



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE ALTA EFICIENCIA, PARA REEMPLAZO DEL BOMBEO EXISTENTE POR MOTOR DE COMBUSTIÓN PARA UN VIVERO UBICADO EN LA COMUNA ‘DOS MANGAS’.”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniería en Electrónica y Automatización Industrial

Presentado por:

Juan André Moreno Lucio

Winellys Nora Naranjo Rosales

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2020

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mi familia y amigos, quienes han sido de gran apoyo en aquellos momentos difíciles en los que necesité una palabra o acción de motivación.

Juan Moreno

A Dios quien guía mi vida y a mis padres pilares fundamentales de mis logros. Merecedores de todo reconocimiento por su guía, amor y disciplina.

Winellys Naranjo

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a mis padres que, gracias a su esfuerzo y trabajo, he tenido siempre un pan en la mesa para alimentarme, una cama donde dormir y la oportunidad de estudiar en la ESPOL. A esta institución, especialmente a aquellos maestros que dieron lo mejor de ellos para transmitirnos sus conocimientos con mucho respeto y dedicación; a los docentes Dennys Cortez y Víctor Asanza, por haber sido una guía en la realización de esta tesis.

Finalmente, a aquellos compañeros/as que, a lo largo de la carrera fueron un apoyo en diversos proyectos, hasta convertirse en grandes y sinceras amistades que te da la etapa estudiantil.

Juan Moreno

A mis padres por haber sido parte fundamental de este logro, a mi hermana Wendy por su apoyo y motivación para culminar esta etapa académica.

A mis profesores y formadores de ESPOL especialmente a mi tutor por sus guías y apoyo a culminar este trabajo.

Winellys Naranjo

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Juan Moreno y Winellys Naranjo damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

Juan
Moreno
Lucio

Digitally signed by Juan Moreno
Lucio
DN: cn=Juan Moreno Lucio
gn=Juan Moreno Lucio o=EC
Ecuador l=EC Ecuador o=ESPOL
ou=FIEC
e=jm.moreno18@gmail.com
Reason: I am the author of this
document
Location: Ecuador
Date: 2021-05-06 14:11:05:00



Juan André Moreno
Lucio

Winellys Nora Naranjo
Rosales

EVALUADORES



Firmado electrónicamente por:
DENNYS DICK
CORTEZ
ALVAREZ

Ing. Dennys Cortez

PROFESOR DE LA MATERIA

Ing. Víctor Asanza

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El agua es un recurso natural vital para la supervivencia de los seres vivos. En el 2020, éste sigue siendo un servicio básico que no abastece a todos los sectores del país; según el INEC en el 2019, en el área rural el agua potable estaba disponible apenas para el 48.5% de toda la población. En la zona rural, existen lugares donde tampoco se cuenta con un sistema de electrificación y debido a esto, pobladores se abastecen de agua por medio de pozos; en muchos casos, extrayendo su agua a través de motores de combustión interna como su única opción.

Es necesario poder contar con un sistema eléctrico que pueda abastecer la alimentación de una electrobomba en estas zonas, considerando que éstas son más eficientes y la tarifa eléctrica en este sector es bastante económica: \$0.04 ctvs. el kWh, según el pliego tarifario de la empresa eléctrica.

La selección del equipo de bombeo se realizó basada en una inspección de campo donde, en base a parámetros hidráulicos y físicos del subsuelo, se calculó la altura dinámica total (TDH) y el caudal necesario, y posteriormente se escogió la bomba sumergible que cumpla con dichos requerimientos. La potencia de la electrobomba escogida es de 8.87 kW. En base a ello, se determinó que el transformador de alimentación sea de 15 kVA trifásico y el arranque del motor de tipo directo.

El control de marcha y paro automático del sistema se hizo utilizando dos sensores: uno de nivel bajo y otro de nivel alto, para ubicarse a niveles de 20 y 270 m³ de un reservorio elevado en el que depositará el agua extraída para su posterior riego.

Se realizaron los planos de conexión en el software CAdE SIMU para el circuito de control y fuerza. Además, se programó en LabVIEW un simulador del llenado y vaciado del reservorio para observar el comportamiento del sistema.

El costo de inversión se va a recuperar en segundo año de uso, debido a que el ahorro anual en electricidad es de \$780.24 si solo se cambiara la bomba. En este caso, el valor total del sistema eléctrico más la bomba se recuperará en el octavo año de operatividad.

Palabras Clave: Sistema de bombeo automatizado, Bomba sumergible, Caudal, Altura Dinámica Total, Reservorio, Sistema eléctrico, LabVIEW.

ABSTRACT

Nowadays, water is an important natural resource for the human being life that is not available for every people in Ecuador. According to the INEC in 2019, drinking water was only available for 48.5 % of the people in the rural sector. Also, in this sector there are places that do not have an electrical system and due to this, the habitants get the water from water wells; in most of the cases, they extract the water using gasoline engine pumps as their only choice.

It is necessary to have an electrical system that can supply the power of an electric pump in these areas, considering that these are more efficient and the electricity cost at this sector is quite cheap: \$0.04 per kWh, according to the schedule of the electric company.

The selection of the pumping equipment was made based in a field inspection where, according to hydraulic parameters, the total dynamic head (TDH) and the necessary flow rate were calculated to search and choose the submersible pump that fulfill those requirements. The chosen submersible pump has a power of 8.87 kW; based on this, the power of the three-phase transformer was determined to be 15 Kva, and Direct on line motor starter (DOL).

The automated control of the start and stop system was done using two sensors: one low-level sensor and another high-level sensor, to keep the water level between 20 m³ and 270 m³ in an elevated reservoir in which the extracted water will be stored for later irrigation.

The connection diagrams were made in CADe Simu software for the control and power circuits. Moreover, in the LabVIEW software was programmed a simulation of the system to observe its behavior, the filling and emptying of the reservoir.

The investment cost was estimated to be recovered on the second year only considering the yearly savings of \$780.24 due to the change of gasoline engine for electric pump. Considering the implementation of the total electrical system including the electric pump, the investment will be recovered on the eighth year of operation.

Keywords: *Automated Pumping System, Submersible pump, Flow rate, Total Dynamic Head, Reservoir, Electrical System, LabVIEW.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
CAPÍTULO 1.....	9
1. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	10
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	11
1.3 OBJETIVOS.....	11
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	11
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
1.4 MARCO TEÓRICO	12
1.4.1 CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE HIDROGEOLOGÍA.....	12
1.4.2 ACUÍFEROS	14
1.4.2.1 TIPOS DE ACUÍFEROS.....	14
1.4.3 POZOS.....	15
1.4.3.1 TIPOS DE POZOS	15
1.4.4 BOMBAS SUMERGIBLES	16
1.4.5 TERMINOLOGÍA HIDRÁULICA	17
1.4.6 CURVAS DE LAS BOMBAS	18
CAPÍTULO 2.....	20

2.	METODOLOGÍA.....	20
2.1	LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN	20
2.2	SELECCIÓN DEL TIPO DE BOMBA.....	21
2.3	DIMENSIONAMIENTO Y CÁLCULOS.....	22
2.4	SISTEMA ELÉCTRICO.....	32
	CAPÍTULO 3.....	35
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	35
3.1	RESULTADOS DE LA ETAPA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL DISEÑO.....	35
3.2	RESULTADOS DE LA ETAPA DE DISEÑO ELÉCTRICO DE FUERZA Y CONTROL.....	36
3.2.1	RESULTADOS DE LA UBICACIÓN DEL PANEL	36
3.3	RESULTADOS DEL SISTEMA SIMULACIÓN.....	37
3.4	PRESUPUESTO.....	41
3.5	ANÁLISIS DE COSTO DE CONSUMO.....	43
	CAPÍTULO 4.....	45
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	45
4.1	CONCLUSIONES	45
4.2	RECOMENDACIONES.....	46
	REFERENCIAS	47
	ANEXOS.....	48

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
TDH	Altura dinámica total
NPSH	Net Positive Suction Head
NPT	Rosca estadounidense para tuberías
PE	Polietileno
m.c.a	metros por columna de agua
NEC	Código eléctrico nacional
AC	Corriente alterna

SIMBOLOGÍA

V	voltios
A	amperios
Hz	Hertz
kW	kilovatio
kWh	kilovatio hora
kVA	kilovoltio-amperio
ctvs.	centavos
Q	caudal
m	metros
mm	milímetros
pulg	pulgadas
rpm	revoluciones por minuto
Hp	caballos de fuerza
m ³	metros cúbicos
m ³ /h	metros cúbicos por hora
m ³ /s	metros cúbicos por segundo
m/s	metros por segundo

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Ciclo hidrológico. Ilustración sacada de (Valencia Robles, 2018).....	12
Figura 1.2: Porosidad Total y Eficaz. Ilustración sacada de (Valencia Robles, 2018)....	12
Figura 1.3: Ejemplo de 2 formaciones con distintos espesores y conductividad K; misma transmisividad.....	13
Figura 1.4: Tipos de acuíferos	14
Figura 1.5: Partes más destacables de una bomba sumergible	16
Figura 1.6: Infografía de las cargas hidráulicas presentes en un sistema de bombeo...	17
Figura 1.7: Curvas características de las bombas y sus regiones de operación.....	19
Figura 2.1: Extracto de la tabla normalizada de valores de $W(u)$ (encerrados con amarillo) para distintos valores de u	24
Figura 2.2: Programa en Excel para el cálculo de pérdidas por fricción	26
Figura 2.3: Software "Grundfos Product Center" para búsqueda de bombas en base a aplicación o dimensionamiento	27
Figura 2.4: Alternativas que satisfacen con el punto de trabajo establecido	28
Figura 2.5: Curvas de la bomba SP 46-4-BC, diámetro de salida de 4" NPT	29
Figura 2.6: Curvas de la bomba SP 46-3, diámetro de salida de 4" NPT	30
Figura 2.7: Poste eléctrico con transformador trifásico, diseñado en AutoCAD	32
Figura 2.8: Circuitos de fuerza y de control para el sistema de bombeo automático	34
Figura 3.1 circuito de Control y Fuerza	36
Figura 3.2 Simulación Llenado	37
Figura 3.3 Alarma bajo OFF	37
Figura 3.4 Nivel Alto ON	38
Figura 3.5 Válvula Salida ON.....	38
Figura 3.6 Nivel Bajo ON	39
Figura 3.7 Nivel Bajo OFF Válvula Salida OFF.....	39
Figura 3.8 Válvula Ent ON Válvula Sal ON	40
Figura 3.9 Comportamiento de llenado y vaciado simultaneo.....	40
Figura 3.10 Costo de ahorro de combustible Anual	43
Figura 3.11 Tiempo de recuperar la inversión del sistema completo	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Datos del sistema de bombeo (reservorio y pozo).....	20
Tabla 2.2: Datos de placa bomba actual, modelo KT30PG.....	21
Tabla 2.3: Coeficiente de Hazen-Williams para diferentes materiales.....	25
Tabla 2.4: Comparativa entre los valores de potencia absorbida y entregada, y la eficiencia de las bombas.....	31
Tabla 3.1: Datos técnicos del sistema	35
Tabla 3.2: Presupuesto del sistema	41
Tabla 3.3: Presupuesto de Ingeniería.....	41
Tabla 3.4: Sistema eléctrico.....	42
Tabla 3.5: Comparativa costos por alimentación.....	43

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El agua en el 2020 sigue siendo un servicio básico que no cubre todos los sectores, en la Provincia de Santa Elena que es uno de los lugares preferidos de los ecuatorianos y extranjeros para vacacionar, sin embargo, esta provincia respecto al servicio de agua potable no cuenta con una cobertura total, es por esto por lo que, en algunas partes, especialmente la ruta del Spondylus después de Ayangué, la distribución del agua es por tanqueros y en otros casos se abastecen de pozos de agua dulce.

Los acuíferos de agua subterránea también sirven para el riego de sembríos como es el caso de una pequeña finca ubicada en la comuna Dos Mangas a siete kilómetros del noreste de Manglaralto.

El nombre de Dos Mangas es debido a dos ríos pequeños llamado Grande y Colin vertientes que cercan esta población de 1,300 habitantes aproximadamente.

En 1937 se dedicaban a la agricultura, pero la escasez de lluvias obligó a que los moradores se dediquen a otras actividades artesanales en paja toquilla y tagua sin embargo quienes aún se dedican a la agricultura lo hacen a través de pozos de agua.

La Familia Rodríguez Guale quienes poseen una extensión territorial de 3.7 hectáreas donde cultivan sandía, cacao, guanábana y maracuyá, se abastece para el riego de sus cultivos a través de un pozo de 13 metros de profundidad, ubicado dentro de su propiedad, para este sistema de riego se utiliza una bomba de combustión interna que impulsa el agua hacia un reservorio ubicado a 29 metros en la parte más alta de la finca, donde el riego a los sembríos se lo realiza por gravedad.

El objetivo de este proyecto es realizar el diseño para el cambio de la bomba de combustión por una bomba eléctrica de alta eficiencia y realizar el trabajo de llenado del reservorio de una manera automatizada a través de sensores de nivel de líquido

con los cuales por medio de señales indicarían el tiempo de llenado, así como de funcionamiento.

En la actualidad el consumo de combustible de esta bomba de combustión tiene un costo de \$20.00 a la semana que representa un gasto de \$80.00 por mes luego de seleccionar el tipo de bomba que vamos a utilizar veremos la factibilidad económica, como la ecológica de este proyecto.

Con la automatización de este sistema quedará establecido el tiempo de llenado por medio de señales de alarmas de encendido y apagado de esa manera se garantiza el óptimo tiempo de funcionamiento y de consumo de energía eléctrica.

Uno de los puntos a tomar en consideración de este proyecto es que al frente de la finca solo pasa una línea monofásica de alimentación de energía de la empresa eléctrica, motivo por el cual el cliente no ha podido realizar el cambio de la bomba debido a su alimentación y donde debemos realizar un tablero de alimentación y protección en una miniestación y realizaremos las consideraciones eléctricas necesarias.

1.1 Descripción del problema

En un vivero ubicado en la comuna “Dos Mangas” existe un sistema de riego donde se abastecen de agua por medio de un pozo, el motor utilizado para proveer el agua al reservorio es de combustión interna, los propietarios de la hacienda desean cambiar este motor por un motor eléctrico, pero tienen dos problemas que hasta ahora no les han permitido hacer este que cambio que son:

- Desconocimiento de las características técnicas de la bomba que se necesitaría para el reemplazo.
- El suministro de energía del lugar es monofásico de 110V y no abastece la alimentación de la bomba eléctrica.

1.2 Justificación del problema

Como hemos mencionado anteriormente vamos a realizar el cambio de un motor de combustión interna por un motor eléctrico, el principal motivo de no hacerlo hasta la actualidad es no saber qué tipo de bomba debería ser la adecuada y que frente a la finca existe un tendido eléctrico de solo 110V la línea monofásica no abastecería la alimentación de la nueva bomba. Por este motivo se diseñará el sistema de alimentación necesario, traído desde el alimentador principal ubicado a 50 m y se seleccionará la bomba adecuada basándonos en los factores y parámetros técnicos para el cambio de la bomba, este cambio de sistema de bombeo generará un ahorro económico considerable al cliente, así como disminuye el impacto ambiental que tienen este tipo de motores al considerar que el motor eléctrico tiene energía limpia.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de bombeo utilizando una electrobomba, en reemplazo del sistema actual de bombeo a motor de combustión para el abastecimiento de un reservorio elevado destinado al riego por gravedad.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Dimensionar las características necesarias de la electrobomba a emplearse en el diseño, en base a una inspección técnica.
2. Diseñar un sistema de activación automática de la electrobomba en función de los niveles de agua en el pozo (alto, bajo) del reservorio de la finca.
3. Diseñar un sistema de protección para el motor.
4. Realizar un estudio de la factibilidad económica del sistema propuesto.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Conceptos fundamentales de hidrogeología

Se mencionan los términos básicos de hidrogeología relacionados con la formación de acuíferos y factores que influyen en el almacenamiento y circulación de agua subterránea.

Ciclo hidrológico: Se hace referencia a este ciclo al hablar del movimiento general del agua, de manera ascendente cuando existe evaporación y descendente cuando hay precipitaciones y posteriormente escorrentía superficial y subterránea. (Sánchez, 2017).

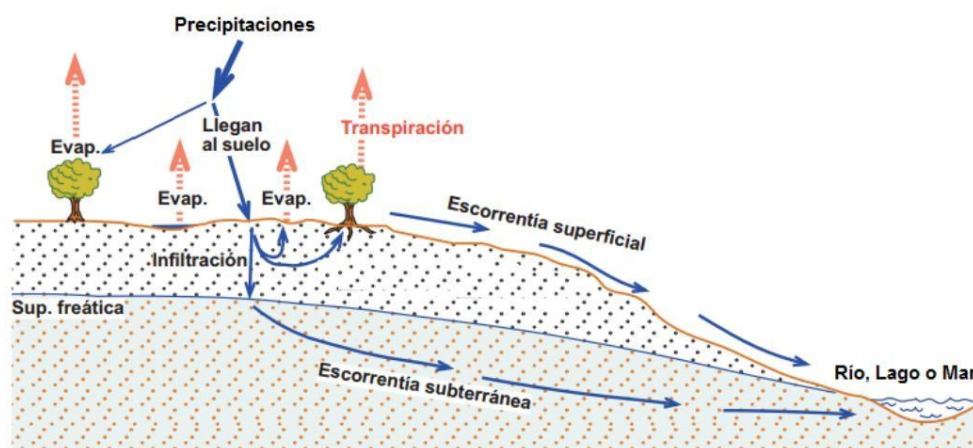


Figura 1.1: Ciclo hidrológico. Ilustración sacada de (Valencia Robles, 2018)

Porosidad Total (m_t): Es la cantidad de espacios vacíos o poros que contiene una roca. Es un valor adimensional y se expresa ya sea en porcentaje (%) o entre 0 y 1. (Sánchez, 2017).

Porosidad Eficaz (m_e): Volumen de poros que se han vaciado en una formación rocosa, o volumen de huecos disponibles para el flujo respecto al volumen total. Es un valor adimensional y se expresa ya sea en porcentaje (%) o entre 0 y 1. (Sánchez, 2017).

