA AGUA DE 15 MM (1/2 IN) DE DIAM. CON ROSCA	UND	2.00	1.70	3.40
	TEMPORIZADOR ELECTRONICO FRONTAL TEF4-ON HASTA 240VAC MARCA ABB	UND	4.00	258.00	1,032.00
	TEMPORIZADOR ELECTRONICO TESS-240 HASTA 240VAC MARCA ABB	UND	1.00	223.00	223.00
	TERMINALES TIPO OJO BIMETALICAS 150MM2	UND	6.00	11.70	70.20
	TERMINALES TIPO OJO BIMETALICAS 16MM2	UND	48.00	1.37	65.76
	TERMINALES TIPO OJO BIMETALICAS 35MM2	UND	15.00	2.54	38.10
	TERMINALES TIPO OJO BIMETALICAS 50MM2	UND	33.00	6.04	199.32
	TERMINALES TIPO UÑA BIMETALICAS PRE AISLADAS 2,5MM2	UND	152.00	0.55	83.60
	THINNER	GLN	4.00	24.90	99.60
	TIERRA DE CULTIVO TAMIZADA EN MALLA DE 12.7 MM (1/2 IN)	M3	3.00	2.50	7.50
	TOMACORRIENTE DOBLE CON PUESTA A TIERRA 2P+T 15A	PTO	3.00	18.90	56.70
	TOMACORRIENTE SIMPLE CON PUESTA A TIERRA 2P+T 15A	PTO	5.00	5.90	29.50
	TORNILLO CABEZA PLANA 2"	UND	100.00	0.10	10.00
	TRANSFORMADOR DE NUCLEO CERRADO CIRCULAR DE 70X95X45 MARCA SCHNEIDER	UND	6.00	151.20	907.20
	TRANSFORMADOR DE NUCLEO CERRADO RECTANGULAR DE 96X116X58 MARCA SCHNEIDER	UND	3.00	190.40	571.20
	TRANSFORMADOR TRIFASICO 380/220V DE 100VA MARCA AUDAX	UND	3.00	239.00	717.00
	TRANSFORMADOR TRIFASICO DE 250 KVA	UND	1.00	100,000.00	100,000.00
	TRIPOLIFOSFATO DE SODIO	KG	200.00	7.50	1,500.00
	TUBERIA CIEGA DE ACERO A 53 GRADO A DE 500MM DE DIAM. e=6.35MM	ML	5.00	500.00	2,500.00
	TUBERIA CIEGA DE ACERO ASTM A53 SCH 40 DE DN 125 MM DE 6 M DE LARGO CON ROSCA NPT AMBOS LADOS	ML	108.00	245.00	26,460.00
	TUBERIA CIEGA DE ACERO ASTM A53 SCH 40 DE DN 150 MM DE 6 M DE LARGO	UND	17.60	325.00	5,720.00
	TUBERIA CIEGA DE ACERO ASTM A53 SCH 40 DE DN 200 MM DE 6 M DE LARGO	UND	6.50	375.80	2,442.70
	TUBERIA CIEGA DE ACERO INOX AISI 304 DE 300MM DE DIAM. e=6.35MM	ML	104.00	760.00	79,040.00
	TUBERIA DE PVC PARA AGUA DE 15 MM (1/2 IN) DE DIAM. CON ROSCA	ML	6.00	1.80	10.80
	TUBERIA DE PVC SAL DE 100 MM (4 IN) DE DIAM.	ML	35.00	7.28	254.80
	TUBERIA DE PVC SAP DE 40 MM (1 1/2 IN) DE DIAM.	ML	16.00	2.75	44.00
	TUBERIA DE PVC SAP DE 50 MM (2 IN) DE DIAM.	ML	9.00	7.55	67.95
	TUBERIA DE PVC SAP DE 80 MM (3 IN) DE DIAM.	ML	10.00	15.17	151.70
	TUBERIA DE PVC SEL DE 15 MM (1/2 IN) DE DIAM.	ML	160.00	0.72	115.20
	TUBERIA FILTRO DE ACERO INOX AISI 304 DE 300MM DE DIAM. e=6.35MM	ML	96.00	800.00	76,800.00
	TUBERIA PVC SAP DE 38.1 MM (1 1/2 IN)	ML	51.00	1.84	93.84
	TUERCA 3/16 X 1 PULGADA	UND	100.00	0.11	11.00
	TUERCA DE FIERRO DE 16 MM (5/8 IN) UNC-2	UND	56.00	0.77	43.12
	TUERCA DE FIERRO DE 20 MM (3/4 IN) UNC-2	UND	624.00	0.89	555.36
	UNION FLEXIBLE DE GOMA DN 100 MM CON BRIDA NTP ISO 7005-1; PN-10	UND	2.00	318.20	636.40
	UNION FLEXIBLE DE GOMA DN 65 MM CON BRIDA NTP ISO 7005-1; PN-10	UND	2.00	273.40	546.80
	UNION SIMPLE TIPO ROSCA NPT AMBOS LADOS DN 125 MM; PN-16	UND	18.00	135.00	2,430.00
	VALVULA AUTOMATICA DE ENTRADA Y SALIDA DE AIRE CINETICA TRIPLE FUNCION DN 50 MM CON BRIDA NTP 350.101; PN-10; UND	UND	1.00	4,869.00	4,869.00
	VALVULA CHECK SILENCIOSA TIPO GLOBO DN 150 MM CON BRIDAS NTP ISO 7005-1; MARCA FUMOSAC	UND	3.00	4,830.00	14,490.00
	VALVULA CHECK SILENCIOSA TIPO GLOBO DN 200 MM CON BRIDAS NTP ISO 7005-1; MARCA FUMOSAC	UND	1.00	6,896.45	6,896.45
	VALVULA DE COMPUERTA DE HIERRO DUCTIL DN 150 MM NTP ISO 7259-SERIE 3 TIPO BRIDA NTP-350-064; PN-10; MARCA FUMOSAC	UND	8.00	778.22	6,225.76
	VALVULA DE COMPUERTA DE HIERRO DUCTIL DN 50 MM NTP ISO 7259-SERIE 3 TIPO BRIDA NTP-350-064; PN-10; MARCA FUMOSAC	UND	1.00	236.62	236.62
	VALVULA DE CONTROL DIFERENCIAL DE PRESION DN 150 MM CON BRIDAS NTP ISO 7005-1; PN-10; MARCA SINGER VALVE	UND	1.00	13,278.28	13,278.28
	VALVULA DE GLOBO DE DN 15 MM (1/2 IN) DE PLASTICO	UND	1.00	6.50	6.50
	VALVULA DE PIE CON CANASTILLA DN 150 MM CON BRIDA NTP 350.105; PN-10; MARCA FUMOSAC	UND	2.00	2,179.50	4,359.00
	VALVULA DE VERIFICACION TIPO RESORTE VERTICAL CON ROSCA NPT AMBOS LADOS DN 125 MM; PN-16	UND	1.00	4,500.00	4,500.00
	VALVULA MARIPOSA EXCENTRICA DE ACERO INOXIDABLE DN 150 MM TIPO BRIDA; PN-10; MARCA FUMOSAC	UND	1.00	2,495.00	2,495.00
	VARIADOR DE FRECUENCIA DE 110A MOTOR 75HP/55KW TRIFASICO 380V MARCA DELTA	UND	1.00	11,032.00	11,032.00
	VARIADOR DE FRECUENCIA DE 38A MOTOR 25HP/18,5KW TRIFASICO 380V MARCA DELTA	UND	2.00	8,240.00	16,480.00
	VARILLA DE COBRE DE 16 MM (5/8 IN) POR 2,4 M DE LARGO	UND	1.00	189.90	189.90
	VENTILADOR 220V PARA GABINETE	UND	6.00	298.24	1,789.44