Viene dada por la siguiente ecuación:

$$m_e = \text{Volumen de agua drenada por gravedad} / \text{volumen total}$$

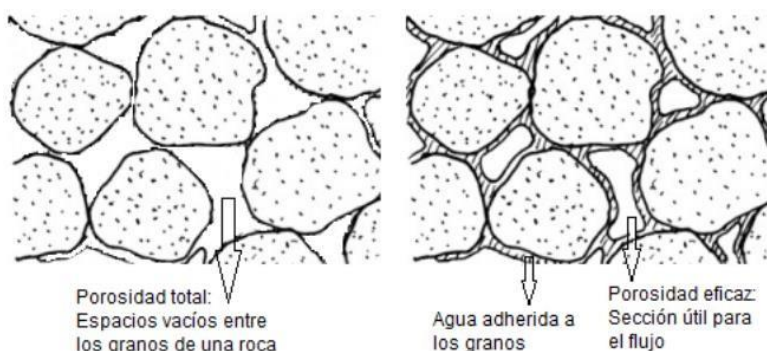


Figura 1.2: Porosidad Total y Eficaz. Ilustración sacada de (Valencia Robles, 2018).

Permeabilidad: Capacidad que poseen los cuerpos de ser atravesados por un fluido, en este caso agua. En hidrogeología esto se conoce como conductividad hidráulica (K), y es la constante de proporcionalidad lineal entre el caudal que atraviesa al medio poroso de manera perpendicular y el gradiente hidráulico. (Sánchez, 2017).

Transmisividad: Es la propiedad de una formación geológica de facilitar la circulación de agua horizontalmente. (Sánchez, 2017). Este parámetro está dado por:

$$\text{Transmisividad} = \text{Conductividad hidráulica } K * \text{Espesor}$$

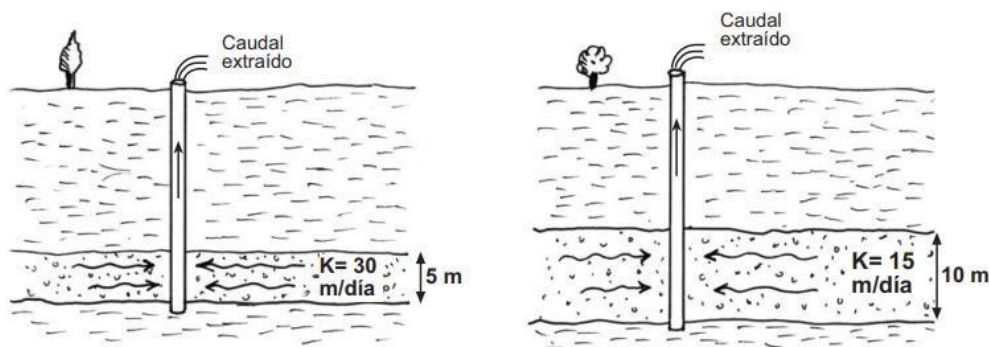


Figura 1.3: Ejemplo de 2 formaciones con distintos espesores y conductividad K; misma transmisividad.

Coefficiente de almacenamiento (S): Parámetro que indica el agua que se libera o fluye al disminuir la presión en un acuífero confinado (Sánchez, 2017). Es un valor adimensional cuyo significado representa lo mismo que la porosidad eficaz en el caso de acuífero libre. Está determinado por:

$$S = \frac{\text{Volumen de agua liberado}}{\text{Volumen total que ha bajado la superficie piezométrica}}$$

Los valores más típicos, según (Sánchez, 2017), son:

- Acuíferos libres (porosidad eficaz): 0.3 – 0.01.
- Acuíferos semiconfinados (coeficiente de almacenamiento): 10^{-3} – 10^{-4} .
- Acuíferos confinados (coeficiente de almacenamiento): 10^{-4} – 10^{-5} .

Litología: Es el tipo de suelo y/o roca en el terreno que determina el grado de permeabilidad según su capacidad natural de dejar fluir el agua por sus poros. (Valencia Robles, 2018).

1.4.2 Acuíferos

Un acuífero es una formación geológica subterránea que alberga agua, la cual circula a través de los poros y grietas de la estructura. (Ordoñez Gálvez, 2012).

Entre los grupos acuíferos, se tienen aquellos por formaciones granulares (gravas y arenas del río), en los cuales los poros que existen entre los granos están ocupados por agua en su totalidad; se los conoce como acuíferos por porosidad. Y en aquellos acuíferos por formaciones rocosas fisuradas o agrietadas, el agua circula a través de las fisuras o grietas de la estructura. (SENA, 1999).

1.4.2.1 Tipos de acuíferos

Los acuíferos se pueden clasificar en 3 tipos:

Acuíferos libres: Son aquellos en los que el nivel de agua se encuentra por debajo de la formación permeable. En este tipo de acuíferos, la descarga de agua se produce por desaturación, lo que significa que el agua liberada procede del drenaje de sus poros. (Ordoñez Gálvez, 2012).

El agua que es finalmente descargada llega a formaciones de ríos, lagos, o incluso manantiales. A su vez, estos acuíferos son recargados por el agua de las lluvias que se filtra a través de sus poros. (SENA, 1999).

Acuíferos confinados: Acuífero con una capa de muy baja permeabilidad en la parte superior, cuya agua se encuentra contenida a presión (saturada). El agua que liberan ocurre por perforaciones que alcanzan la capa impermeable, así ascendiendo el líquido por encima del mismo, eventualmente hasta la superficie. (SENA, 1999).

Acuíferos semiconfinados: Se pueden considerar un caso particular de los acuíferos cautivos, en los que muro, techo o ambos no son totalmente impermeables, sino que permiten una circulación vertical del agua. (Ordoñez Gálvez, 2012).

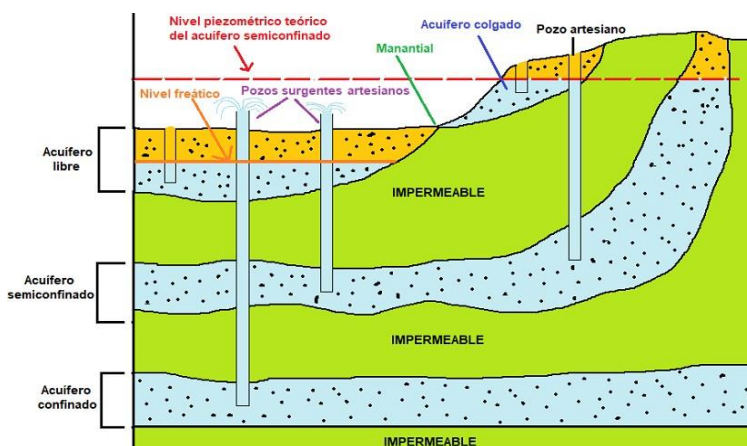


Figura 1.4: Tipos de acuíferos

1.4.3 Pozos

Un pozo o perforación de agua es una obra de captación vertical que permite la explotación del agua freática contenida en un acuífero. Dicha agua se puede elevar al nivel del suelo utilizando una bomba, ya sea manual o motorizada. (Wikiwater, 2020).

1.4.3.1 Tipos de pozos

En dependencia de la profundidad a excavar, diámetro deseado, volumen y pureza del agua, se tienen 3 tipos de pozos: excavados, hincados y aforados. (Wikiwater, 2020).

Pozos excavados: Requiere que el suelo esté relativamente blando y que la capa freática no sea demasiado profunda. A menudo, estos pozos están delimitados por piedras que los refuerzan y evitan su derrumbamiento. Su profundidad generalmente oscila entre 10 y 20 metros, llegando en casos excepcionales a los 30 o 40 metros. Al ser relativamente poco profundos, tienen mayor riesgo de contaminación y sequedad en comparación a los otros pozos. (Wikiwater, 2020).

Pozos hincados: Se realizan mediante deformación a través de un movimiento de vaivén vertical de un tubo perforado con el extremo puntiagudo y de pequeño diámetro (excepto en la técnica particular del rozado) en un terreno friable, como la arena o la grava. A menudo se fija un filtro o tamiz en la parte inferior del conducto para filtrar la arena y el resto de las partículas e impedir que penetren en los pozos. Utilizando esta técnica, solo se puede extraer el agua situada a profundidades medias de entre 15 y 100 m. (Wikiwater, 2020).

Pozos aforados o perforaciones: Éstos son excavados por percusión de una herramienta en el suelo o por la acción rotatoria de una herramienta cortante (ahoyadora, taladradora, barrena) que gira alrededor de un eje vertical y rompe y tritura las rocas, cuyos residuos suelen llevarse hasta la superficie a través de lodos. Pueden alcanzar hasta 300 m de profundidad. (Wikiwater, 2020).

En este proyecto, el pozo de agua a tratar es de tipo excavado, con aproximadamente 13 metros de profundidad ubicado en la comuna “Dos Mangas”, parroquia Manglaralto en la provincia de Santa Elena.

1.4.4 Bombas sumergibles

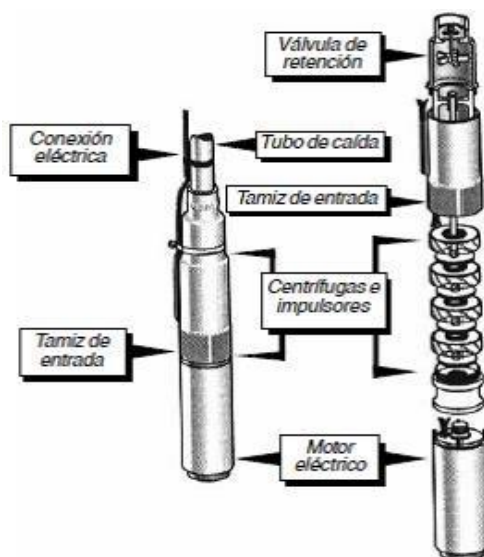


Figura 1.5: Partes más destacables de una bomba sumergible.

El funcionamiento de las bombas centrífugas es básicamente transformar la energía mecánica en energía cinética para conducir el agua hacia el exterior. La bomba sumergible es un tipo de bomba centrífuga que permite su inmersión en agua. En este tipo de electrobombas, el conjunto bomba-motor se encuentra en una sola estructura, comúnmente en forma de 'bala', en el cual el motor se encuentra herméticamente sellado, y encapsulado normalmente en aceite ecológico para no contaminar el pozo o acuífero en caso de daños en el encapsulado que puedan producir derrame o fuga. (Hurlbatt, 2016).

A diferencia de las bombas centrífugas que se encuentran en tierra y succionan el agua por medio de una tubería, este tipo de bomba cuenta con una chapa perforada en medio de su estructura, la cual es el punto de captación o tamiz de aspiración del agua. Dicha agua entrante pasa a través de un conjunto de rodetes que aumentan la presión del fluido en la columna, teniendo así una presión final del fluido que corresponderá aproximadamente a la suma de los aumentos de presión aportados por cada rodete o impulsor (como si se tratasen de bombas en serie). Por ello, son conocidas también como bombas multietapas (tantas etapas de impulsión como rodetes tenga la bomba). (Hurlbatt, 2016).

Se ubica cerca del fondo del pozo y bombea el agua solo cuando es necesario. Al estar bajo el agua, no es susceptible a problemas de cavitación.

1.4.5 Terminología hidráulica

Se explican los términos hidráulicos más relevantes, relacionados al bombeo de agua desde un pozo.

Nivel estático: Es la distancia desde la superficie del terreno hasta el nivel del espejo de agua.

Altura de descarga: Es la distancia vertical a la que se debe bombear el agua. Se mide desde el nivel del suelo hasta el borde superior del reservorio de almacenamiento.

Carga estática total: Es la altura que se mide desde el nivel del espejo de agua hasta el borde superior del reservorio. Se obtiene sumando el nivel estático más la altura de descarga.

Nivel dinámico: Es la distancia desde la superficie del terreno al nivel que adquiere el espejo de agua durante el proceso de bombeo.

Abatimiento: Es la diferencia entre el nivel dinámico y el nivel estático.

Carga por fricción (pérdidas): Son las pérdidas que se producen como consecuencia del coeficiente de fricción K inherente al material y forma de las tuberías y conexiones (codos, uniones, etc). Este valor depende también del diámetro de las tuberías, distancia, tipo de fluido y caudal a bombearse.

Carga o altura dinámica total (TDH): Es la suma de la carga estática total más la altura de abatimiento y las pérdidas por fricción.

En la figura 1.3 se muestran gráficamente los términos mencionados.

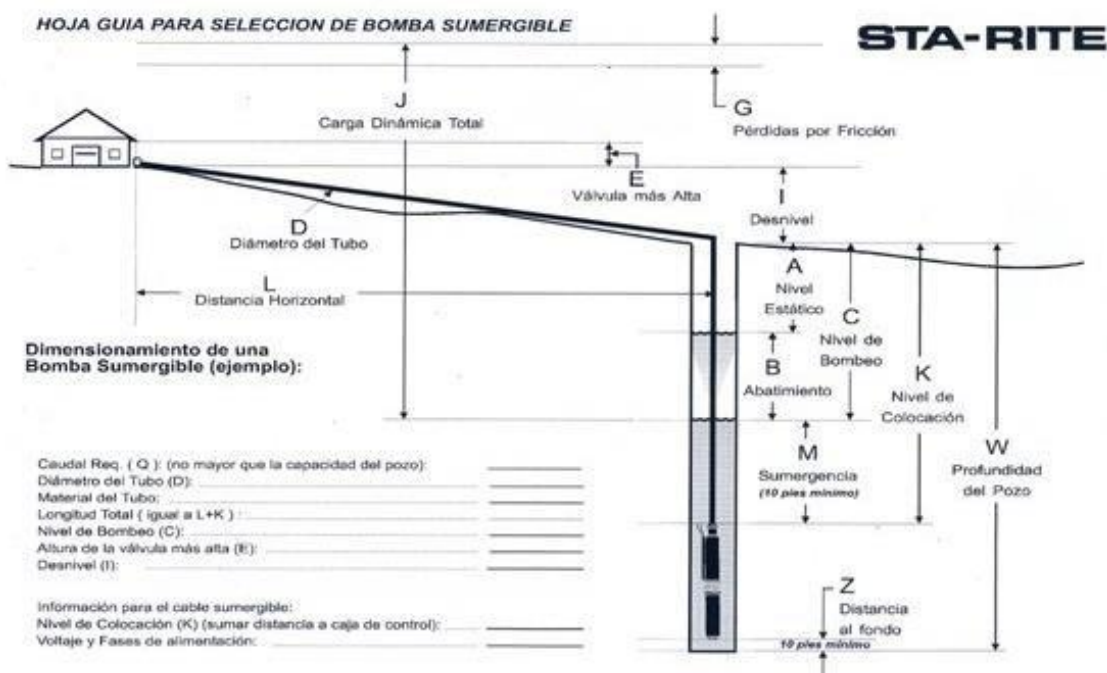


Figura 1.6: Infografía de las cargas hidráulicas presentes en un sistema de bombeo.

1.4.6 Curvas de las bombas

Las curvas de rendimiento típicas de una bomba centrífuga muestran información acerca del consumo, el rendimiento, el NPSH y la altura dinámica total (TDH) -en función del caudal- a la cual puede operar la bomba. Se describe el significado de cada una de estas curvas a continuación:

Curva Caudal-Altura (Q-H): La curva QH muestra los diferentes valores de altura dinámica total que puede alcanzar la bomba para determinados valores de caudal. Normalmente, la altura se mide en metros [m]. (Grundfos Industry, 2010).

Curvas rendimiento: El rendimiento es la relación entre la potencia entregada y la potencia consumida. En el caso específico de las bombas, dicho rendimiento se refiere a la razón entre la potencia hidráulica entregada PH y la potencia de entrada al eje P2. Para conjuntos bomba-motor, también se incluye su curva de rendimiento respectiva. (Grundfos Industry, 2010).

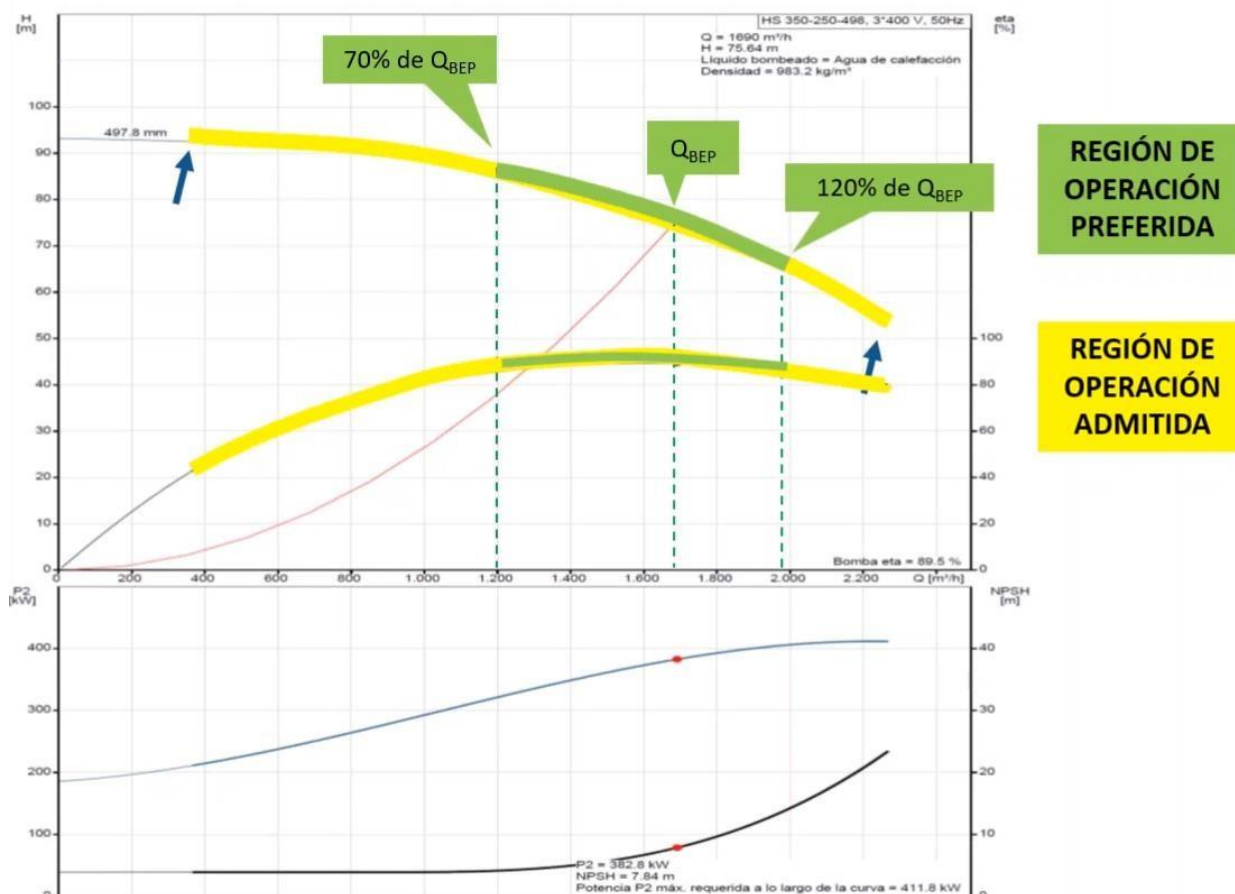
Consumo, curvas de potencia P1 y P2: La relación entre el consumo de energía de la bomba y el caudal se muestra en la curva de potencia P2. En conjuntos bomba-motor, se adjunta también la curva de potencia P1 que corresponde a la relación entre la energía consumida por el motor y el caudal.

Curva NPSH (Altura de aspiración positiva neta): El valor de NPSH de una bomba es la presión absoluta mínima que debe haber en el lado de aspiración de la bomba para evitar la cavitación. El valor de NPSH se mide en [m] y depende del caudal; si aumenta el caudal, también aumenta el valor de NPSH. (Grundfos Industry, 2010).

Curva del sistema: La curva del sistema es aquella que se genera en función de los valores de caudal Q y altura TDH que se requiere que opere la bomba. El punto de operación será finalmente la intersección entre esta curva y la curva Q-H de la bomba.

Es importante acotar que la bomba solo podrá operar en los puntos que formen parte de la curva Q-H; existiendo valores mínimos y máximos (Q_{min} y Q_{max}) que no deben rebasarse para no dañar la bomba. Esto se conoce como la **región de operación admitida**. La operación en esta región no produce daño inmediato, pero operar continuamente aquí acorta la vida útil del motor, además de ser ineficiente. (Grundfos Industry, 2010).

Por ello, se considera como **región de operación preferida** operar entre el 70% y 120% del caudal en el punto de máxima eficiencia, maximizando la vida útil y la eficiencia energética. (Grundfos Industry, 2010).



DEFINICIÓN: Q_{BEP}= Caudal en el punto de máxima eficiencia

Figura 1.7: Curvas características de las bombas y sus regiones de operación.

Por lo regular, en las hojas de datos solo viene información de las curvas relacionadas únicamente a la bomba. En estos casos, el valor de consumo de potencia P2 que aparece en la hoja de datos, solo es referente a la potencia que entra a la bomba.

En otros casos, donde ya se contempla el conjunto motor+bomba -por ejemplo, en el caso de las bombas sumergibles-, las curvas Q-H y Eficiencia (n) y las curvas de potencia P1-P2 abarcan tanto el motor como la bomba. Para estos casos, se debe tener en consideración la potencia P1 ya que corresponde a la potencia consumida por el motor.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

En el presente capítulo se detalla la información requerida y los procedimientos empleados en la selección de la bomba y motor a utilizarse en el sistema solución propuesto, de manera que cumpla con los requerimientos técnicos previamente establecidos. Además, se muestra la alternativa escogida para la alimentación y control del sistema de bombeo.

2.1 Levantamiento de información.

Previo a establecer alternativas y plantear soluciones al problema, es importante hacer un reconocimiento del lugar sobre el cual se realizará el diseño solución, saber las características y demandas del sistema actualmente empleado.

Como se explicó en el primer capítulo, en la comuna “Dos Mangas” existe un terreno sembrío de aproximadamente 3.7 hectáreas, cuyo riego es realizado por gravedad desde un reservorio elevado, cuyas medidas son de 12 metros de largo, 10 metros de ancho y 2.5 metros de profundidad. Este reservorio de agua es llenado por medio de un sistema de bombeo, que utiliza una bomba de combustión que succiona a través de una tubería, el agua de un pozo excavado -proveniente de acuífero-. Esta bomba de combustión es de la marca KORCHITECH, modelo KT30PG. Los datos técnicos del sistema y de la bomba actual se muestran en la Tabla 2.1 y 2.2, respectivamente.

Tabla 2.1: Datos del sistema de bombeo (reservorio y pozo).

Parámetros	Magnitud	Unidad
Capacidad máxima del reservorio	300.00	[m ³]
Capacidad nominal del reservorio	270.00	[m ³]
Distancia desde pozo al reservorio	400.00	[m]
Altura de descarga desde superficie al reservorio	29.00	[m]
Profundidad pozo	13.00	[m]
Diámetro del pozo	3.00	[m]
Tiempo llenado del reservorio actual	6 horas (aprox.)	-

Tabla 2.2: Datos de placa bomba actual, modelo KT30PG.

Parámetros	Magnitud	Unidad
Caudal nominal	42.00	[m ³ /h]
Altura total bombeo	95.00	[m]
Altura de succión	7.00	[m]
Diámetro de conexión	3	[pulg]
Potencia	16.00	[Hp]
Velocidad	3600	[rpm]

En la sección de anexos, se adjuntan las fotos obtenidas de la visita al terreno, como también del pozo y del sistema de bombeo actual.

2.2 Selección del tipo de bomba.

Una de las consignas a cumplir en la propuesta solución es la mejora de la eficiencia del sistema de bombeo, además de disminuir la contaminación que produce el sistema por los gases que emana el proceso de combustión de la motobomba actual. Por lo tanto, se optó por la búsqueda entre bombas eléctricas, por su baja contaminación y alta eficiencia. Considerando que la fuente de agua es un pozo excavado de poca profundidad y para evitar fenómenos como la cavitación, la búsqueda se centró específicamente en bombas de tipo sumergible.

Como ya se mencionó anteriormente, la cavitación es un fenómeno que ocurre típicamente en las bombas centrífugas de aspiración, cerca del borde delantero del álabe del impulsor, y se debe tener en cuenta la curva de NPSH de la bomba para evitarlo. En el caso específico de las bombas sumergibles puestas en agua, el concepto de NPSH no aplica, ya que no realizan aspiración sino captación.

Para empezar la búsqueda de la bomba a escoger, previamente se debieron definir los valores de caudal y TDH de bombeo. Como ya se enunció, el TDH es la suma del nivel estático total más el abatimiento y las pérdidas por fricción. Obedeciendo a los requerimientos del dueño del vivero, se necesita un caudal de entre 40 a 45 m³/h; por tanto, para fines de cálculo, se establece un caudal objetivo de 42 m³/h.

2.3 Dimensionamiento y cálculos.

Establecido el valor de caudal en 42 m³/h, se procederá a calcular el TDH de bombeo:

$$TDH = \text{Altura de descarga} + \text{Nivel dinámico} + \text{Altura manométrica} + \text{Carga por fricción (pérdidas)} \quad (2.1)$$

La **altura de descarga** es de **29 metros**.

El nivel dinámico es la suma del nivel estático más la diferencia que existe por el cono de depresión que se forma en el pozo al bombear agua (abatimiento). Se considera un **nivel estático** de aproximadamente **3 metros**; dicho dato fue dado por el dueño del pozo y es fácilmente obtenible haciendo una observación del nivel de agua del pozo y midiendo la altura con respecto al nivel de la superficie del suelo cuando no se ha estado bombeando en un largo período de tiempo (estado estable).

Para el cálculo del nivel de abatimiento, se utiliza la fórmula de Theis; esta es una expresión matemática que refleja la forma del cono de depresión durante el bombeo. (Sánchez, 2017). La expresión es:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad (2.2)$$

$$\text{donde:} \quad u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad (2.3)$$

Q = Caudal de bombeo constante (expresado en m³/día)

T, S = Transmisividad y coeficiente de almacenamiento (en este caso, porosidad eficaz) del acuífero.

t = tiempo transcurrido desde que inició el bombeo (expresado en días).

s = descenso o abatimiento.

r = radio del pozo (en metros).

$W(u)$ es una función compleja de u , conocida en hidráulica como "función de pozo":

$$W(u) = \int_0^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du \quad (2.4)$$

La solución de esta integral para los distintos valores posibles de u aparece en tablas normalizadas en textos de Hidrogeología. En la sección de anexos, se adjunta la tabla normalizada simplificada, requerida para el cálculo aproximado de $W(u)$. (Sánchez, 2017).

De los datos requeridos, ya se conocen el caudal de bombeo y el radio del pozo. Para el cálculo de la transmisividad:

$$\text{Transmisividad } T = \text{Coef. Permeabilidad } K * \text{espesor del acuífero} \quad (2.5)$$

Se tomó en consideración la permeabilidad K de la capa acuífera libre conformada por arenas limpias y gravas, estimada en un estudio realizado en 2017 que afirma: “según estudios del CIPAT en 2015, se tiene que la porosidad del acuífero de Manglaralto se encuentra entre el 20 al 30%, la permeabilidad entre 1.59 – 5.15 m/día...” (Valencia Robles, 2018). Esta misma investigación estimó el espesor real de la capa acuífera en Dos Mangas en 3 metros.

Dado que es un acuífero libre (muy alta permeabilidad), se escogió el valor máximo de K: 5.15 m/día. Con estos datos, se calculó la transmisividad T con la ecuación (2.5):

$$T = 5.15 \frac{m}{día} * 3m$$

$$T = 15.45 m^2/día$$

Para el valor del coeficiente de almacenamiento S o porosidad eficaz (tratándose de un acuífero libre), se cita al mismo estudio que afirma: “Se considerará un valor de porosidad promedio para las gravas y arenas, definidas según las interpretaciones realizadas en los sondeos para esta capa, de 0.20 según estudios anteriores realizados por el CIPAT-ESPOL TECH E.P, 2015.” (Valencia Robles, 2018).

El tiempo t de bombeo transcurrido, de manera teórica sería la razón entre el volumen nominal de agua suministrada al reservorio dividido para el caudal de bombeo Q:

$$t = \frac{270 m^3}{42 m^3/h}$$

$$t = 6.4286 \text{ horas}$$

Este valor de tiempo transcurrido se debe expresar en unidad de días, siendo entonces:

$$t = 6.4286 \text{ horas} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}}$$

$$t = 0.2678 \text{ días}$$

Con todos los datos requeridos, se calculó el valor de u usando la ecuación (2.3):

$$u = \frac{1.5^2 * 0.2}{4 * 15.45 * 0.2678}$$

$$u = 2.72 * 10^{-2}$$

Luego, se buscó este valor de u adimensional en las tablas normalizadas para obtener su correspondiente valor adimensional de función de pozo $W(u)$ (ver sección **Anexos**). Para este caso, dado que la tabla muestra valores de $W(u)$ para valores de u con decimal par, se calculó el promedio entre los valores de $W(u)$ que se muestran en la figura 2.1 para $u = 2.6 \times 10^{-2}$ y $u = 2.8 \times 10^{-2}$, siendo este resultado el estimado para el valor de u previamente calculado.

	x 1	x 0,1	x 0,01
1,0	0,2194	1,8229	4,0379
1,2	0,1584	1,6595	3,8576
1,4	0,1162	1,5241	3,7054
1,6	0,08631	1,4092	3,5739
1,8	0,06471	1,3098	3,4581
2,0	0,04890	1,2226	3,3547
2,2	0,03719	1,1454	3,2614
2,4	0,02844	1,0762	3,1763
2,6	0,02185	1,0139	3,0983
2,8	0,01686	0,9573	3,0261

Figura 2.1: Extracto de la tabla normalizada de valores de $W(u)$ (encerrados con amarillo) para distintos valores de u .

$$W(u_{2.7}) = \frac{3.0983 + 3.0261}{2}$$

$$W(u_{2.7}) = 3.0622$$

Con el valor de función de pozo $W(u)$ estimado para este caso, es posible calcular el abatimiento s utilizando la ecuación 2.2. Importante: hay que considerar que el valor de Q que se coloca es el caudal bombeado durante el tiempo transcurrido t , expresado en $m^3/\text{día}$; en este caso, serían $270 m^3/\text{día}$.

$$s = \frac{270 \frac{m^3}{\text{día}}}{4 * \pi * 15.45 \frac{m^2}{\text{día}}} * 3.0622$$

$$s = 4.26 m$$

Además, se toma un factor de seguridad, denominado sumergencia, de 0.6 metros. La sumergencia es la diferencia de altura que existe entre el nivel dinámico del líquido y el nivel de captación de la bomba, y se la toma en cuenta para evitar formaciones de

remolinos o vórtices que puedan ocasionar captación de aire, dañando el equipo. Este valor se lo considera en el diseño e instalación, pero NO en los cálculos del TDH.

Una vez calculado el abatimiento, se procedió a estimar el nivel dinámico.

$$\text{Nivel dinámico} = \text{Nivel estático} + \text{Abatimiento} \quad (2.6)$$

$$\text{Nivel dinámico} = 3 + 4.26 [m]$$

$$\text{Nivel dinámico} = 7.26 [m]$$

La altura manométrica en este caso es 0, debido a que tanto el pozo como el reservorio se encuentran abiertos a la atmósfera, por tanto, tienen la misma presión (atmosférica). Las pérdidas por fricción se cuantifican en metros por columna de agua (m.c.a) utilizando la ecuación de Hazen-Williams:

$$H_f = \frac{10.674 * L[m] * Q^{1.852}[m^3/s]}{C^{1.852} * D^{4.87}[m]}$$

Donde:

- L es la longitud en [m] de tubería que va desde el pozo hasta el reservorio.
- Q es el caudal al que se va a realizar el bombeo.
- D es el diámetro de la tubería.
- C es el factor o coeficiente de Hazen-Williams, el cual varía en función del material del que está hecha la tubería; siendo esta de Polietileno (PE), el coeficiente es de C = 140 de acuerdo con la tabla 2.3 (Engineering ToolBox, 2004).

Tabla 2.3: Coeficiente de Hazen-Williams para diferentes materiales.

Material	C	Material	C
Asbesto cemento	140	Hierro galvanizado	120
Latón	130-140	Vidrio	140
Ladrillo de saneamiento	100	Plomo	130-140
Hierro fundido nuevo	130	Plástico (PE, PVC)	140-150
Hierro fundido, 10 años	107-113	Tubería lisa nueva	140
Hierro fundido, 20 años	89-100	Acero nuevo	140-150
Hierro fundido, 30 años	75-90	Acero	130
Hierro fundido, 40 años	64-83	Acero rolado	110
Concreto	120-140	Lata	130
Cobre	130-140	Madera	120
Hierro dúctil	120	Hormigón	120-140

Para este caso en específico, se utiliza una hoja de datos programada en Excel que permite el cálculo de las pérdidas por fricción expresado en m.c.a, y además la velocidad del fluido bombeado, en m/s. La autoría le pertenece a la consultora “Hutech Consulting”. Para obtener el cálculo, se deben ingresar los datos de longitud de tubería pozo-reservorio, caudal, diámetro de la tubería y coeficiente C de Hazen-Williams; cada dato en sus unidades respectivas, de ser el caso.

Una vez ingresados los datos, automáticamente el programa calcula las pérdidas por fricción y la velocidad del fluido, como se muestra en la figura 2.2

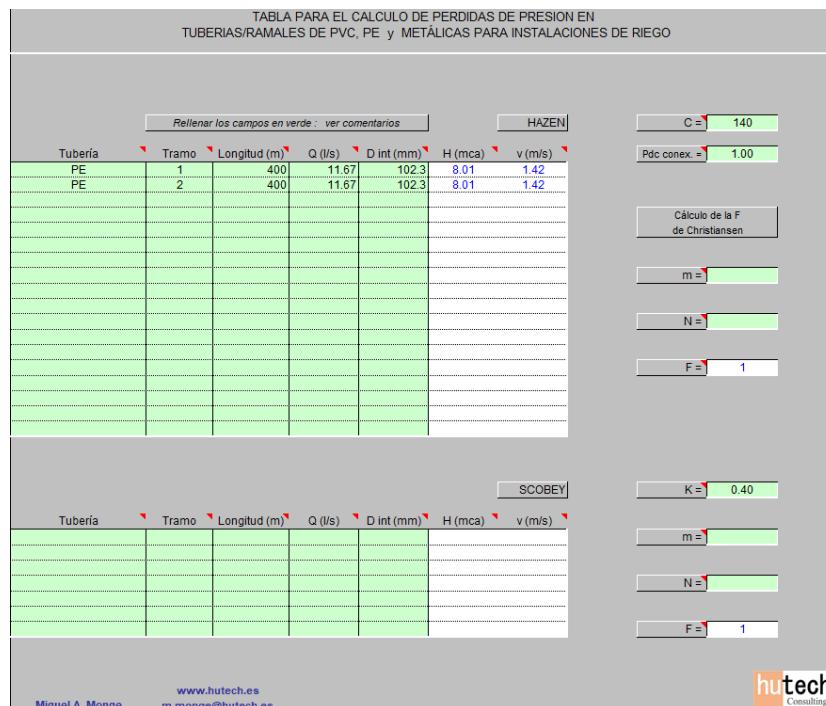


Figura 2.2: Programa en Excel para el cálculo de pérdidas por fricción.

Existe otro método antiguo para calcular las pérdidas por fricción, para diferentes tipos de material de tubería y distintos valores de caudal. Dicho método es el uso de un nomograma, el cual se adjunta en la sección de Anexos.

Observando la figura 2.1, se observa que las pérdidas por fricción expresadas en altura equivalen a 8.01 [m]. Con este dato, ya se puede calcular el TDH de bombeo requerido retomando la ecuación 2.1:

$$TDH = 29 + 7.26 + 0 + 8.01 [m]$$

$$TDH = 44.27 [m]$$

Con el caudal y el TDH establecidos, se procedió a la búsqueda de la bomba que cumpla de manera aproximada con dichos valores.

La búsqueda se llevó a cabo en el catálogo *online* de la marca Grundfos, la cual cuenta con un Software en línea especializado “Grundfos Product Center” para explorar entre las distintas bombas disponibles, dependiendo de la aplicación, tipo de bomba o datos ingresados, como se muestra en la figura 2.2.

Figura 2.3: Software "Grundfos Product Center" para búsqueda de bombas en base a aplicación o dimensionamiento.