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 37.4. Costo de inversión segregado.

Código	Descripción Insumo	Unidad	Cantidad	Precio	Parcial
	VISCOSIFICANTE	KG	390.00	S/	25.00 S/ 9,750.00
	YEE REDUCTORA LATERAL 45° DE HIERRO DUCTIL DN 200X150 MM SEGÚN NTP ISO 2531-2001 TIPO BRIDA; PN-10; MARCA FUMKUND		3.00	S/	759.86 S/ 2,279.58
					S/ 867,147.82
	EQUIPOS				
	ELEVADOR MANUAL DE CABLE DE ACERO	HE	24.00	S/	9.00 S/ 216.00
	ACCESORIO PARA BOMBEO (TUBERIA DE DESCARGA)	HE	32.00	S/	5.00 S/ 160.00
	ANDAMIOS	HE	196.00	S/	7.00 S/ 1,372.00
	MADERA TORNILLO (LARGA)	HE	304.00	S/	5.00 S/ 1,520.00
	TINA METALICA 1,90 X 1,40 X 3,00 M	HE	24.00	S/	4.50 S/ 108.00
	ACCESORIO PARA MEDICION DE PRUEBA DE BOMBEO	HM	32.00	S/	6.00 S/ 192.00
	BOMBA DE LODOS DE 14 L/S	HM	16.00	S/	220.00 S/ 3,520.00
	BOMBA PARA PRUEBAS DE 100 HP	HM	32.00	S/	140.00 S/ 4,480.00
	CAMION GRUA 4X2 DE 10TN	HM	41.00	S/	140.00 S/ 5,740.00
	CARGADOR RETROEXCAVADORA 62HP	HM	128.00	S/	120.00 S/ 15,360.00
	CARRETIILLAS	HM	708.00	S/	13.00 S/ 9,204.00
	DOBLADORA	HM	56.00	S/	12.00 S/ 672.00
	EQUIPO COMPLETO PARA PERILAJE ELECTRICO DE POZO	HM	8.00	S/	780.00 S/ 6,240.00
	EQUIPO DE OXICORTE	HM	4.00	S/	12.00 S/ 48.00
	ESCALERA DE 5 METROS	HM	24.00	S/	1.00 S/ 24.00
	ESCALERA ESTANDAR DE 2 METROS	HM	12.00	S/	2.00 S/ 24.00
	ESCALERA TIPO TIJERA DE 2 METROS	HM	336.00	S/	2.00 S/ 672.00
	ESCALERA TIPO TIJERA DE 4 METROS	HM	96.00	S/	4.00 S/ 384.00
	GRUPO ELECTROGENO 140 HP 90 KW	HM	32.00	S/	70.00 S/ 2,240.00
	MAQUINA DE SOLDAR	HM	168.00	S/	13.00 S/ 2,184.00
	MAQUINA PERFORADORA ROTATIVA ATLAS COPCO	HM	216.00	S/	400.00 S/ 86,400.00
	MAQUINA ROTATIVA PARA AGITACION CON PISTON O AIRE	HM	16.00	S/	420.00 S/ 6,720.00
	MEZCLADORA DE CONCRETO DE TAMBOR DE 18HP	HM	620.00	S/	35.00 S/ 21,700.00
	SONDA ELECTRICA DE CALIDAD DE AGUA	HM	32.00	S/	7.00 S/ 224.00
	SONDA ELECTRICA DE NIVELES	HM	32.00	S/	7.00 S/ 224.00
	TANQUE CISTERNA PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA (CAPAC. 200 GLS)	HM	144.00	S/	150.00 S/ 21,600.00
	TANQUE CISTERNA PARA TRASLADO DE AGUA CON LODO (CAPAC. 200 GLS)	HM	16.00	S/	150.00 S/ 2,400.00
	VOLQUETE DE 8 M3	HM	8.00	S/	150.00 S/ 1,200.00
	BROCA TRICONICA DE 158,75 MM (6 1/4 IN)	HRA	48.00	S/	42.00 S/ 2,016.00
	BROCA TRICONICA DE 444,5 MM (17 1/2 IN)	HRA	72.00	S/	240.00 S/ 17,280.00
	ALQUILER DE TUBERIAS O SARTA DE PERFORACION	ML	390.00	S/	95.00 S/ 37,050.00
					S/ 251,174.00
					SUB-TOTAL S/ 1,232,002.80
	HERRAMIENTAS				
	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	280.00	S/	2,030.02 S/ 5,684.05
					SUB-TOTAL S/ 5,684.05
	TERCEROS				
	EMPRESA CONTRATADA PARA LA INSTALACION DE LA SUBESTACION	GLB	1.00	S/	30,000.00 S/ 30,000.00
	EQUIPOS DE EMPRESA CONTRATADA PARA LA INSTALACION DE LA SUBESTACION	GLB	1.00	S/	50,000.00 S/ 50,000.00
					SUB-TOTAL S/ 80,000.00
					TOTAL S/ 1,317,686.85

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 38. Estructura tarifaria de la Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento Tacna S.A.