Para este caso, la exploración se hizo ingresando los datos de caudal y TDH requeridos (punto de trabajo), además del número de bombas y tensión de línea (ya sea monofásico o trifásico). Para mejorar la búsqueda, se puede especificar el dimensionamiento ya sea por tipo de aplicación, por el diseño o la familia de bomba. Se especificó la familia de bombas sumergibles SP, de manera que los resultados que arrojó el software son únicamente bombas sumergibles que puedan operar en el punto de trabajo ingresado y con el voltaje especificado, como se muestra en la figura 2.3.

Para filtrar más los resultados acordes a los requerimientos establecidos, se especificó también el diámetro de salida de la bomba -de 4" en este caso- y el arranque, de tipo directo dado que la potencia se estimó que es menor a 15 kW, por tanto, no requiere ningún tipo de arranque especial como especifica el Código Eléctrico Nacional (NEC).

PRODUCTOS ADECUADOS (5)																	
<input type="checkbox"/> Acciones conjuntas: EXPORTAR <input type="checkbox"/> Dimension. tabla: <input type="checkbox"/> Mostrar ancho total																	
		Producto n.º	Inf.	Nombre de producto	Coste del ciclo de vida [EUR/10 años]	Marca, motor	U [V]	P2 [kW]	Tamaño de con. de salida	Q [m³/h]	Q-dev [%]	H [m]	H-dev [%]	Eta de bomba [%]	Eta de bomba+motor [%]	Energía [kWh/año]	Es [kWh/m³]
<input type="checkbox"/>		15B728J4		SP 46-4-BC	30144	MS6000	208-220-230	7.5	3"NPT	47.15	12	44.5	0	68.9	55.7	36425	0.2376
<input type="checkbox"/>		15B028J4		SP 46-4-BC	30144	MS6000	208-220-230	7.5	RP4	47.15	12	44.5	0	68.9	55.7	36425	0.2376
<input type="checkbox"/>		15B228J4		SP 46-4-BC	30144	MS6000	208-220-230	7.5	RP3	47.15	12	44.5	0	68.9	55.7	36425	0.2376
<input type="checkbox"/>		15B628J4		SP 46-4-BC	30144	MS6000	208-220-230	7.5	4"NPT	47.15	12	44.5	0	68.9	55.7	36425	0.2376
<input type="checkbox"/>		15B72803		SP 46-3	27725	MS6000	208-220-230	7.5	3"NPT	41.03	-2	44.5	0	68.9	56.1	33000	0.2153

Figura 2.4: Alternativas que satisfacen con el punto de trabajo establecido.

De entre las opciones mostradas, se puede observar que las primeras 4 alternativas corresponden a un mismo tipo de conjunto bomba-motor SP 46-4-BC, con la única diferencia entre ellas en el diámetro de conexión de salida. La última alternativa es una bomba SP 46-3N, la cual utiliza el mismo motor MS6000. Se analizaron ambas propuestas, observando sus especificaciones técnicas y sus curvas, junto con la curva del sistema.

Al observar las curvas de una bomba, la primera observación a valorar es el punto de trabajo en el que podría operar con los datos de caudal y TDH ingresados.

Para la alternativa de la bomba-motor SP 46-4-BC (diámetro de conexión de salida de 4" NPT), observando las curvas de la Figura 2.5 se muestra que su punto de operación - intersección entre la curva de la bomba y la curva del sistema generada por el software con los datos ingresados- es:

- $Q = 43.36 \text{ m}^3/\text{h}$
- $\text{TDH} = 47.23 \text{ m}$

Dicho punto de trabajo cumple con las especificaciones previamente establecidas, es decir, el caudal de bombeo está entre 40 y 45 m^3/h y el TDH es superior al valor de operación calculado (44.27 m), por lo cual no existiría ningún problema dado que ello solo se traduce en una mayor presión de agua al llegar al reservorio elevado.

En primera instancia, esta alternativa resultó atractiva e idónea para el sistema, ya que además se observó que el punto de trabajo se encuentra dentro de la 'región de operación preferida'. El único inconveniente resultó ser la potencia que entrega el motor a la bomba.

PERFORMANCE

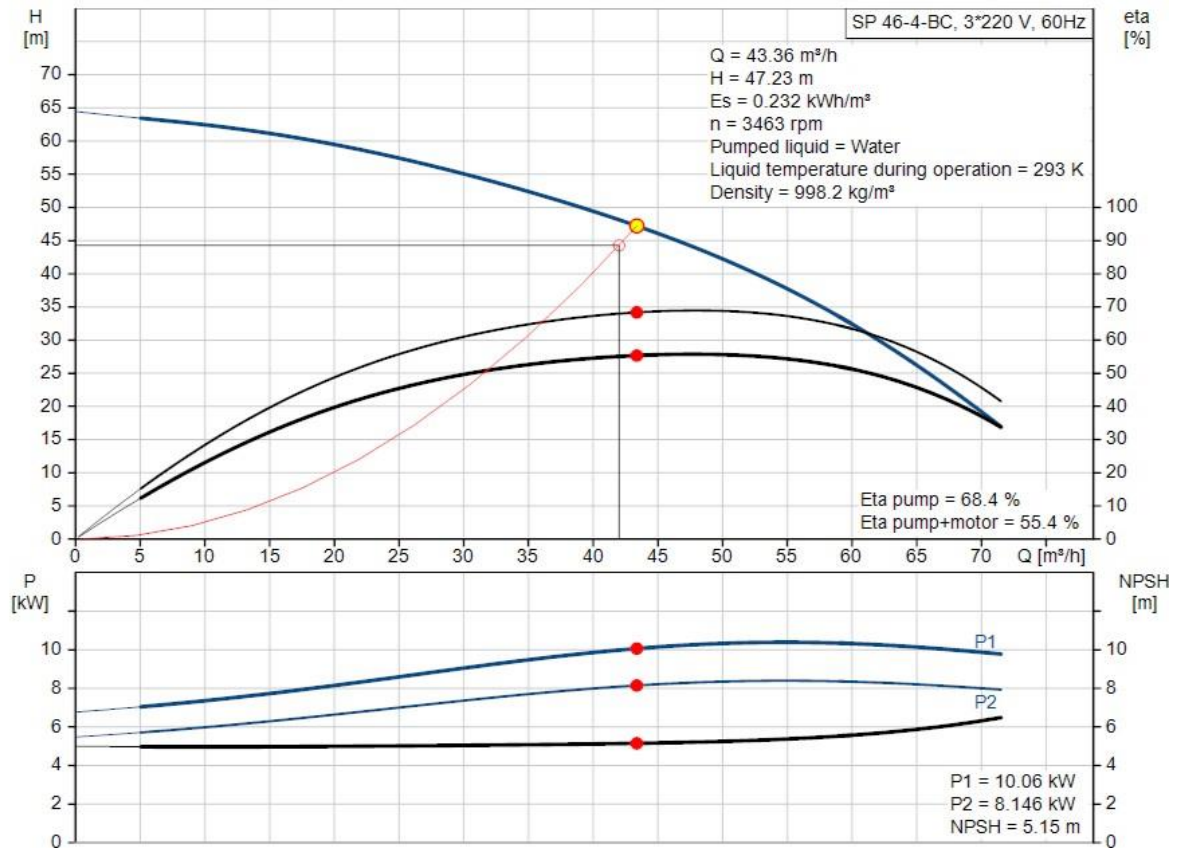


Figura 2.5: Curvas de la bomba SP 46-4-BC, diámetro de salida de 4" NPT.

De acuerdo con la hoja de datos de la bomba SP 46-4-BC, la potencia nominal entregada por el motor al estar a una velocidad nominal de $n = 3450$ rpm es de 7.5 kW. En este caso, se observa que la bomba tiene una demanda de 8.15 kW, claramente mayor a la nominal.

La operación es permisible dado que existe un factor de servicio de 1.15, que vendría significando que el motor MS6000 puede estar en sobredemanda hasta los 8.62 kW (este valor resulta de multiplicar la potencia nominal por el factor de servicio). Sin embargo, operar en dicho estado por largos períodos de tiempo, a largo plazo puede repercutir en algún daño o acortamiento de la vida útil de la máquina.

Además de la curva de la bomba y del sistema, están también las curvas de eficiencia de la máquina. Para el punto de operación, el conjunto bomba-motor tendría una eficiencia del 55.4% y la bomba en solitario una eficiencia del 68.4%. Se muestra también las curvas de potencia absorbida P1 y P2 del motor y bomba, respectivamente.

La potencia absorbida de la red por el motor operando en el punto establecido es de 10.06 kW y entrega a la bomba una potencia de 8.15 kW como ya se mencionó.

La segunda alternativa corresponde a la bomba SP 46-3 con el mismo motor MS6000, con un diámetro de conexión de salida de 4" NPT. De acuerdo con las curvas que se muestran en la Figura 2.6, se observó que, dado los datos ingresados de caudal y TDH requeridos, el punto de operación de la bomba es:

- $Q = 41.48 \text{ m}^3/\text{h}$
- $\text{TDH} = 44.27 \text{ m}$

Nuevamente, se cumple con las especificaciones previamente establecidas. En este caso, la bomba abastecería con un caudal de $41.48 \text{ m}^3/\text{h}$, muy cercano al caudal establecido para los cálculos y búsqueda realizada ($42 \text{ m}^3/\text{h}$), y alcanzaría exactamente la misma altura TDH necesaria calculada previamente (44.27 m).

Esta alternativa también es adecuada para el sistema, aun más considerando que el punto de trabajo se encuentra dentro de la 'región de operación preferida'. Por lo tanto, ambas alternativas resultaron óptimas para su aplicación en el sistema a proponerse.

PERFORMANCE

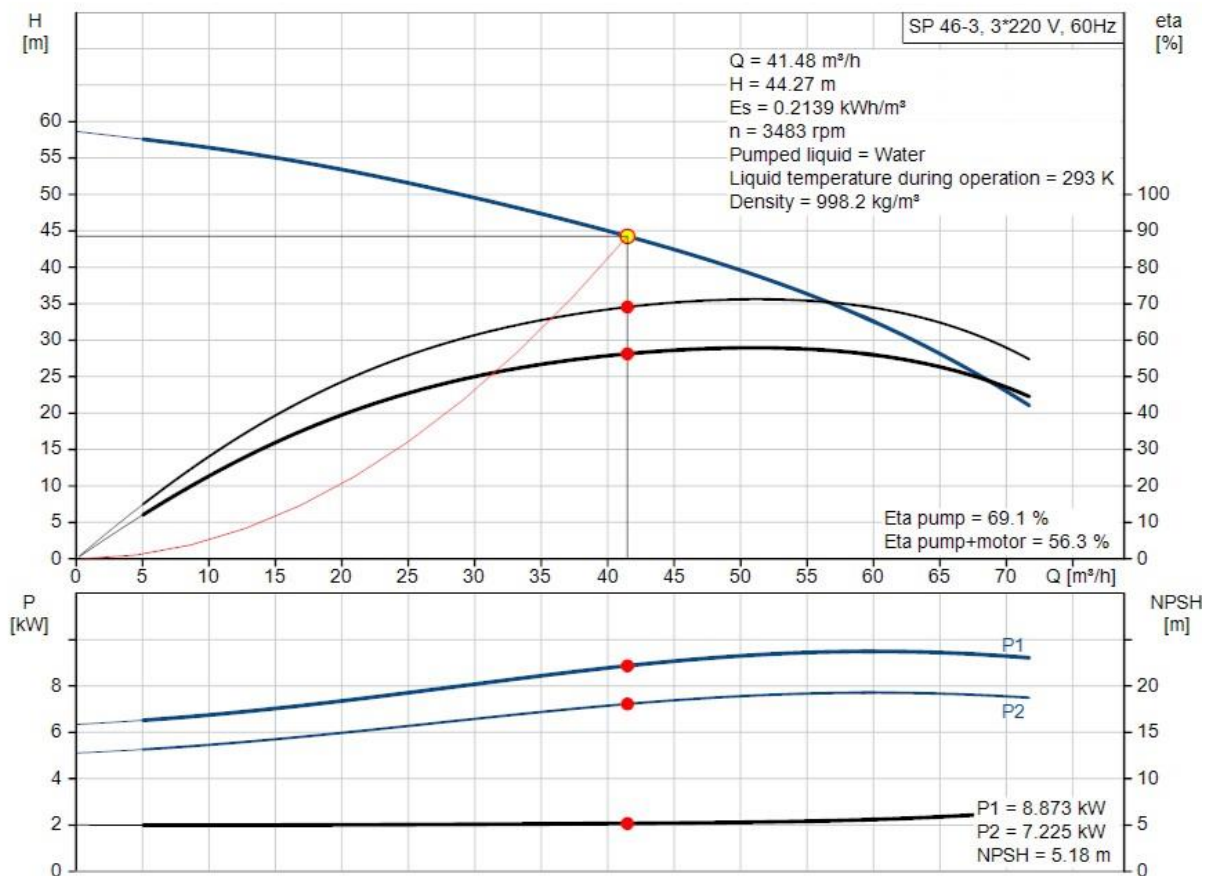


Figura 2.6: Curvas de la bomba SP 46-3, diámetro de salida de 4" NPT.

Sin embargo, el punto de inflexión para escoger la alternativa solución fue la potencia absorbida por el motor.

Observando la hoja de datos de la bomba SP 46-3, se encontró que la potencia nominal entregada a la bomba a una velocidad $n = 3450$ rpm es de 7.5 kW. Para esta alternativa, en las curvas de potencia se observa que la bomba, en el punto de trabajo, tiene una demanda de 7.23 kW, lo cual es menor al valor nominal previamente mencionado y es una clara ventaja sobre la opción SP 46-4-BC ya que no habría sobredemanda de potencia, evitando daño alguno por dicha condición de operación a largo plazo.

Al comparar las curvas de potencia P1 y P2 de ambas alternativas y sus valores de eficiencia, vemos que la SP 46-3 tiene una clara ventaja sobre la opción SP 46-4-BC en lo que respecta a la potencia absorbida de la red por el motor, y la potencia entregada finalmente a la bomba. Además, la SP 46-3 es más eficiente tanto en solitario como en conjunto bomba-motor. Los valores comparados se muestran en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4: Comparativa entre los valores de potencia absorbida y entregada, y la eficiencia de las bombas.

	SP 46-4-BC	SP 46-3
Potencia P1 absorbida por el motor	10.06 kW	8.87 kW
Potencia P2 entregada a la bomba	8.15 kW	7.23 kW
Eficiencia de la bomba	68.40 %	69.10 %
Eficiencia del conjunto bomba-motor	55.40 %	56.30 %
Velocidad de operación	3463 rpm	3483 rpm

Considerando que ambas propuestas cumplen con los requerimientos técnicos y, siendo la alternativa SP 46-3 más eficiente y menos demandante de potencia de la red, desde el punto de vista económico es la opción más factible. Por lo tanto, la bomba SP 46-3 fue la opción escogida para el diseño del sistema solución a proponerse.

En la hoja de datos proporcionada por Grundfos, se adjuntan las curvas de la bomba y también del motor, incluyendo datos de corriente absorbida y factor de potencia del motor en el punto de trabajo. Se adjuntan estos datos técnicos y eléctricos -tanto del sistema como de la bomba escogida-, y también las curvas de potencia y corriente del motor en la sección de ANEXOS (ver Anexo F).

2.4 Sistema eléctrico.

Cabe indicar que, una de las principales razones por las cuales no se ha realizado anteriormente el cambio del motor de combustión interna es que, el tendido eléctrico que se encuentra en el contorno de la finca de la familia Rodríguez tiene solo una línea de distribución de 110V lo que imposibilita realizar el arranque de nuestra bomba que sería trifásica de 220V.

La solución que proponemos es realizar la colocación de un poste eléctrico de hormigón con un transformador trifásico del cual se alimentaría la bomba escogida, pasando previamente por un tablero de control eléctrico. Se muestra en la Figura 2.7 un dibujo del poste y el transformador requeridos para el diseño propuesto.

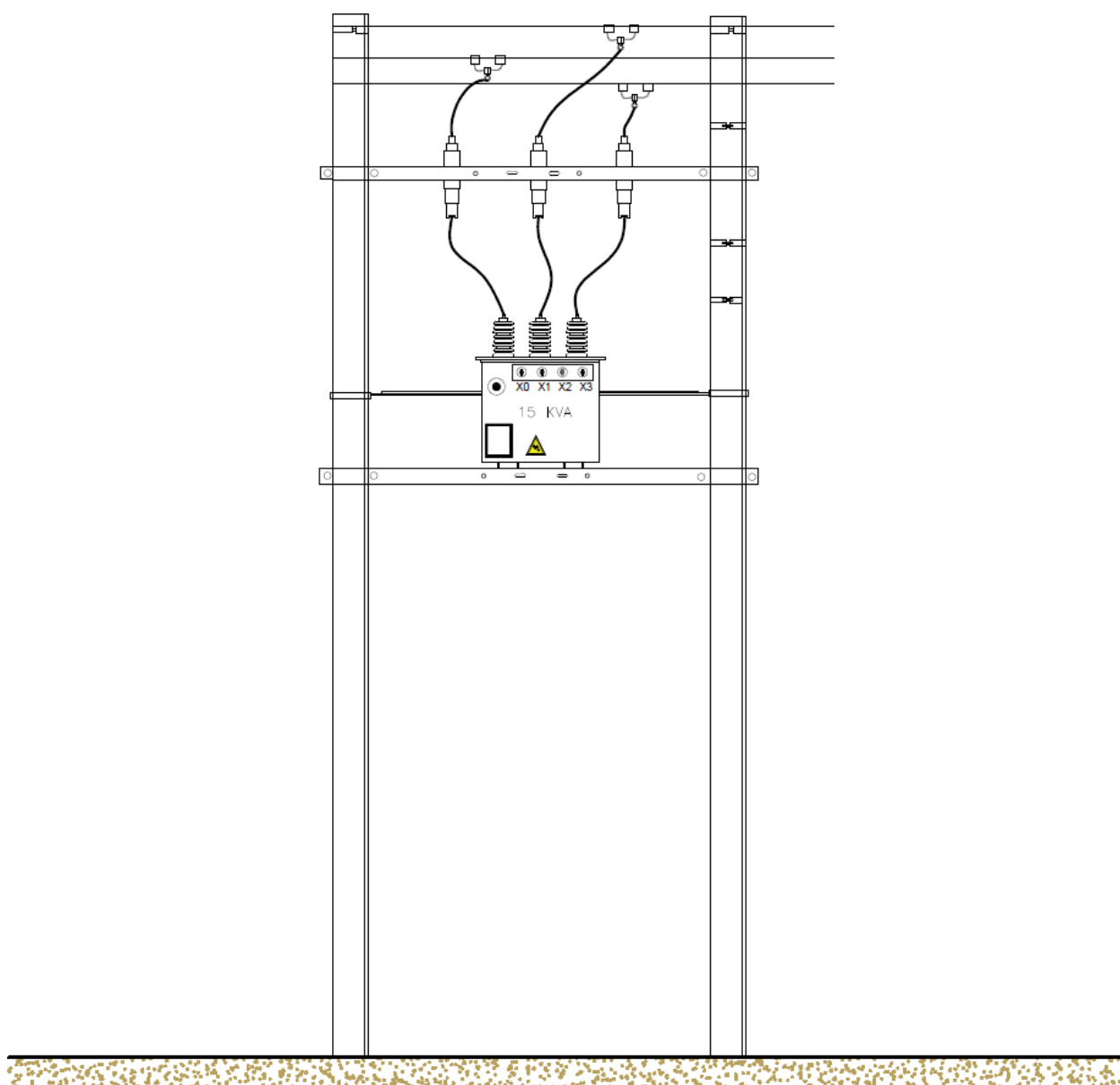


Figura 2.7: Poste eléctrico con transformador trifásico, diseñado en AutoCAD.

Para poder desarrollar la parte eléctrica de alimentación del proyecto vamos a necesitar:

- Poste de hormigón
- Transformador trifásico de 15 kVA
- Tablero de control

A continuación, se detallan los materiales a utilizar:

1 Poste

2 peroné con sus respectivas abrazaderas de 6 pulgadas

1 cruceta sencilla

1 perno U con sus respectivas tuercas

2 grapas

2 aisladores PIN

1 varilla puesta a tierra de 1.50m

50 m Cable #6 AWG

50 m Cable #8 AWG

Panel de Control

1 porta fusible monofásico de 2 A

1 pulsador de marcha

1 pulsador de paro

1 contactor de 60 A

1 relé térmicos de 30 y 60 A

1 tablero

2 boyas para sistema automático

1 transformador trifásico de 15 KVA

La norma INEN indica que la profundidad del poste debe ser su altura dividida para 10 y sumar 50 cm. (Norma Técnica Ecuatoriana, 2015)

El sistema eléctrico de arranque de la bomba va a ser directo. El circuito eléctrico tendrá su circuito de control y su circuito de fuerza respectivo, el cual fue dibujado en un software de diseño CAD como se muestra en la Figura 2.8.

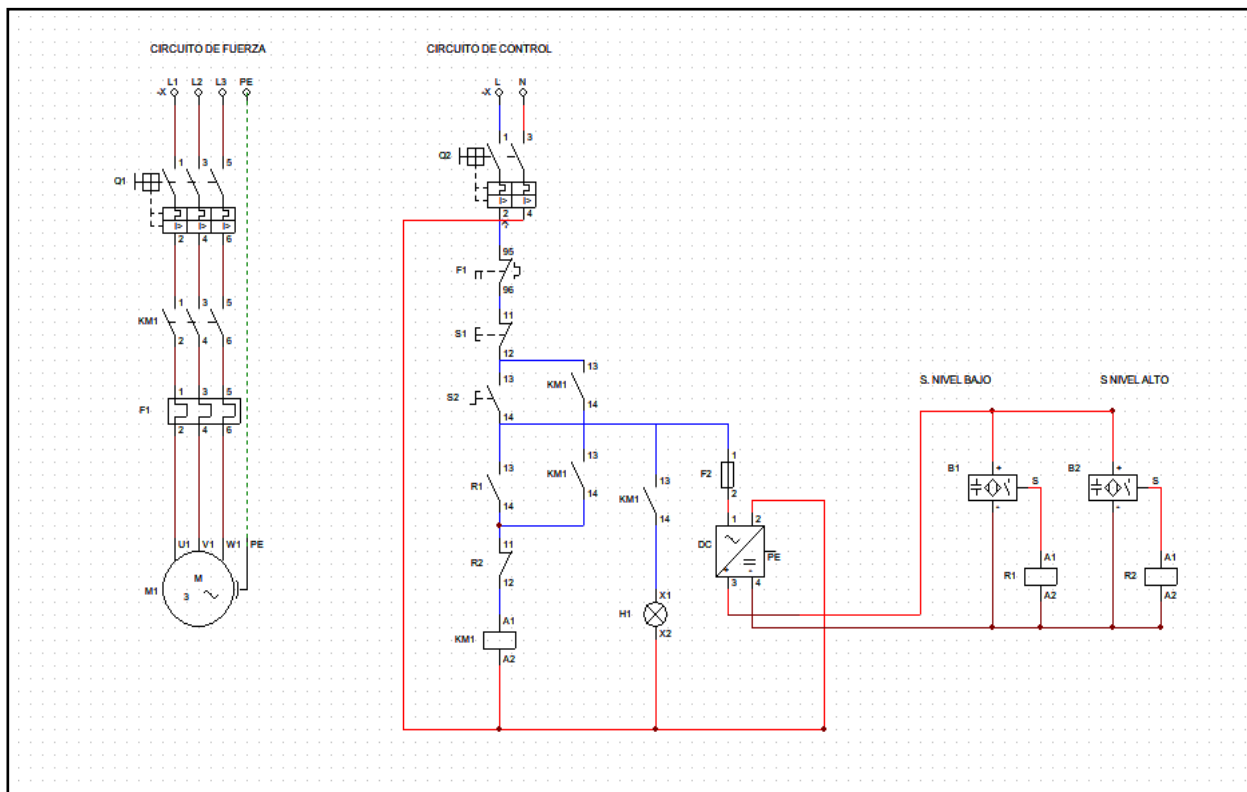


Figura 2.8: Circuitos de fuerza y de control para el sistema de bombeo automático.

CIRCUITO DE FUERZA

- Q1 Disyuntor
- KM1 Contactor
- F1 Relé térmico
- M1 motor trifásico

CIRCUITO DE CONTROL

- Q2 Disyuntor
- KM1 Contactor
- F1 Relé térmico
- S1 pulsador normalmente cerrado
- S1 pulsador normalmente abierto
- R1 Relé 1
- R2 Relé
- F2 Fusible
- H1 Luz Piloto
- B1 sensor Nivel Bajo
- B1 sensor Nivel Alto

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se muestran los resultados de la simulación en el programa Cade Simu 3.0 y LabVIEW, incluyendo planos, diagramas y simulaciones para la parte de control y fuerza del diseño propuesto.

3.1 Resultados de la etapa de recolección de datos para el diseño

Es esta sección se va a considerar la obtención de datos en el levantamiento de información para el diseño propuesto.

En la tabla 3.1 se muestran los datos importantes a considerar.

Tabla 3.1: Datos técnicos del sistema.

Datos técnicos	
Nivel estático	3.00 m
Altura de descarga	29.00 m
Carga estática total	32.00 m
Abatimiento	4.26 m
Pérdidas por fricción	8.01 m
Carga o altura dinámica total (TDH):	44.27 m
Distancia del pozo al reservorio	400.00 m

3.2 Resultados de la Etapa de diseño eléctrico de fuerza y Control

3.2.1 Resultados de la Ubicación del Panel

La ubicación del panel se lo va a realizar en una pequeña caseta que será el cuarto de control del sistema que se encuentra a 4 metros del pozo de agua.

El circuito de fuerza es donde está el arranque del motor. En este caso, la mejor opción de arranque es un arranque directo por la capacidad de la bomba (menor a 15 kW, acorde a lo que dicta el NEC).

En el circuito de control esta la parte del diseño automatizado conforme a las necesidades del cliente de encendido y apagado.

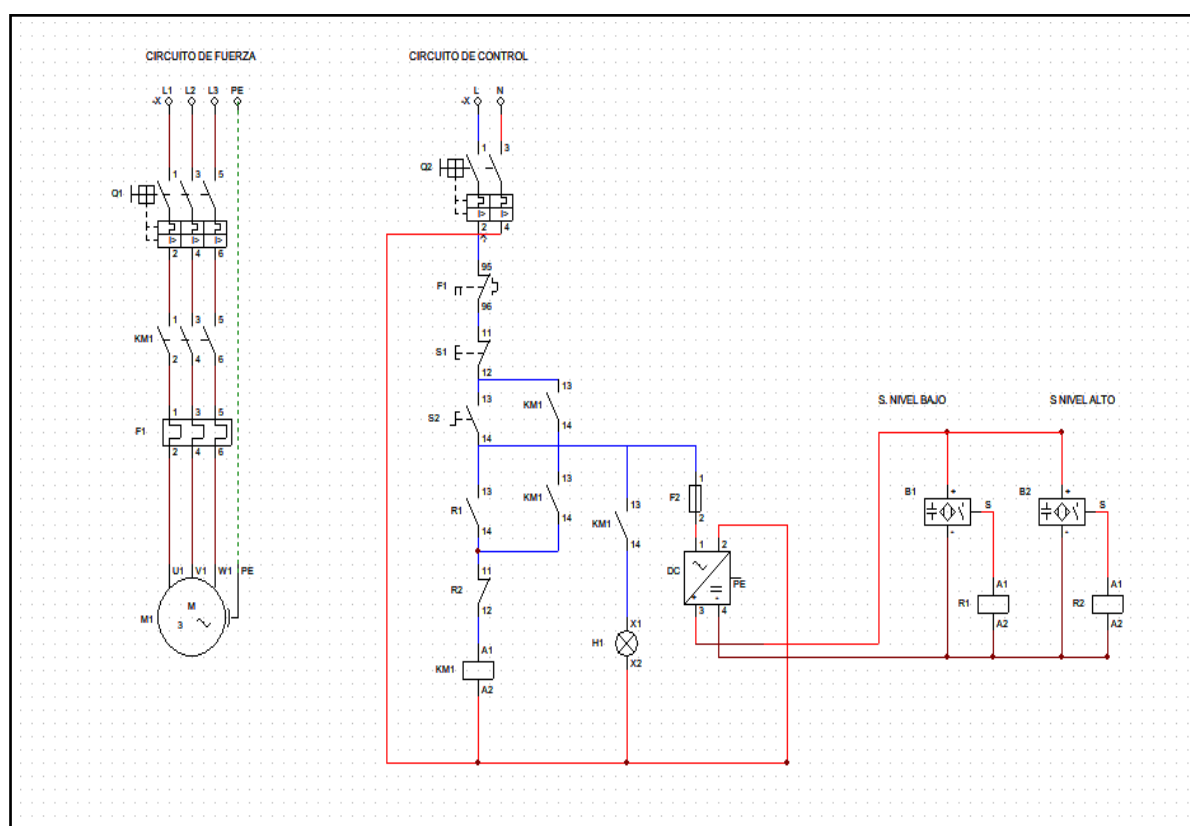


Figura 3.1 circuito de Control y Fuerza

3.3 Resultados del sistema simulación

Al accionar la entrada del agua en el reservorio, podemos observar su comportamiento en el tanque, así como en el panel.

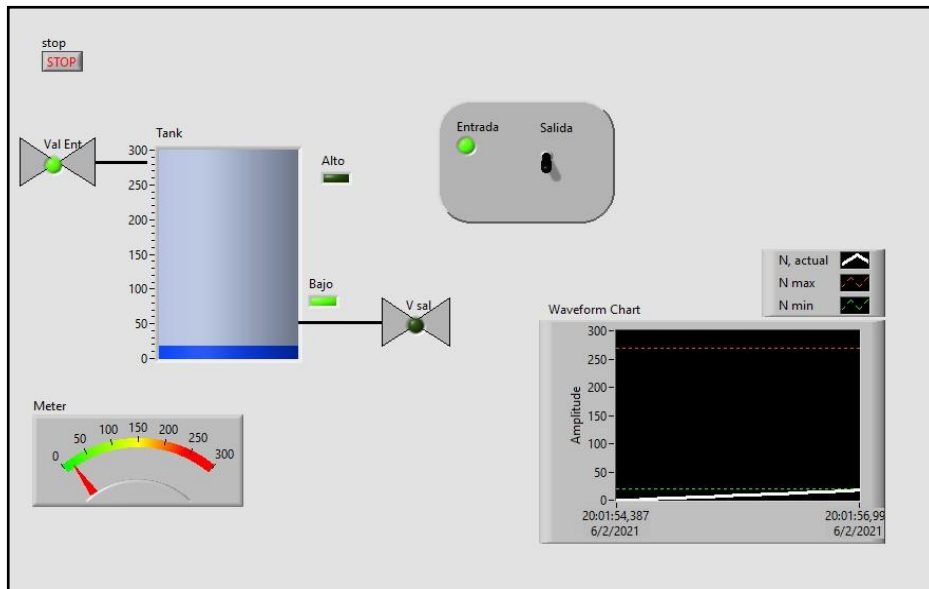


Figura 3.2 Simulación Llenado

El comportamiento del tanque va a continuar hasta llegar a los 270m3 del reservorio. En dicho punto, se emitirá una señal de alerta y se detendrá el proceso.

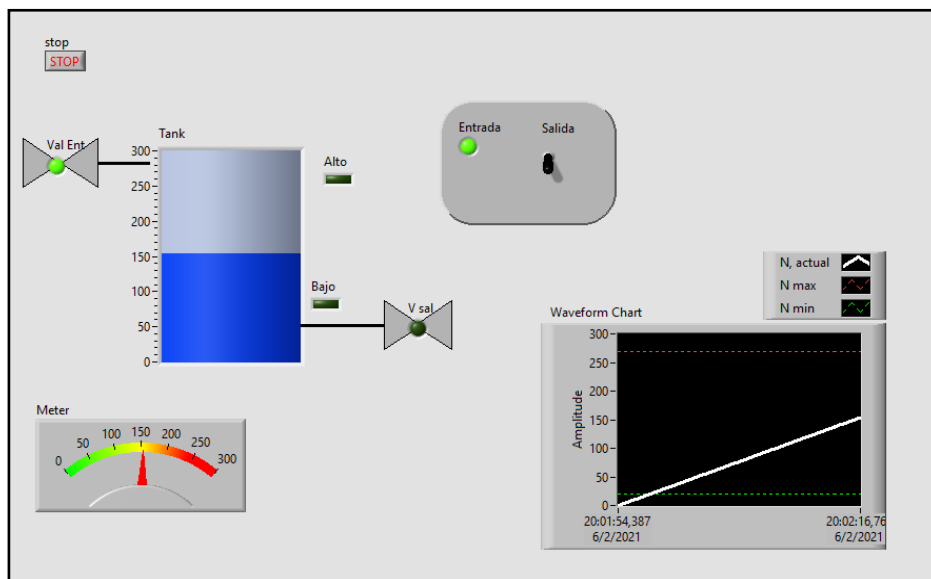


Figura 3.3 Alarma bajo OFF

Al recibir una señal de control llamada Nivel alto el sistema se detendrá, de esta manera se evita que exista un desborde de líquido, al dejar de operar.

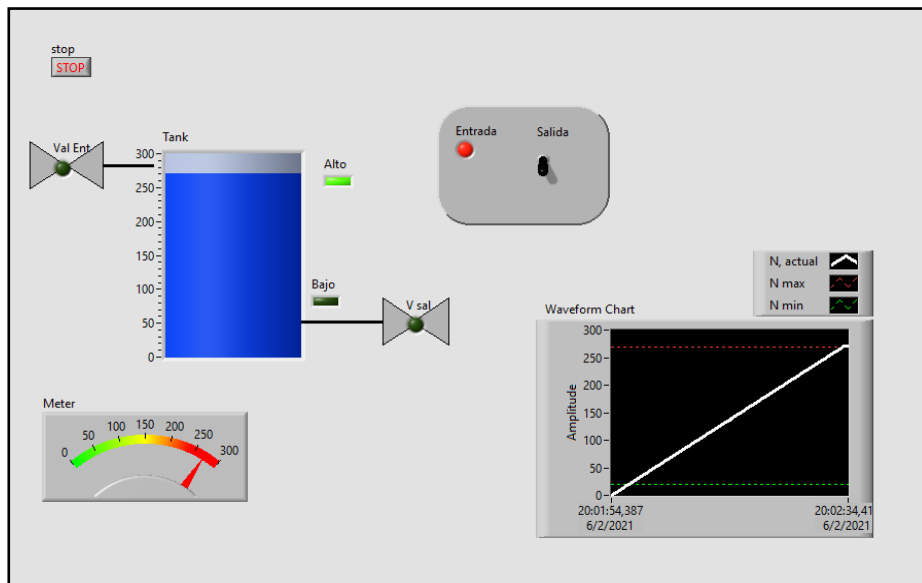


Figura 3.4 Nivel Alto ON

Al accionar la botonera Salida, el tanque procederá a vaciarse y accionará la válvula salida, este proceso se realizará para las actividades de riego en la finca.

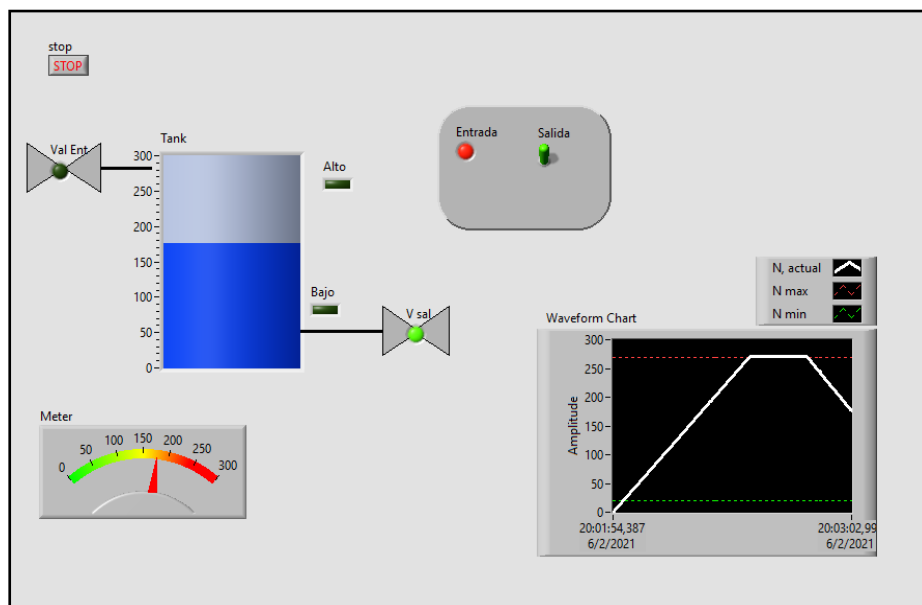


Figura 3.5 Válvula Salida ON

El sistema está diseñado de tal manera que al realizarse el vaciado del reservorio por medio del operador, el sistema dejara de operar al llegar a la señal nivel bajo ubicada a 20m3 del reservorio.