EPS TACNA S.A. - ESTRUCTURA TARIFARIA
 Resolución de Consejo Directivo N° 056-2018-SUNASS-CD del 21-12-2018
 Oficio N° 0002-2019-SUNASS-120-22

TACNA y PACHIA	Categoría	Asignación (m3/mes)	Rangos (m3/mes)	Tarifa (S./m3)		Pensión (S./m3)		Cargo Fijo	Impuesto I.G.V.	Total
				Agua	Alcantarillado	Agua	Alcantarillado			
RESIDENCIAL	Social	10	0 a más	0.722	0.303	7.22	3.03	3.39	2.46	16.10
		16	0 a 8	0.946	0.396	17.62	7.38	3.39	5.11	33.50
	Doméstico		8 a 16	1.256	0.527					
			16 a más	2.023	0.855					
NO RESIDENCIAL										
NO RESIDENCIAL	Comercial y Otros	30	0 a 30	2.023	0.855	60.69	25.65	3.39	16.15	105.88
			30 a más	4.269	1.792					
	Industrial	60	0 a 60	4.269	1.792	256.14	107.52	3.39	66.07	433.12
			60 a más	6.928	2.928					
Estatal	40	0 a más	2.023	0.855	80.92	34.20	3.39	21.33	139.84	
LOCUMBA	Social	10	0 a más	0.464	0.195	4.64	1.95	3.39	1.80	11.78
		16	0 a 8	0.464	0.195	10.66	4.23	3.39	3.29	21.57
	Doméstico		8 a 16	0.868	0.334					
			16 a más	1.616	0.619					
NO RESIDENCIAL										
NO RESIDENCIAL	Comercial y Otros	20	0 a más	1.616	0.619	32.32	12.38	3.39	8.66	56.75
			0 a más	3.846	1.615	192.30	80.75	3.39	49.76	326.20
	Estatal	75	0 a más	1.616	0.619	121.20	46.43	3.39	30.78	201.80

* Factor de Ajuste sobre la Tarifa de Agua Potable de la categoría Doméstico por aplicación del Sistema de Subsídios Cruzados Focalizados, según estratos, para las localidades de Tacna y Pacha. => 0.765 en el primer rango de consumo (0 - 8)



PLIEGOS TARIFARIOS PARA CLIENTES FINALES CON VIGENCIA DESDE EL 04 DE MAYO DEL 2017

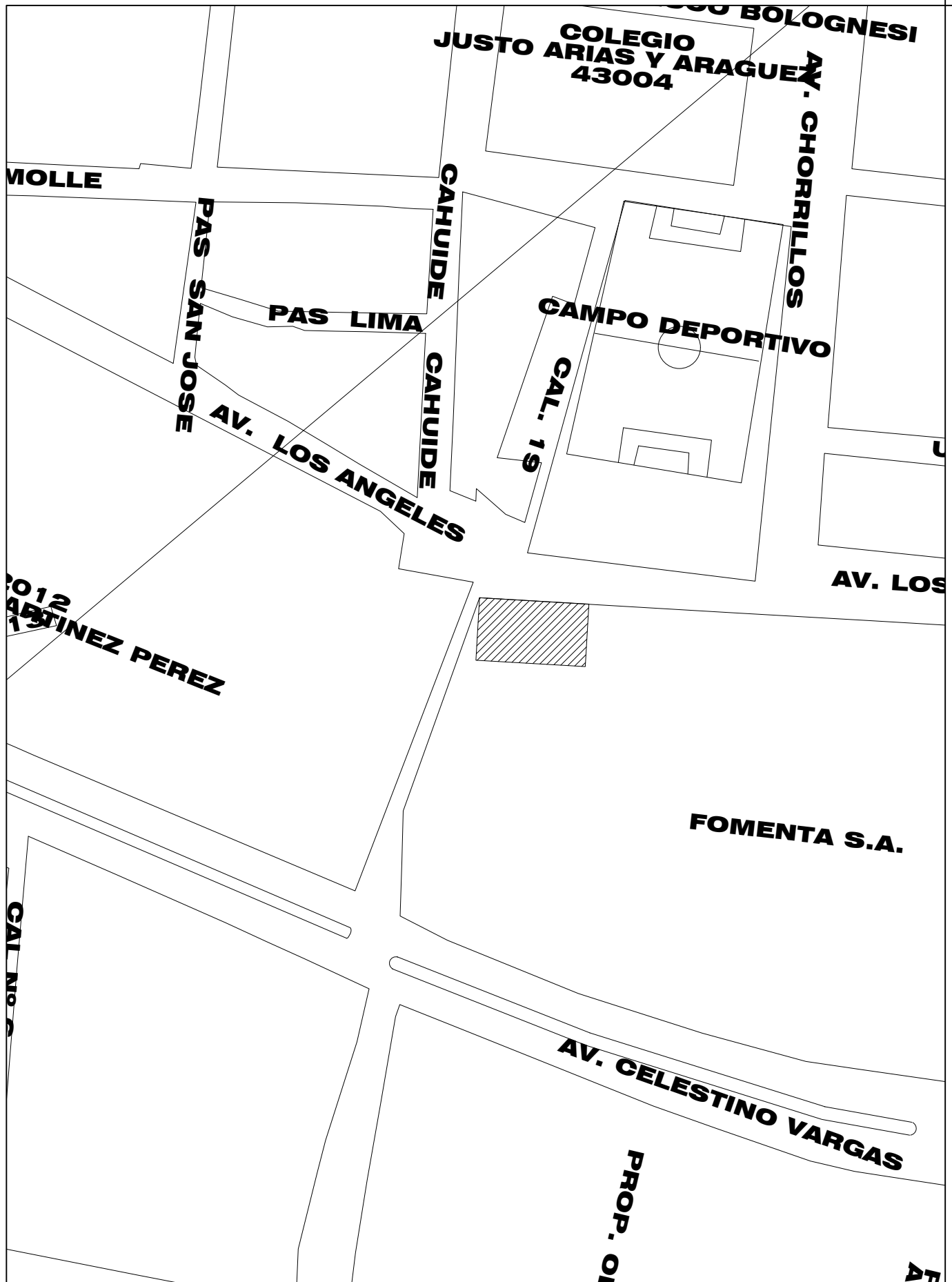
Fecha de Publicación : 03 DE MAYO DEL 2017