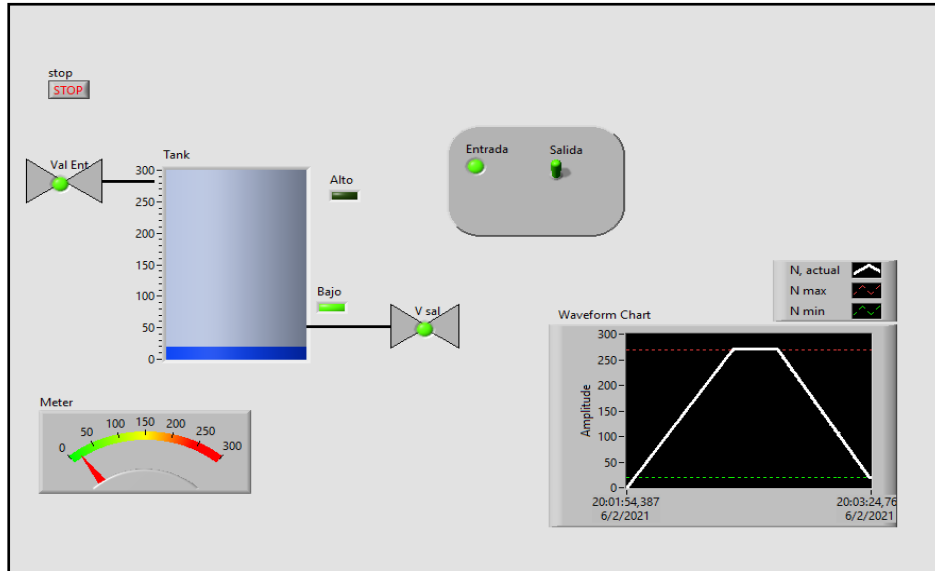


Figura 3.6 Nivel Bajo ON

Se observa el caso en el que el tanque se esté llenando y simultáneamente este activada la salida.

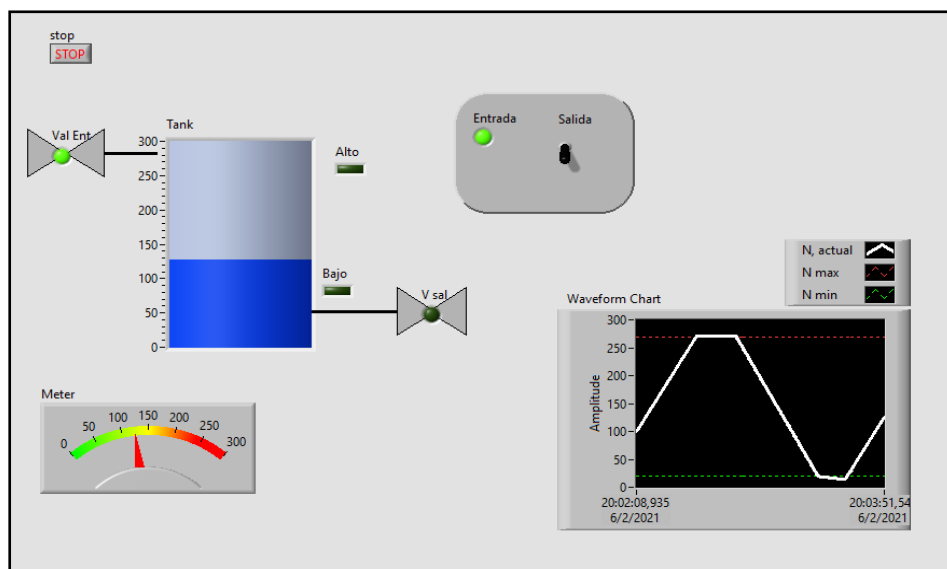


Figura 3.7 Nivel Bajo OFF Válvula Salida OFF

Cuando el caudal de entrada y salida están activos a la vez podemos observar que hay un pequeño descenso; esto se debe por que el caudal de entrada es menor al de salida.

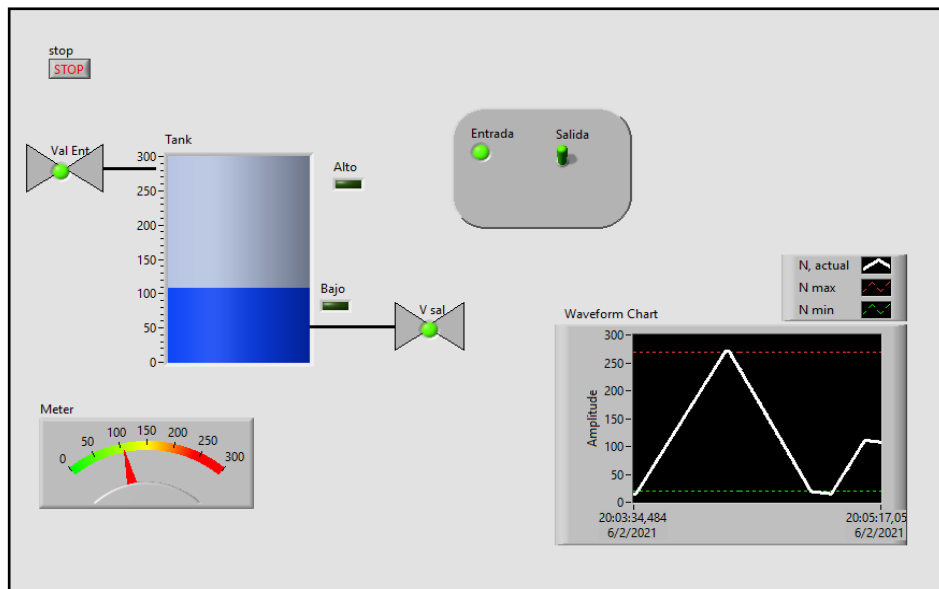


Figura 3.8 Válvula Ent ON Válvula Sal ON

Al activar la salida por 3 veces, podemos ver en la gráfica el comportamiento del agua en el reservorio.

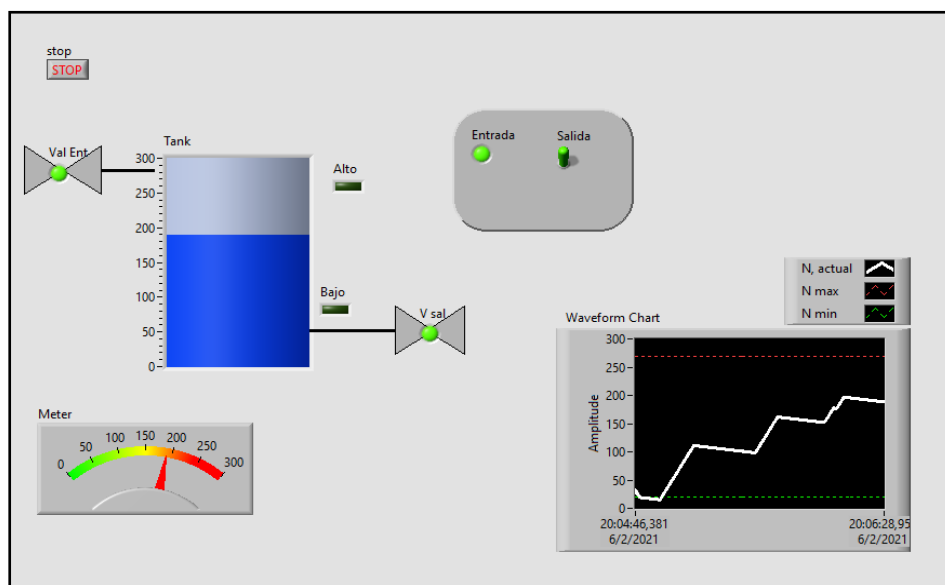


Figura 3.9 Comportamiento de llenado y vaciado simultaneo

3.4 Presupuesto

La propuesta presentada consta de dos partes: el sistema eléctrico y el cambio de bomba. Los costos aproximados de cada parte se detallan a continuación en las tablas 3.2, 3.3 y 3.4, respectivamente.

Tabla 3.2: Presupuesto del sistema

Elementos	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Total
Sistema Eléctrico	Instalación de Sistema de alimentación de la bomba eléctrica	1	\$ 4,135.35	\$ 4,135.35
Bomba Eléctrica	Instalación de bomba	1	\$ 2,500.00	\$ 2,500.00
		Total:		\$ 6,635.35

Tabla 3.3: Presupuesto de Ingeniería

Elementos	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Total
Levantamiento de información	Inspección en Territorio	1	\$ 600.00	\$ 600.00
Costo de Ingeniería	Diseños, planos, simulación, mano de obra	1	\$ 2,100.00	\$ 2,100.00
		Total:		\$ 2,700.00

Descripción del sistema eléctrico

Tabla 3.4: Sistema eléctrico

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Total
SIEMENS PULSADOR VERDE 1NA PLASTICO	1.00	9.7096	9.71
CSC DETECTOR NIVEL BOYA 10A 250V KF-06	3.00	10.6021	31.81
A/T PERNO U DE 5/8" METALICA	1.00	6.0000	6.00
A/T TUERCA DE OJO DE 5/8"	2.00	1.6327	3.27
CABLE ALUMINIO AAAC #2 AWG	50.00	0.6076	30.38
CABLE CONCENTRICO 3 X 6	20.00	6.4087	128.20
CSC PORTAFUSIBLE DE 2 POLOS	1.00	4.8012	4.80
SIEMENS RELE TERMICO 3RU2136 54-65 AMP (N/V)	1.00	110.3000	110.30
A/T GRAPA PISTOLA 2 -2/0 NACIONAL	2.00	9.5807	19.16
A/T CAJA PORTAFUSIBLE 27KV 100AMP ABB ICX	1.00	164.1900	164.19
VARILLA 100% COBRE 5/8"X1.8MTS	1.00	48.3134	48.31
TRANSFORMADOR DE 15KVA 3F CONVENCIONAL	1.00	1,919.64	1,919.64
SIEMENS PULSADOR ROJO 1NC PLASTICO	1.00	9.7096	9.71
TABLERO H-B GRIS 60X50X25CM + PLAFON ECON	1.00	236.1156	236.12
A/T CRUCETA 3x 3x 1/4" 2.40mts. GALV.	1.00	47.6528	47.65
A/T AISLADOR POLIMERO T/SUSPENSION 27KV 8F	2.00	18.9440	37.89
A/T ABRAZADERA SIMPLE DE 5-1/2" P/TRAFO	2.00	7.1429	14.29
CABLE TW 8 AWG 7H	25.00	1.1160	27.90
FUSIBLE 10X38 2AMP CAMSCO	2.00	0.5000	1.00
SIEMENS CONTACTOR 3RT2037 65AMP C/BOB.220v	1.00	201.24	201.24
A/T ABRAZADERA SIMPLE DE 6 1/2"	2.00	4.7385	9.48
A/T AISLADOR DE PORCELANA 56-1 TIPO PIN	2.00	6.9371	13.87
TIRAFUSIBLE 5 AMP.	1.00	3.2109	3.21
CABLE TW 6 AWG 7H	25.00	1.7400	43.50
A/T POSTE DE H. A. 12MTS. X 500KG	1.00	428.5714	428.57
CABLE 16	420.00	1.00	420.00
		TOTAL	3,970.23
		DESCUENTO (7%)	277.91
		IMPUESTO	443.08
		TOTAL	4,135.35

3.5 Análisis de Costo de consumo

El costo de operación de la bomba de combustión es de \$20.00 semanalmente.

La tarifa del kilovatio/hora en este sector es de \$0.04, la potencia absorbida de la red por el motor es de 8.87 kW, el tiempo de llenado es de 6.6 horas y el riego se realiza dos veces por semana.

Con estos datos, se puede hacer una comparación del costo anual por operación de la bomba:

$$\text{Costo eléctrico semanal} = (\text{Potencia absorbida}) \times (\text{tiempo}) \times (\text{tarifa}) \times (\text{veces de riego})$$

$$\text{Costo eléctrico semanal} = 8.87 \text{ kW} * 6.6 \text{ horas} * \$ 0.04 * 2$$

$$\text{Costo eléctrico semanal} = \$ 4.68$$

Tabla 3.5: Comparativa costos por alimentación.

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Total
Gasto anual combustible	52 semanas	\$ 20.00	\$ 1,040.00
Gasto anual electricidad	52 semanas	\$ 4.68	\$ 243.36
Costo de comercialización	12 meses	\$ 1.41	\$ 16.92

$$\text{Total Gasto anual electricidad} + \text{Costo por comercialización} = \$ 260.28$$

A continuación, se estima el tiempo de trabajo en el cual se puede recuperar la inversión:

$$\text{Costo motobomba} + \text{Gasto combustible} = \text{Costo electrobomba} + \text{Total gasto electricidad} \quad 1,000 + 1,040x =$$

$$2,500 + 260.28x$$

$$x = 1.92 \text{ años}$$



Figura 3.10 Costo de ahorro de combustible Anual

En un aproximado de 2 años se estaría recuperando el costo del cambio de la bomba solo en ahorro de combustible, lo que resultaría factible para nuestro proyecto garantizar el retorno de la inversión en este tiempo.

Debemos recordar que, en este proyecto se debe también considerar el costo del diseño eléctrico de suministro de alimentación de energía de la bomba requerida. Este valor tiene un costo de \$4,135.35.

$$1,000 + 1,040x = 2,500 + 4,135.35 + 260.28x$$

$$x = 7.22 \text{ años}$$



Figura 3.11 Tiempo de recuperar la inversión del sistema completo.

Con la implementación del diseño completo observamos que en el octavo año de operatividad se podrá recuperar la inversión.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el siguiente capítulo, se presentan las conclusiones y recomendaciones acerca del diseño, implicaciones económicas y simulación mediante LabVIEW del sistema de bombeo eficiente en base a bomba sumergible, para la extracción de agua del pozo privado y posterior riego a un vivero ubicado en la comuna 'Dos Mangas'.

4.1 Conclusiones

- ✓ Considerando únicamente los gastos por el cambio de sistema de bombeo, se recuperará la inversión inicial 2 años después de haberse implementado.
Para este caso específico que requirió además el diseño del tendido eléctrico, la inversión por la implementación de todo este sistema completo se recuperará aproximadamente en el octavo año de operatividad, con el beneficio de poder aumentar la carga eléctrica del sistema.
- ✓ Desde el inicio de operaciones con el cambio de sistema, se ahorrarán anualmente \$779.72 en lo que respecta a la alimentación del sistema basado en electrobomba sumergible, en comparación al sistema anterior usando bomba de combustión, gracias al aprovechamiento de la tarifa eléctrica especial para extracción de agua de pozo para riego.
- ✓ Mediante cálculos, se establecieron el caudal de 41.48 m³/h y altura TDH de 44.27 metros que requiere alcanzar la bomba para el abastecimiento del reservorio elevado, así como la potencia de salida del sistema. Se desarrolló la simulación de las conexiones del sistema -circuitos de fuerza y de control- en el software CAdE SIMU, valorando el funcionamiento correcto del control de la bomba; de la misma forma la simulación del llenado y vaciado del reservorio elevado por medio del software LabVIEW, con la finalidad de observar de manera simulada el funcionamiento del sistema.

- ✓ Al ser un sistema automatizado, no requiere de un operador que lo encienda; únicamente será necesaria su presencia para la habilitación de la válvula de salida (riego).

4.2 Recomendaciones

- ✓ Para el desarrollo de futuros proyectos basados en esta misma metodología se debe tener en cuenta las características geológicas del área de estudio correspondiente, utilizando estudios de parámetros físicos del subsuelo como: permeabilidad, porosidad eficaz o coeficiente de almacenamiento dependiendo del tipo de acuífero, espesor real del acuífero, transmisividad, etc.
- ✓ Con lo mencionado en el punto anterior, es importante considerar que el caudal de bombeo no debe exceder la capacidad de recarga del pozo (y a su vez, del acuífero). Para ello, se recomienda incluir este punto en futuros proyectos de extracción de agua, como parte del estudio de los parámetros y características geológicas del acuífero.
- ✓ De la misma forma, para el desarrollo de futuros proyectos siguiendo esta misma metodología, se debe considerar que el aumento de caudal o del TDH de salida repercutiría en un aumento de la potencia requerida por la bomba, llegando al punto de necesitarse otro tipo de arranque NO directo, ya sea estrella-triángulo, por autotransformador, por arranque suave o mediante variador de frecuencia, en dependencia del tipo de bomba y su potencia de trabajo.
- ✓ Se recomienda operar la bomba dentro de la 'Región de operación preferida' siempre que sea posible, para maximizar su productividad y vida útil. Como regla obligatoria, siempre debe operarse la bomba al menos dentro de los límites de la 'Región de operación admitida' para no acortar drásticamente la vida útil del motor.

REFERENCIAS

Cahaba Media Group, Inc. (13 de Febrero de 2015). *How to Determine Minimum Submergence*. Obtenido de PumpsAndSystems: <https://www.pumpsandsystems.com/pumps/how-determine-minimum-submergence>

Engineering ToolBox. (2004). *Hazen-Williams Coefficients*. Obtenido de The Engineering ToolBox: https://www.engineeringtoolbox.com/hazen-williams-coefficients-d_798.html

Grundfos. (24 de Agosto de 2020). *Diseño de pozos, selección de la bomba sumergible, temperatura y velocidades de refrigeración*. Obtenido de iAqua: <https://www.iagua.es/noticias/grundfos/disenio-pozos-seleccion-bomba-sumergible-temperatura-y-velocidades-refrigeracion>

Grundfos Industry. (2010). *Manual de bombeo*. Grundfos.

Hurlbatt, M. (13 de Abril de 2016). *How Submersible Pumps Work: Advantages and Disadvantages of Submersible Pumps*. Obtenido de Pump Solutions AUSTRALASIA: <https://pumpsolutions.com.au/how-submersible-pumps-work-advantages-and-disadvantages-of-submersible-pumps/>

Instituto Geológico y Minero de España. (2016). *Glosario de terminos hidrogeológicos*. Obtenido de AGUAS IGME: http://aguas.igme.es/igme/publica/libro76/pdf/lib76/in_09.pdf

Monge Redondo, M. A. (20 de Septiembre de 2017). *¿Qué es la cavitación y como evitarla?* Obtenido de iAqua: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/que-es-cavitacion-como-evitarla>

Wikiwater. (2020). *Wikiwater*. Obtenido de Wikiwater: <https://wikiwater.fr/e28-los-diversos-tipos-de-pozos-y>

- Monge Redondo, M. A. (27 de Marzo de 2017). *¿Qué es y cómo se calcula el NPSHdisp de una bomba centrífuga?* Obtenido de iAgua: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/que-es-y-como-se-calcula-npshdisp-bomba-centrifuga>
- Monge Redondo, M. A. (23 de Septiembre de 2019). *iAgua*. Obtenido de iAgua: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/tabla-calculo-perdidas-presion-tuberias>
- Norma Técnica Ecuatoriana. (2015). *Postes de hormigón armado y preesforzado para soportes de instalaciones de líneas y redes aéreas de energía eléctrica y telecomunicaciones*. Quito: INEN.
- Ordoñez Gálvez, J. J. (2012). *Cartilla técnica: Aguas subterráneas - Acuíferos*. Lima: IBEGRAF.
- Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial. (2018). *Manual de optimización de sistemas de bombeo*. Colombia: EEI.
- Page, D. (01 de Noviembre de 2000). *YCC Pumps*. Obtenido de Yeomans Chicago Corporation: <http://www.yccpump.com/assets/submergence.pdf>
- Sanchez San Román, F. J. (2015). *Hidráulica de captaciones: Fundamentos*. Obtenido de Hidrología USAL: https://hidrologia.usal.es/temas/Hidraulica_captaciones.pdf
- Sánchez, F. J. (2017). *Hidrología Superficial y Subterránea*. Salamanca: Createspace Independent Pub. Obtenido de https://hidrologia.usal.es/temas/Ciclo_hidrol.pdf
- SENA. (1999). *Operación y mantenimiento de pozos profundos para acueductos*. Bogotá: Sena Publicaciones.
- Valencia Robles, J. I. (2018). *Análisis hidrogeológico de la cuenca del río manglaralto para la caracterización de sus sistemas acuíferos*. ESPOL. Guayaquil: DSpace Repository.

ANEXOS

ANEXO A: Fotografías tomadas del sistema actual en la visita al vivero del proyecto.

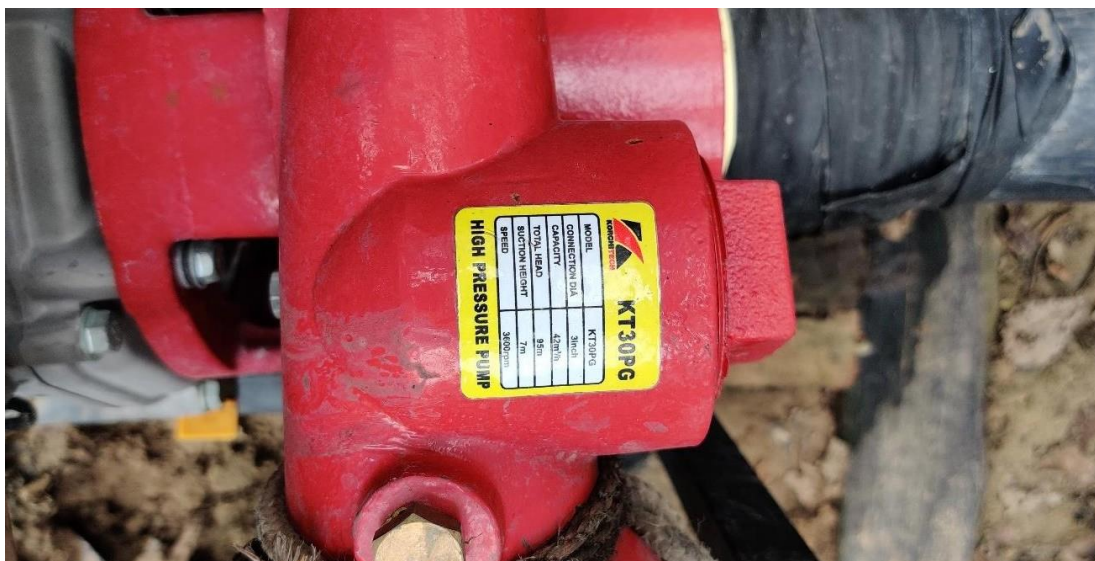
- ✓ Fotografía del pozo del vivero.



- ✓ Fotografía del terreno



- ✓ Fotografías de las características de la bomba actual a combustión

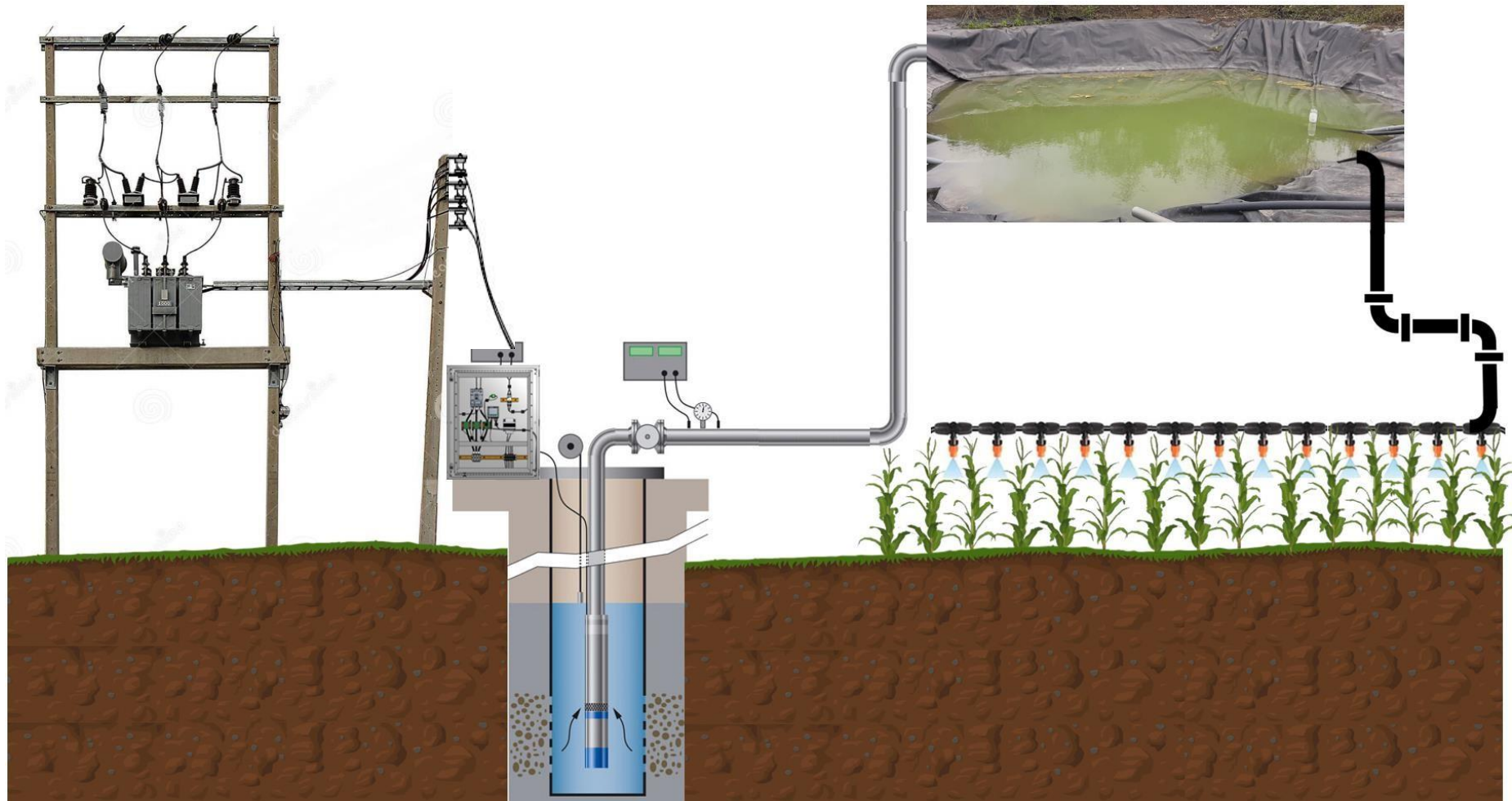


✓ Fotografías al reservorio elevado de máx. 300 m³; capacidad nominal 270 m³.



ANEXO B: Ilustración del sistema de bombeo propuesto en el proyecto.

- ✓ Diseño (bosquejo) del sistema propuesto.



ANEXO C: Nomograma para el cálculo de carga debido a pérdidas por fricción.

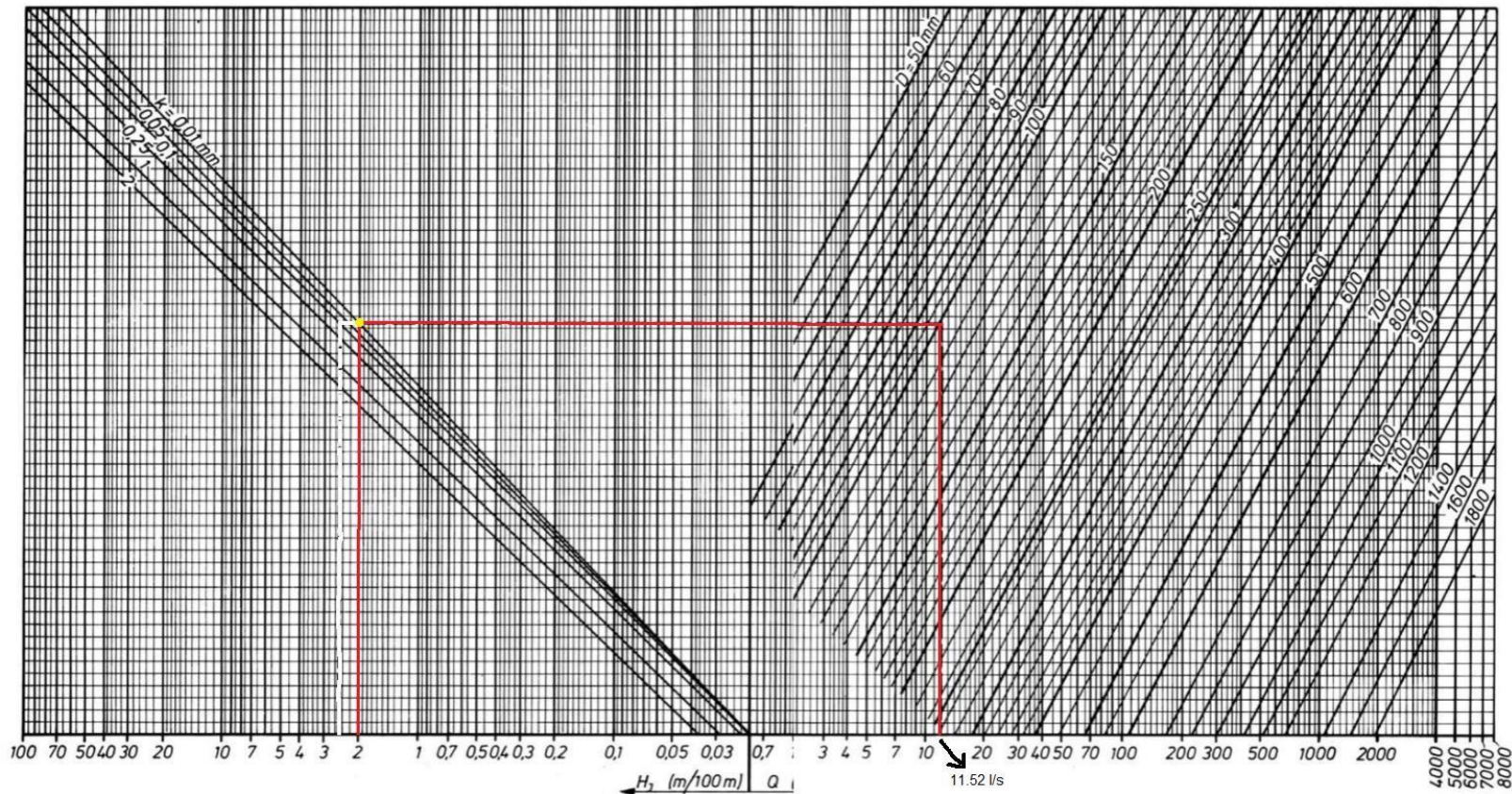
Pipe loss nomogram for clean water 20°C

Q = Flow, l/s
 D = Pipe inner diameter, mm
 k = Surface roughness, mm
 H_f = Pipe losses, m/100 m

Example
 Q = 11.52 l/s
 D = 102 mm
 k = 0.01
 H_f = 2 m / 100 m

Guide values for surface roughness (k) for pipes

pipe material	new pipe k (mm)	old pipe k (mm)
plastic	0.01	0.25
drawn steel	0.05	1.0
welded steel	0.1	1.0
drawn stainless steel	0.05	0.25
welded stainless steel	0.1	0.25
cast iron	0.25	1.0
galvanized steel	0.15	



ANEXO D: Tabla normalizada simplificada para el cálculo de la función de pozo $W(u)$.

- ✓ Se muestra la imagen de una tabla de valores de $W(u)$ para distintos valores de u . Por ejemplo, para $u = 0.020$ $\Rightarrow W(u) = 3.3547$.

	$x 1$	$x 0,1$	$x 0,01$	$x 10^{-3}$	$x 10^{-4}$	$x 10^{-5}$	$x 10^{-6}$	$x 10^{-7}$	$x 10^{-8}$	$x 10^{-9}$	$x 10^{-10}$
1,0	0,2194	1,8229	4,0379	6,3315	8,6332	10,9357	13,2383	15,5409	17,8435	20,1460	22,4486
1,2	0,1584	1,6595	3,8576	6,1494	8,4509	10,7534	13,0560	15,3586	17,6611	19,9637	22,2663
1,4	0,1162	1,5241	3,7054	5,9955	8,2968	10,5992	12,9018	15,2044	17,5070	19,8096	22,1122
1,6	0,08631	1,4092	3,5739	5,8621	8,1633	10,4657	12,7683	15,0709	17,3735	19,6760	21,9786
1,8	0,06471	1,3098	3,4581	5,7445	8,0455	10,3479	12,6505	14,9531	17,2557	19,5583	21,8608
2,0	0,04890	1,2226	3,3547	5,6394	7,9402	10,2426	12,5451	14,8477	17,1503	19,4529	21,7555
2,2	0,03719	1,1454	3,2614	5,5443	7,8449	10,1473	12,4498	14,7524	17,0550	19,3576	21,6602
2,4	0,02844	1,0762	3,1763	5,4575	7,7579	10,0603	12,3628	14,6654	16,9680	19,2706	21,5732
2,6	0,02185	1,0139	3,0983	5,3776	7,6779	9,9802	12,2828	14,5854	16,8879	19,1905	21,4931
2,8	0,01686	0,9573	3,0261	5,3037	7,6038	9,9061	12,2087	14,5113	16,8138	19,1164	21,4190
3,0	0,01305	0,9057	2,9591	5,2349	7,5348	9,8371	12,1397	14,4423	16,7448	19,0474	21,3500
3,2	0,01013	0,8583	2,8965	5,1706	7,4703	9,7726	12,0751	14,3777	16,6803	18,9829	21,2855
3,4	0,007891	0,8147	2,8379	5,1102	7,4097	9,7120	12,0145	14,3171	16,6197	18,9223	21,2249
3,6	0,006160	0,7745	2,7827	5,0532	7,3525	9,6548	11,9574	14,2599	16,5625	18,8651	21,1677
3,8	0,004820	0,7371	2,7306	4,9993	7,2985	9,6007	11,9033	14,2059	16,5085	18,8110	21,1136
4,0	0,003779	0,7024	2,6813	4,9482	7,2472	9,5495	11,8520	14,1546	16,4572	18,7598	21,0623
4,2	0,002969	0,6700	2,6344	4,8996	7,1985	9,5007	11,8032	14,1058	16,4084	18,7110	21,0135
4,4	0,002336	0,6397	2,5899	4,8533	7,1520	9,4541	11,7567	14,0593	16,3619	18,6644	20,9670
4,6	1,841E-03	0,6114	2,5474	4,8091	7,1075	9,4097	11,7122	14,0148	16,3174	18,6200	20,9226
4,8	1,453E-03	0,5848	2,5068	4,7667	7,0650	9,3671	11,6697	13,9723	16,2748	18,5774	20,8800
5,0	1,148E-03	0,5598	2,4679	4,7261	7,0242	9,3263	11,6289	13,9314	16,2340	18,5366	20,8392
5,2	9,086E-04	0,5362	2,4306	4,6871	6,9850	9,2871	11,5896	13,8922	16,1948	18,4974	20,8000
5,4	7,198E-04	0,5140	2,3948	4,6495	6,9473	9,2494	11,5519	13,8545	16,1571	18,4596	20,7622
5,6	5,708E-04	0,4930	2,3604	4,6134	6,9109	9,2130	11,5155	13,8181	16,1207	18,4233	20,7259
5,8	4,532E-04	0,4732	2,3273	4,5785	6,8758	9,1779	11,4804	13,7830	16,0856	18,3882	20,6908
6,0	3,601E-04	0,4544	2,2953	4,5448	6,8420	9,1440	11,4465	13,7491	16,0517	18,3543	20,6569
6,2	2,864E-04	0,4366	2,2645	4,5122	6,8092	9,1112	11,4137	13,7163	16,0189	18,3215	20,6241
6,4	2,279E-04	0,4196	2,2346	4,4806	6,7775	9,0795	11,3820	13,6846	15,9872	18,2897	20,5923
6,6	1,816E-04	0,4036	2,2058	4,4501	6,7467	9,0487	11,3512	13,6538	15,9564	18,2590	20,5616
6,8	1,448E-04	0,3883	2,1779	4,4204	6,7169	9,0189	11,3214	13,6240	15,9265	18,2291	20,5317
7,0	1,155E-04	0,3738	2,1508	4,3916	6,6879	8,9899	11,2924	13,5950	15,8976	18,2001	20,5027
7,2	9,219E-05	0,3599	2,1246	4,3636	6,6598	8,9617	11,2642	13,5668	15,8694	18,1720	20,4745
7,4	7,364E-05	0,3467	2,0991	4,3364	6,6324	8,9343	11,2368	13,5394	15,8420	18,1446	20,4472
7,6	5,886E-05	0,3341	2,0744	4,3100	6,6057	8,9076	11,2101	13,5127	15,8153	18,1179	20,4205
7,8	4,707E-05	0,3221	2,0503	4,2842	6,5798	8,8817	11,1842	13,4868	15,7893	18,0919	20,3945
8,0	3,767E-05	0,3106	2,0269	4,2591	6,5545	8,8563	11,1589	13,4614	15,7640	18,0666	20,3692
8,2	3,015E-05	0,2996	2,0042	4,2346	6,5298	8,8317	11,1342	13,4367	15,7393	18,0419	20,3445
8,4	2,415E-05	0,2891	1,9820	4,2107	6,5057	8,8076	11,1101	13,4126	15,7152	18,0178	20,3204
8,6	1,936E-05	0,2790	1,9604	4,1874	6,4822	8,7840	11,0865	13,3891	15,6917	17,9943	20,2969
8,8	1,552E-05	0,2694	1,9393	4,1646	6,4592	8,7610	11,0635	13,3661	15,6687	17,9713	20,2739
9,0	1,245E-05	0,2602	1,9187	4,1423	6,4368	8,7386	11,0411	13,3437	15,6462	17,9488	20,2514
9,2	9,988E-06	0,2513	1,8987	4,1205	6,4148	8,7166	11,0191	13,3217	15,6243	17,9268	20,2294
9,4	8,018E-06	0,2428	1,8791	4,0992	6,3934	8,6951	10,9976	13,3002	15,6028	17,9053	20,2079
9,6	6,439E-06	0,2347	1,8599	4,0783	6,3723	8,6740	10,9765	13,2791	15,5817	17,8843	20,1869
9,8	5,173E-06	0,2269	1,8412	4,0579	6,3517	8,6534	10,9559	13,2585	15,5611	17,8637	20,1662


ANEXO E: Cálculo de la descarga de salida mediante hoja creada en Excel.