Calculado por Aplicación de Factores de Actualización Tarifaria de OSINERGMIN

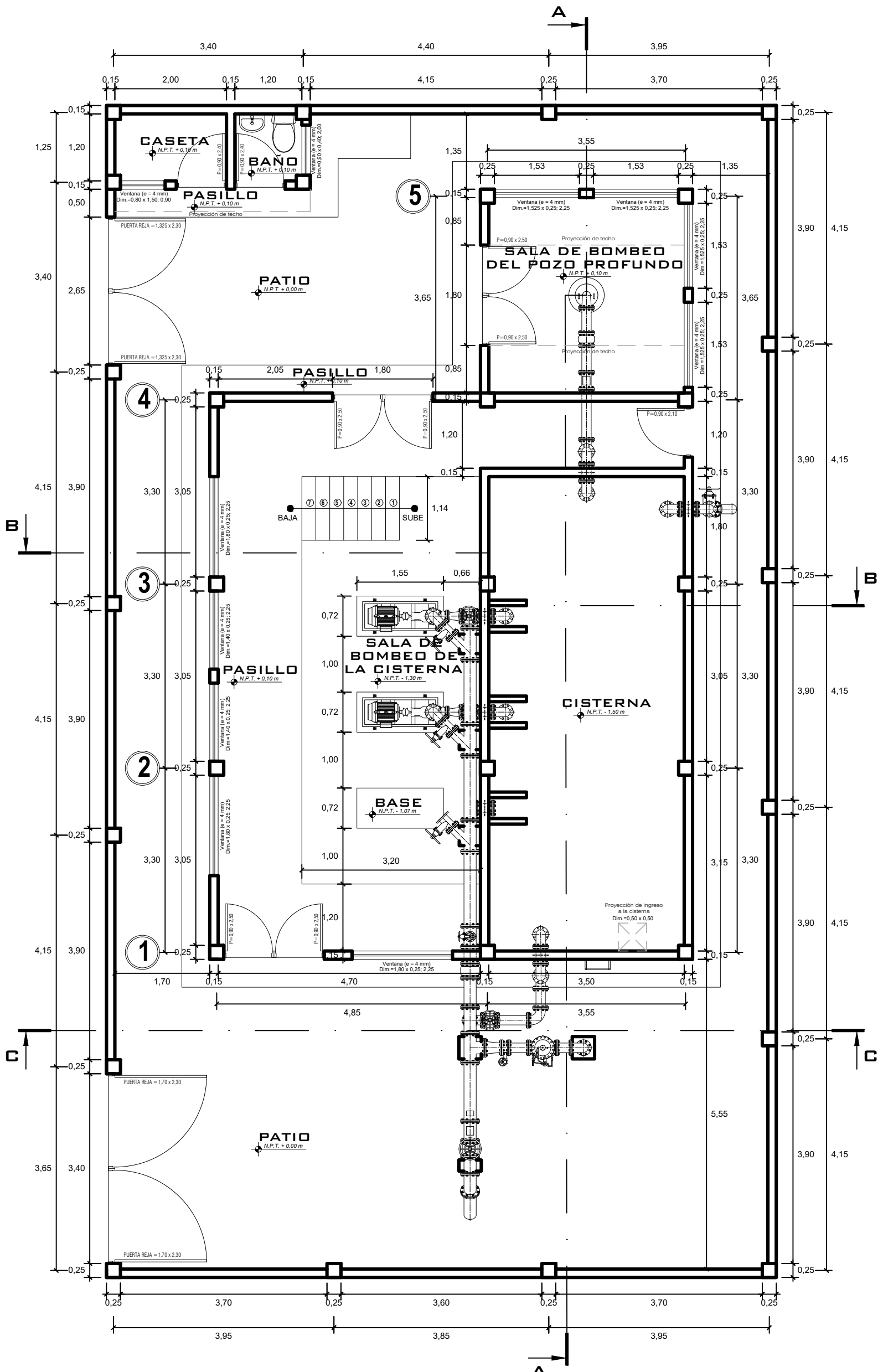
PLIEGO Nro. 004-2017-ELS
INCLUYE FOSE, NO INCLUYE IGV

Unidad	TACNA	MOQUEGUA	ILO	YARADA	PUQUINA OMATE	TOMASURI	ICHUÑA	MOQUEGUA		TARAPACÁ	SER	INCLAN
								IS	IS			
TARIFAS PARA SUMINISTRO EN MEDIA TENSIÓN												
MT 1 : MEDICION DOBLE DE ENERGIA ACTIVA Y POTENCIA ACTIVA												
IF 2P												
Cargo fijo mensual	6.51	8.41	8.41	8.41	14.31	14.31	15.76	15.76	15.76	15.76	17.32	17.32
Cargos por energía activa en horas de punta	21.55	20.50	20.70	21.64	21.12	21.71	22.43	20.91	21.09	21.09	20.56	21.70
Cargos por energía activa en horas fuera de punta	17.41	16.44	16.52	17.49	16.84	17.55	17.91	16.77	17.79	17.79	16.48	17.54
Cargos por potencia activa de generación:												
Presente en punta	46.83	42.75	42.75	43.35	49.62	49.37	51.30	50.64	51.35	49.81	48.33	47.08
Presente fuera de punta	23.12	26.64	26.64	27.01	32.01	31.86	32.67	32.25	32.70	31.67	32.11	32.11
Cargos por potencia activa de distribución:												
Presente en punta	11.88	13.91	13.91	13.91	13.82	13.82	14.72	14.72	14.72	14.72	14.07	14.07
Presente fuera de punta	12.22	13.91	13.91	13.91	13.60	13.60	15.39	15.39	15.39	15.12	15.12	15.12
Cargos por energía reactiva	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21
MT 4 : MEDICION SIMPLE DE ENERGIA Y POTENCIA ACTIVA												
IF 1P												
Cargo fijo mensual	6.51	8.41	8.41	8.41	13.02	13.02	14.03	14.03	14.03	14.03	17.32	17.32
Cargos por energía activa:												
Presente en punta	18.42	17.44	17.55	18.51	17.90	18.58	19.02	17.79	18.60	17.49	18.36	18.36
Presente fuera de punta	46.83	42.75	42.75	43.35	49.62	49.37	51.30	50.64	51.35	49.81	50.50	50.50
Cargos por potencia activa de distribución:												
Presente en punta	11.88	13.91	13.91	13.91	13.82	13.82	14.72	14.72	14.72	14.07	14.07	14.07
Presente fuera de punta	12.22	13.91	13.91	13.91	13.60	13.60	15.39	15.39	15.39	15.12	15.12	15.12
Cargos por energía reactiva	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21
TARIFAS PARA SUMINISTRO EN BAJA TENSIÓN												
BT 1 : MEDICION DOBLE DE ENERGIA ACTIVA Y POTENCIA ACTIVA												
IF 2P												
Cargo fijo mensual	6.51	8.41	8.41	8.41	14.31	14.31	15.76	15.76	15.76	15.76	17.32	17.32
Cargos por energía activa en horas de punta	23.35	22.24	22.48	23.49	22.66	23.29	23.93	22.32	22.51	21.65	23.07	23.07
Cargos por energía activa en horas fuera de punta	18.88	17.84	17.93	18.98	18.08	18.82	19.11	17.89	18.98	17.52	18.64	18.64
Cargos por potencia activa de generación:												
Presente en punta	42.56	38.33	38.33	38.86	32.43	32.27	32.59	32.17	32.62	30.44	30.86	30.86
Presente fuera de punta	27.88	34.36	34.36	34.85	34.76	34.59	34.93	34.49	34.97	32.63	33.09	33.09
Cargos por potencia activa de distribución:												
Presente en punta	49.90	60.25	60.25	60.25	57.59	57.59	57.18	57.18	57.18	57.15	57.15	57.15
Presente fuera de punta	44.90	57.46	57.46	57.46	57.68	57.68	57.27	57.27	57.27	57.22	57.22	57.22
Cargos por energía reactiva	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21
BT 4 : MEDICION SIMPLE DE ENERGIA Y POTENCIA ACTIVA												
IF 1P												
Cargo fijo mensual	6.51	8.41	8.41	8.41	13.02	13.02	14.03	14.03	14.03	14.03	17.32	17.32
Cargos por energía activa:												
Presente en punta	19.98	18.93	19.05	20.09	19.19	19.92	20.30	18.98	19.85	18.59	19.76	19.76
Presente fuera de punta	42.56	38.33	38.33	38.86	32.43	32.27	32.59	32.17	32.62	30.44	30.86	30.86
Cargos por potencia activa de distribución:												
Presente en punta	27.88	34.36	34.36	34.85	34.76	34.59	34.93	34.49	34.97	32.63	33.09	33.09
Presente fuera de punta	49.90	60.25	60.25	60.25	57.59	57.59	57.18	57.18	57.18	57.15	57.15	57.15
Presente fuera de punta	44.90	57.46	57.46	57.46	57.68	57.68	57.27	57.27	57.27	57.22	57.22	57.22
Cargos por energía reactiva	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21

PLANOS



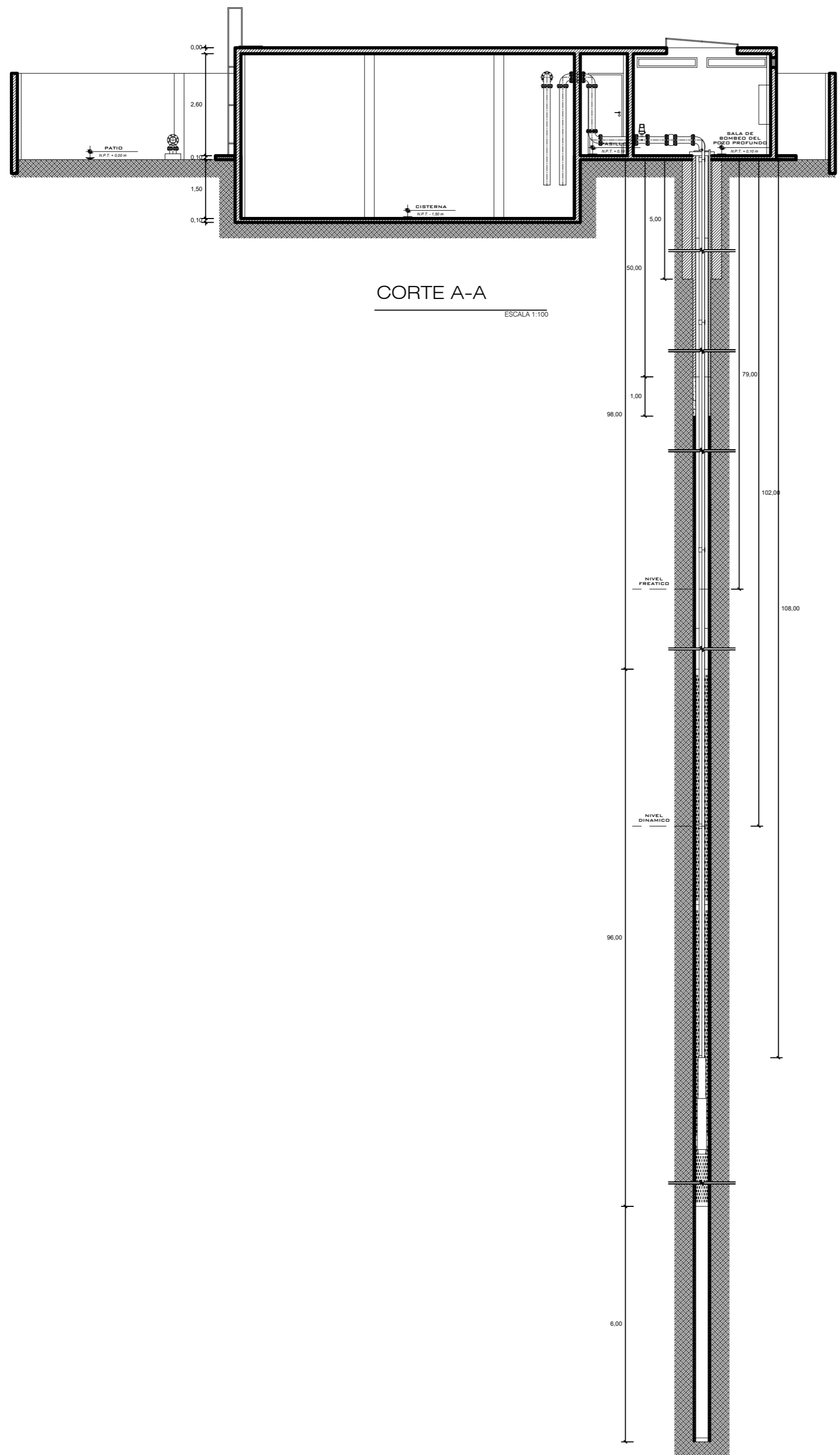
	Nombres	Fecha	Proyecto
Dibujado	Bach. Gianmario Manchego	10/04/19	DISEÑO DE ESTACIÓN DE BOMBEO AUTOMATIZADA PARA LA EXPLOTACIÓN DE RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO EN LA REGIÓN DE TACNA
Revisado	Ing. Avelino Pari	12/04/19	
Aprobado	Ing. Avelino Pari	12/04/19	
Escala	Plano		N° de Plano
1:1000	PLANO DE UBICACION		U-1



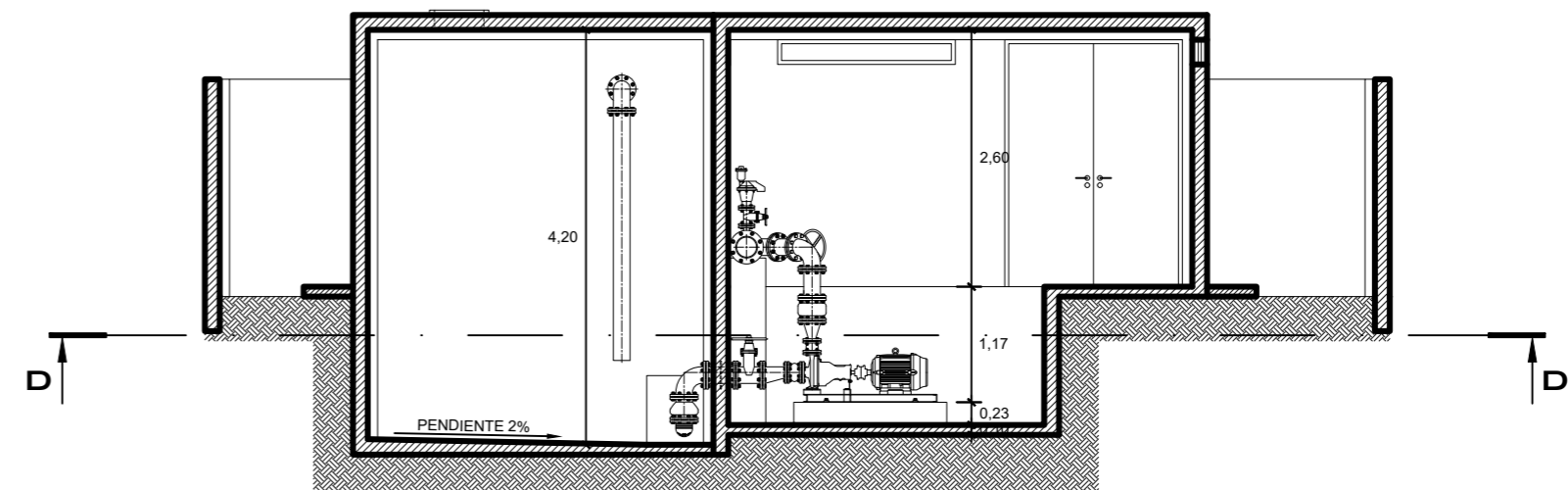
PLANTA

ESCALA 1:75

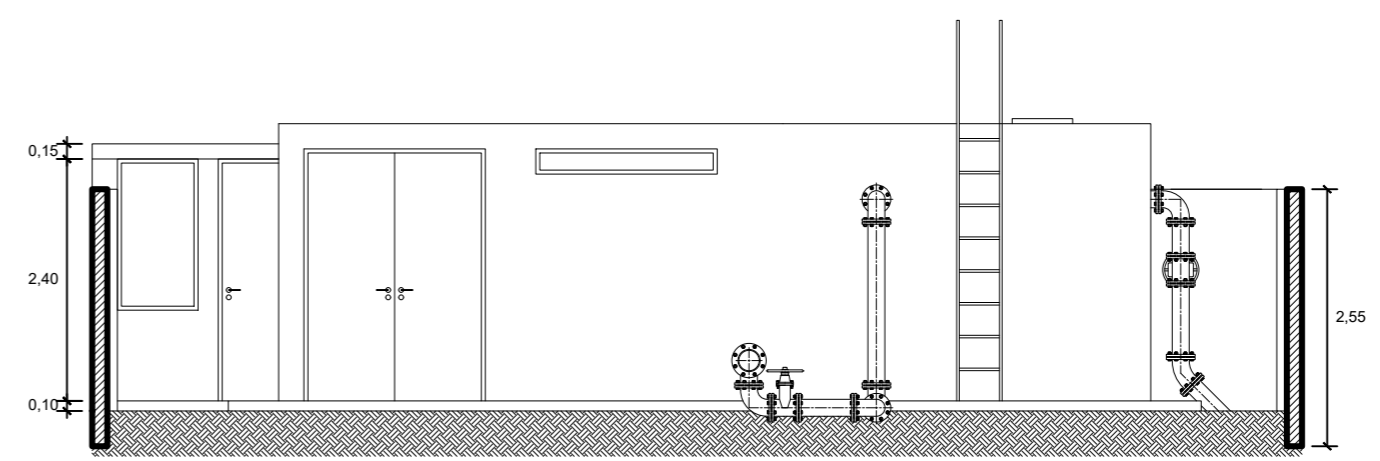
		Nombres	Fecha	Proyecto
Dibujado		Bach. Gianmario Manchego	10/04/19	DISEÑO DE ESTACIÓN DE BOMBEO AUTOMATIZADA PARA LA EXPLOTACIÓN DE RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO EN LA REGIÓN DE TACNA
Revisado		Ing. Avelino Pari	12/04/19	
Aprobado		Ing. Avelino Pari	12/04/19	
Escala	Plano			N° de Plano
1:75		PLANO DE DISTRIBUCIÓN		A-1



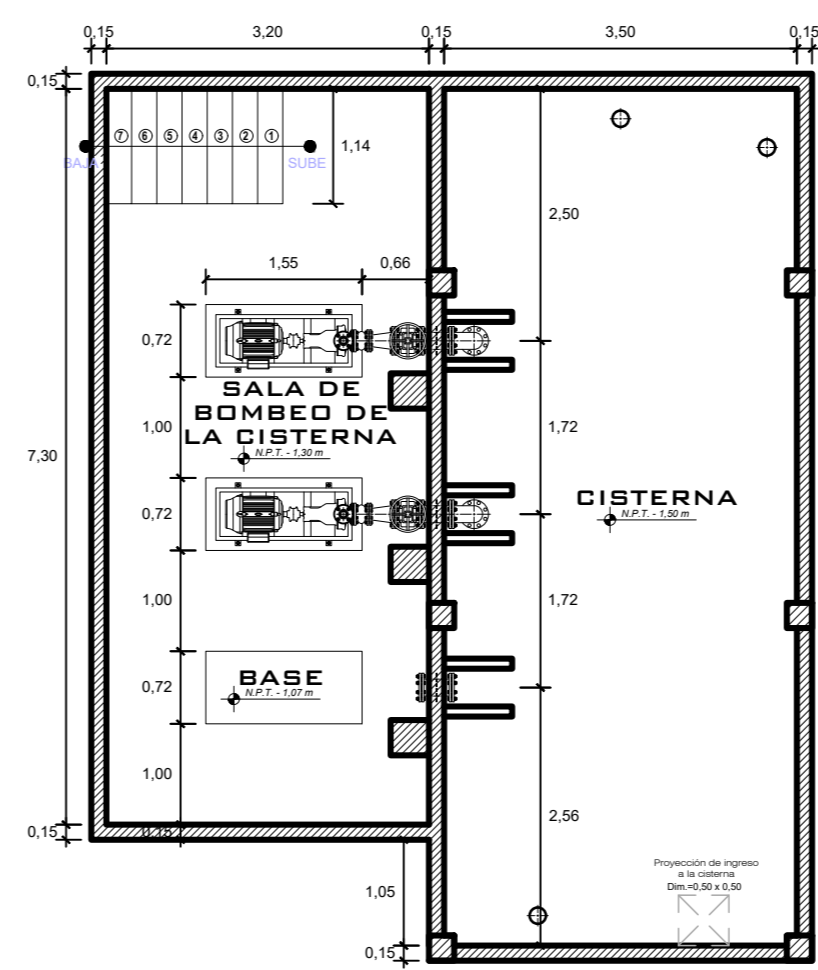
CORTE A-A
ESCALA 1:100



CORTE B-B
ESCALA 1:75

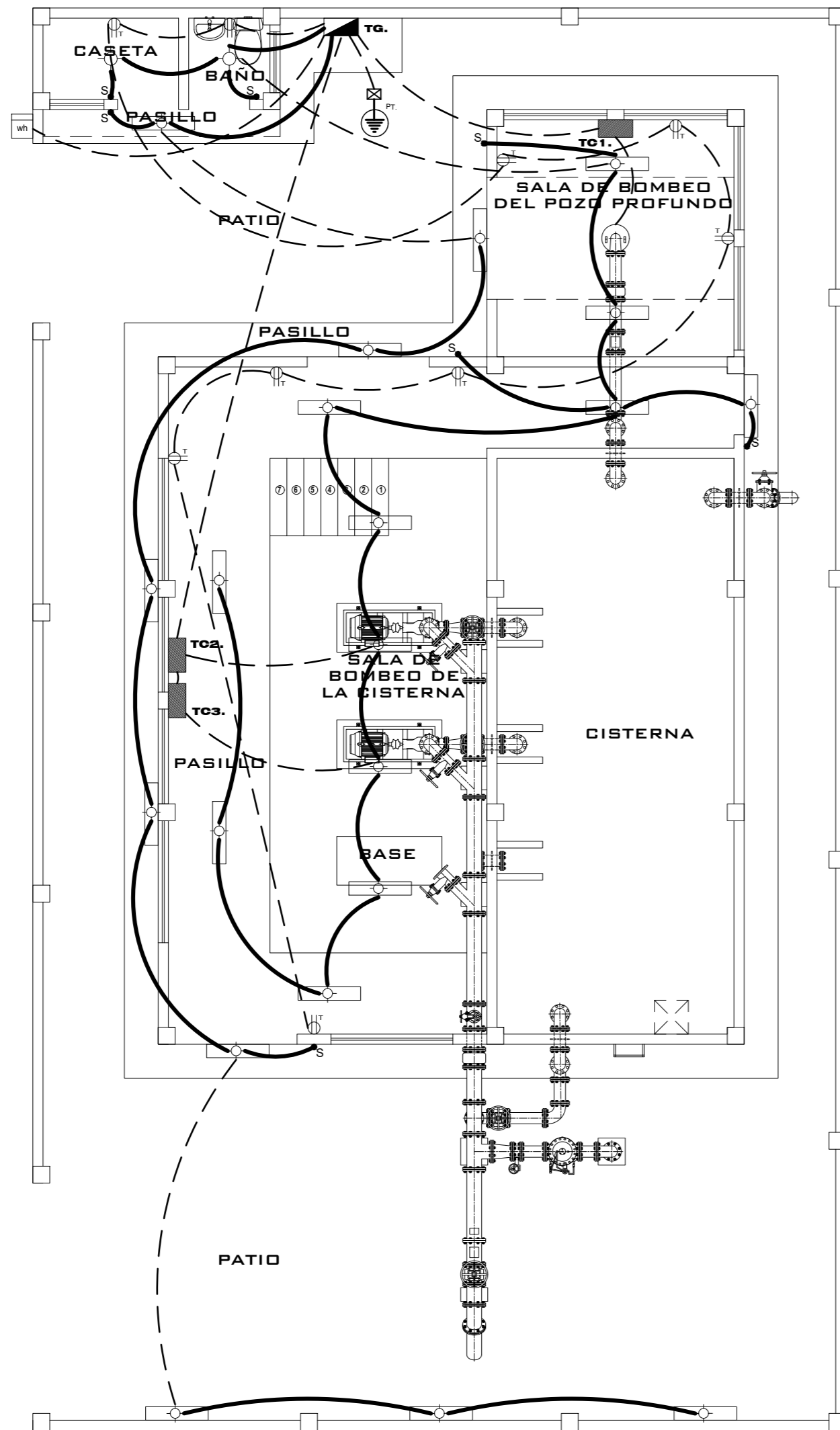


CORTE C-C
ESCALA 1:75



CORTE D-D
ESCALA 1:75

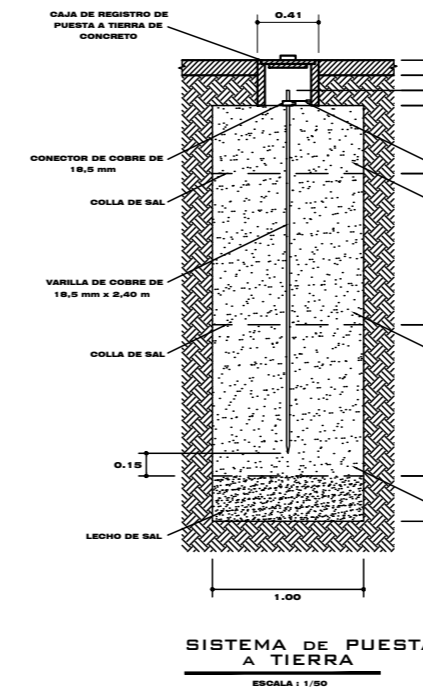
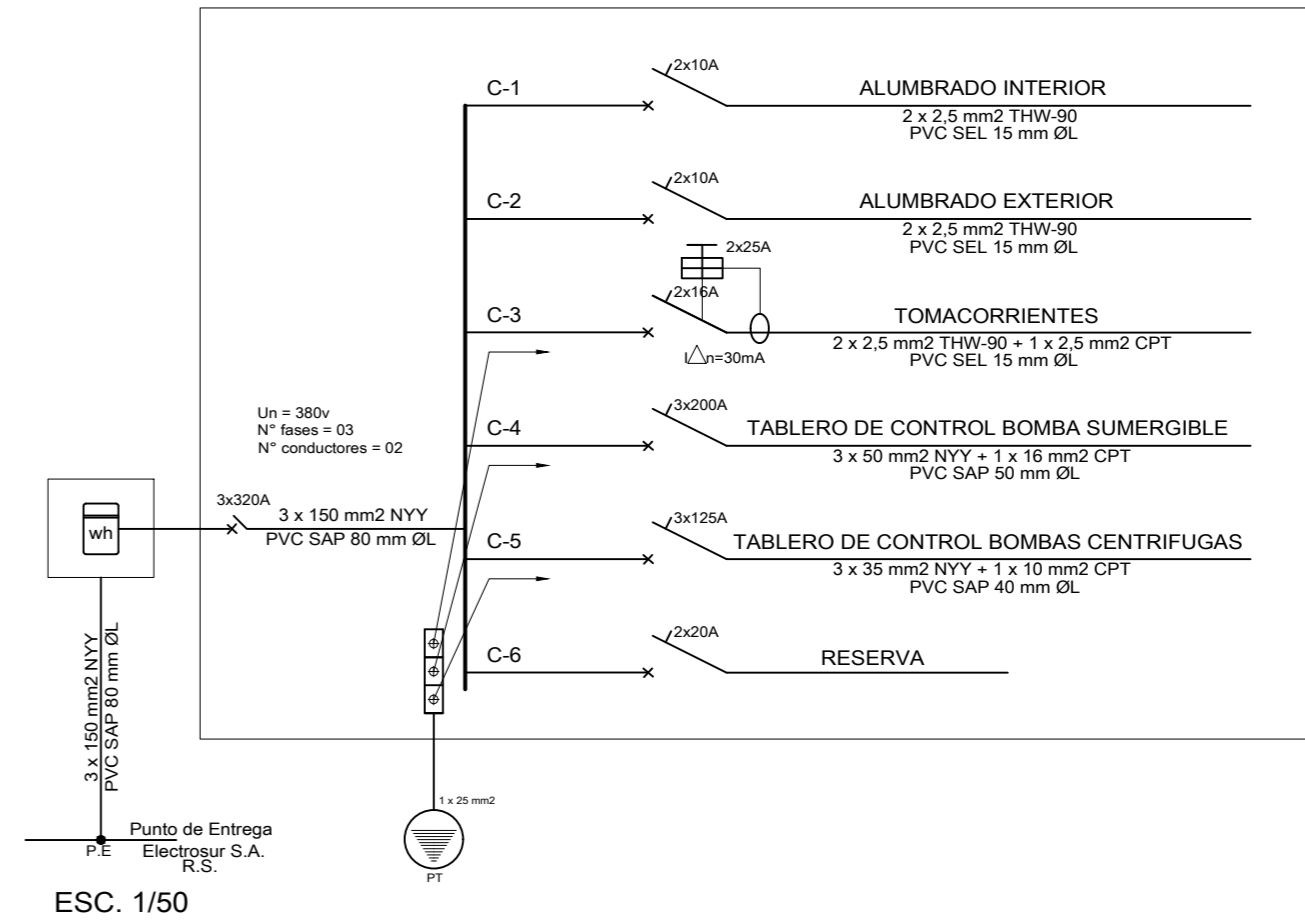
Nombres		Fecha	Proyecto
Dibujado	Bach. Gianmario Manchego	10/04/19	
Revisado	Ing. Avelino Pari	12/04/19	
Aprobado	Ing. Avelino Pari	12/04/19	
Escala	Plano	N° de Plano	
1:75	PLANO DE DISTRIBUCIÓN		A-2



PLANTA

ESCALA 1:75

TABLERO DE DISTRIBUCIÓN



LEYENDA

SIMBOLO	DESCRIPCION
	SALIDA PARA MEDIDOR DE ENERGIA ACTIVA
	SALIDA PARA TABLERO GENERAL
	SALIDA PARA TABLERO DE DISTRIBUCION
	SALIDA PARA LUMINARIA ADOSADA, CON 01 LÁMPARA FLUORESCENTE COMPACTA DE 32W E27
	SALIDA P' ARTEFACTO DE ALUMBRADO EN TECHO CON 2 LAMP. FLOURESCENTES RECTAS DE 36WC/U
	SALIDA PARA INTERRUPTOR (A RAS DE MURO) UNIPOLAR, SIMPLE, DOBLE, TRIPLE Y DE TRES VIAS
	SALIDA PARA TOMACORRIENTE BIPOLAR DOBLE "RAS DE MURO", TIPO CON 3 AGUJEROS RECEPTORES REDONDOS EN LÍNEA RECTA O SCHUKO, C/TERMINAL P/CONDUCTOR DE PROTECC. (h=0,40; 1,10 ó 1,80m.s.n.p.l.)
	CIRCUITO EMBUTIDO, EN DUCTO PVC, EN MURO O TECHO, CON TRES CONDUCTORES (NEUTRO Y DOS ACTIVOS)
	CIRCUITO ELÉCTRICO, EN DUCTO PVC, EMBUTIDO EN PISO.
	PUESTA A TIERRA

	Nombres	Fecha	Proyecto
Dibujado	Bach. Gianmario Manchego	10/04/19	DISEÑO DE ESTACIÓN DE BOMBEO AUTOMATIZADA PARA LA EXPLOTACIÓN DE RECURSO HÍDRICO SUBTERRÁNEO EN LA REGIÓN DE TACNA
Revisado	Ing. Avelino Pari	12/04/19	
Aprobado	Ing. Avelino Pari	12/04/19	
Escala	Plano		N° de Plano
1:75	INSTALACIONES ELECTRICAS		IE-1