Esta hoja de Excel permite hallar el caudal de descarga Q del reservorio elevado mediante iteraciones, asumiendo diversos valores de F hasta que el F asumido de la celda B3 sea igual al F calculado en la celda B7, mostrando el caudal resultante Q en la celda E3. Previamente, se deben llenar las casillas con los datos requeridos, como:

- Valor del diámetro D de la tubería en mm (celda E1).
- Valor de cota #1 en metros (celda B9), que se refiere a la diferencia de altura que existe entre la referencia -en este caso es el terreno sembrado- y el límite superior del agua en el reservorio. Para este caso, serían 29 metros (altura de descarga) más 2.25 metros (nivel de agua en el reservorio a su capacidad nominal), dando un total de 31.25 metros.
- Valor de cota #2 en metros (celda B10), que se refiere a la diferencia de nivel entre el nivel de descarga y la referencia dada. En este caso, el valor es 0 dado que la referencia y el nivel de descarga son iguales (es decir, el terreno sembrado).
- La longitud total en metros (celda B11), que es la distancia del punto inicial al punto final de descarga del agua; 400 metros en este caso.
- La densidad y viscosidad del fluido (celdas B12 y B13, respectivamente). En este caso, el fluido descargado es agua a 20 grados Celsius.
- La rugosidad absoluta del material de la tubería de descarga (celda B14). Siendo polietileno, su valor es de 0.0015.

	A	B	C	D	E	F	G
1	valor de F asumido	0.01563		valor de D asumido(mm)	76.2		
2							
3	$\textcircled{1} \quad V = \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 + \frac{F_{\text{asumido}} L_T}{D}}} \quad \left(\frac{m}{s}\right)$	2.716		$Q \left(\frac{L}{s}\right) = \frac{\pi D^2}{4} V =$	12.3848359		
4							
5	$\textcircled{2} \quad Re = \frac{VD\rho}{\mu}$	205499.081					
6							
7	$\textcircled{3} \quad F = \frac{1,325}{\left\{-\ln \left[\frac{0,0015}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right]^2 \right\}}$	0.01563					
8							
9	cota 1 (m)	31.25					
10	cota 2 (m)	0					
11	longitud total (m)	400					
12	densidad del fluido (kg/m3)	998					
13	viscosidad del fluido (pa*s)	0.001005					
14	rugosidad (mm)	0.0015					

ANEXO F: Ficha técnica de los elementos empleados en el sistema.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación “DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO EFICIENTE PARA UN VIVERO UBICADO EN LA COMUNA ‘DOS MANGAS’”			
Ficha técnica del sistema de bombeo eficiente para extracción de agua de pozo y el abastecimiento a un reservorio elevado.			
Elaborado por:	Juan Moreno----- Winellys Naranjo		
Fecha:	31/01/2020	Código:	100997
<p>Uso: Bomba sumergible empleada en un sistema de bombeo eficiente para extracción de agua de pozo y el abastecimiento a un reservorio elevado, para el riego por gravedad de un vivero ubicado en la comuna ‘Dos Mangas’.</p>			

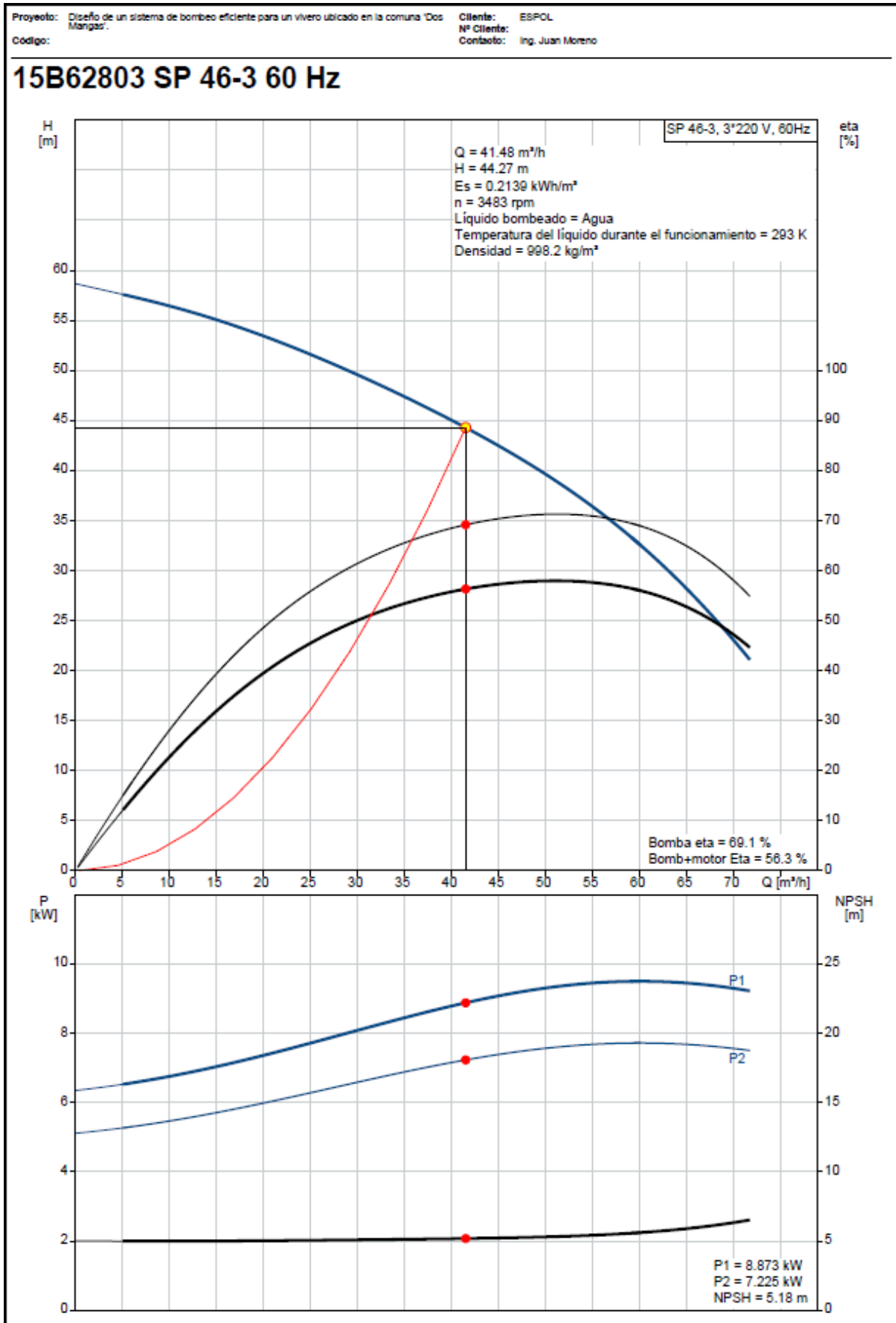
Datos del sistema de bombeo.

Caudal nominal de trabajo:	41.48 m ³ /h
Altura dinámica total:	44.27 m
Potencia absorbida por el motor:	8.87 kW
Potencia entregada a la bomba:	7.22 kW
Potencia de salida hidráulica:	5.00 kW
Eficiencia del sistema:	56.40 %
Tipo de arranque del motor:	Arranque directo
Tiempo de llenado del reservorio estimado:	6 horas y 30 minutos
Tiempo de vaciado del reservorio estimado:	6 horas y 3 minutos

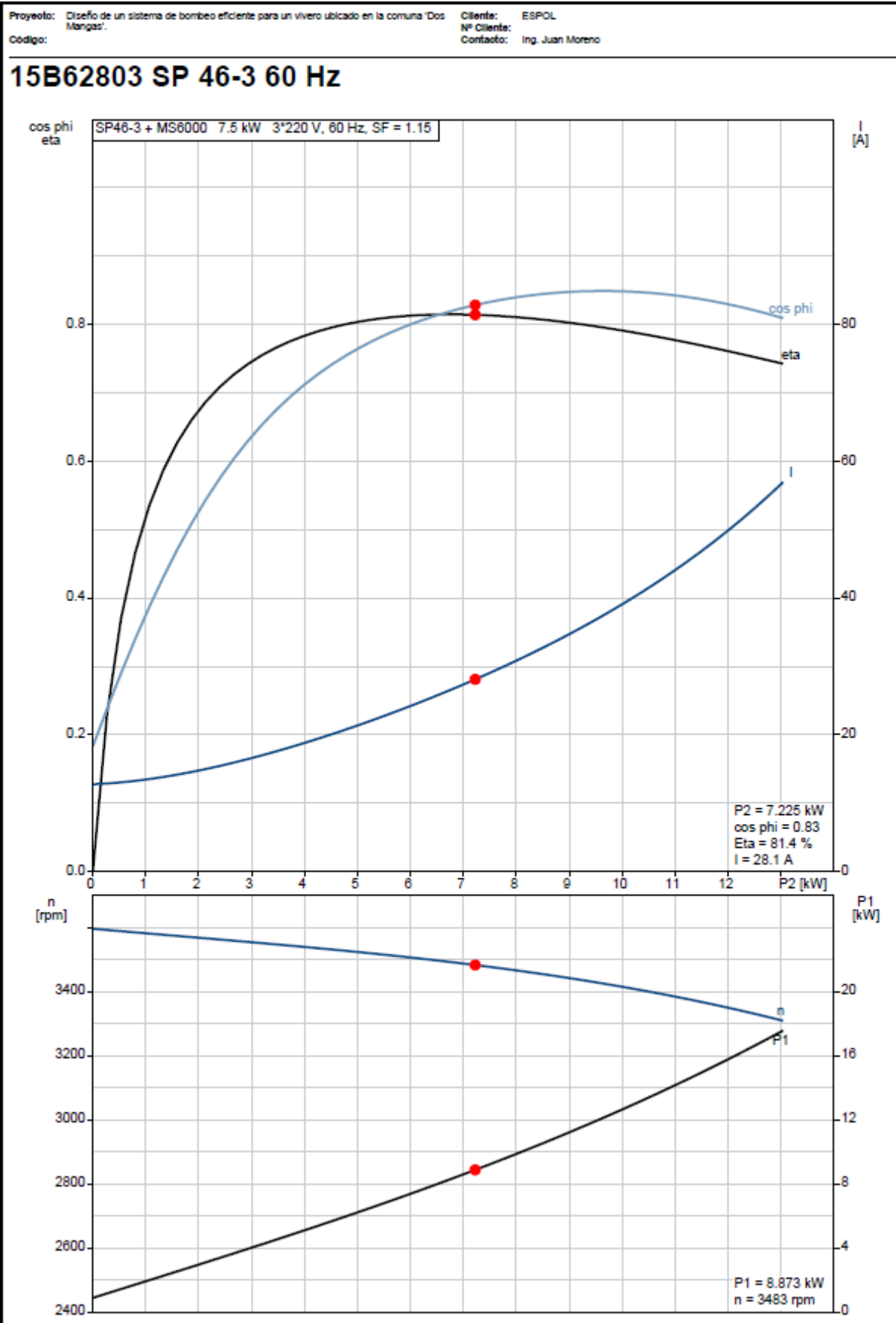
Datos de la bomba sumergible.

Información general	
Producto	SP 46-3
Código	15B62803
Número EAN	5700391826108
Peso neto	53 kg
Datos técnicos BOMBA	
Velocidad de bomba en la que se basan los datos	3450 rpm
Caudal real calculado	41.48 m ³ /h
Altura resultante de la bomba	44.27 m
Etapas	3
Tolerancia de curva	ISO9906:2012 3B
Modelo	B
Válvula	YES
Versión de motor	T40
Materiales	
Bomba	Acero inoxidable - AISI 304
Impulsor	Acero inoxidable - AISI 304
Motor	Acero inoxidable - AISI 304
Salida de bomba	4"NPT
Diámetro de motor	6 pulg.
Líquido bombeado: Agua	
Máxima temperatura	313 K
Temperatura del líquido actual	293 K
Densidad	998.2 kg/m ³
Datos eléctricos MOTOR	
Marca	GRUNDFOS
Tipo de motor	MS6000
Potencia nominal - P2	7.5 kW
Frecuencia de red	60 Hz
Tensión nominal	3 x 208-220-230 V
Factor de servicio	1.15
Intensidad nominal	37.5-35.0-33.5 A
Intensidad de arranque	350-400-440 %
Cos phi - factor de potencia	0.85-0.84-0.83
Velocidad nominal	3420-3450-3470 rpm
Tipo de arranque	Directo
Grado de protección (IEC 34-5)	IP68
Clase de aislamiento (IEC 85)	F
Protección térmica	exterior
Transmisor de temperatura incorporado	sí

Curvas de caudal y rendimiento de la bomba SP 46-3 y motor MS6000 escogidos.

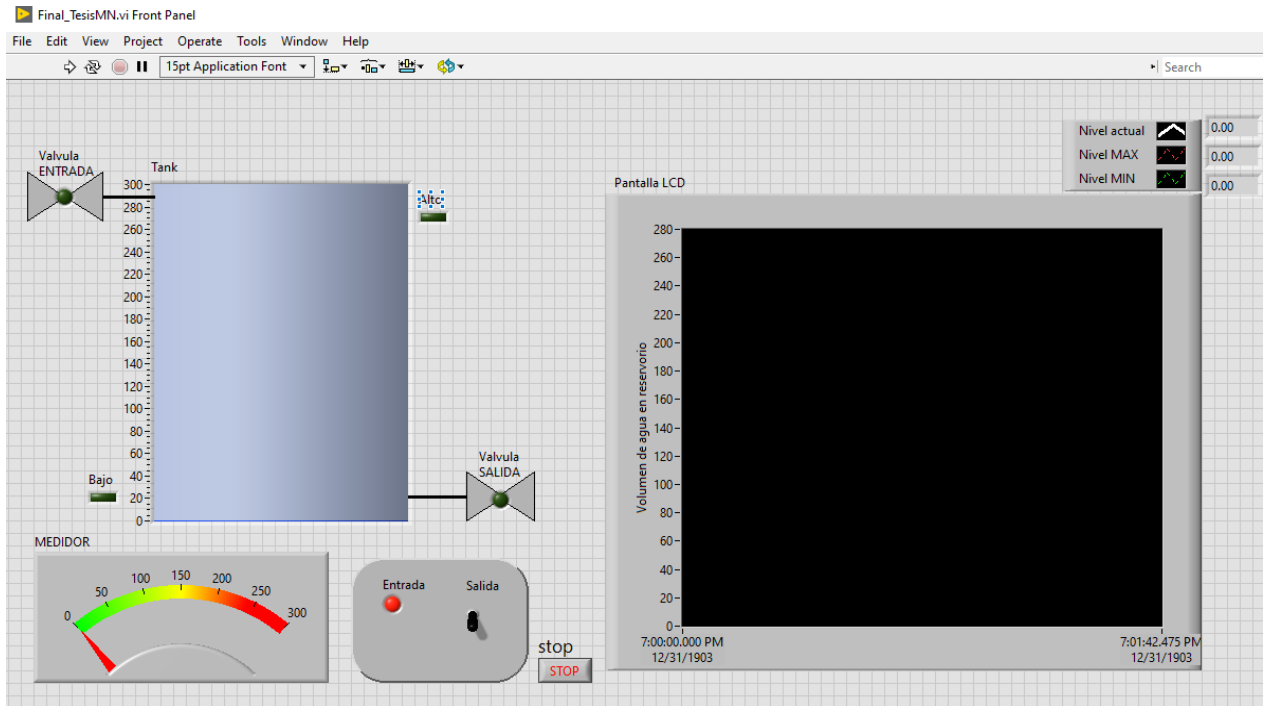


Curvas de potencia, velocidad y corriente absorbida del motor.



ANEXO G: Programación en LabVIEW.

- ✓ Panel frontal del sistema simulado.



- ✓ Programación en diagrama de bloques del sistema.

