



Rediseño del sistema hidráulico y eléctrico del proceso de cribado de una empresa avícola

Mario Andrés Chalarca

Código: 21131411008

Universidad Antonio Nariño

Programa de Ingeniería Electromecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Buga, Colombia

2023

**Rediseño del Sistema hidráulico y eléctrico del proceso de cribado de una
avícola**

Mario Andrés Chalarca

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero electromecánico

Director:

Ing. José Daniel Ballen Briceño

Línea de Investigación: desarrollo tecnológico

Semillero de Investigación: Mejoramiento Industrial Tecnológico y Energético – MITE

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería electromecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Guadalajara de Buga (Valle del cauca), Colombia

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

_____, Cumple con

los requisitos para optar

Al título de _____.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Guadalajara de Buga, 24 de noviembre del 2023

1. Tabla de contenido

Lista de Figuras	6
Lista de tablas	8
1. Antecedentes	16
2. Objetivos	19
2.1 Objetivo general	19
2.2 Objetivos específicos	19
3. Justificación	20
4. Planteamiento del problema	22
5. Marco teórico.....	31
5.1 Ecuación general de la energía.....	31
5.2 Perdida de energía hidráulica por fricción y accesorios.....	31
5.3 Numero de Reynolds	32
5.4 Fricción del fluido.....	34
5.5 Definición maquina hidráulica.....	34
5.6 Bomba hidráulica	34
5.7 Clasificación maquinas hidráulicas	35
5.8 Leyes de afinidad para bombas centrifugas	36
6. NPSHa, NPSHr y cavitación	38
6.1 Carga de succión positiva neta disponible (NPSHa).....	38
6.2 Cavitación	38
6.3 Carga de succión positiva neta requerida (NPSHR)	38
7. Motores eléctricos	39
7.1 Selección del motor.....	39
8. Arrancadores suaves.....	41
9. Criterio para seleccionar un arrancador suave:	41
9.1 Clase de arrancadores.....	41
10. Diseño Metodologico	42
10.1 Resultados y análisis de resultados.....	44
10.2 Diagnóstico de la red eléctrica actual	52
11. Calculo hidraulico de linea propuesta.....	60
11.1 Carga de succión positiva neta disponible (NPSHD)	65
11.2 Cálculo de la bomba.....	66
12. Calculo guardamotor eléctrica	71
13. Calculo conductor eléctrico.....	73

13.1	Diseño eléctrico bombas de las cribas 1-2	75
13.2	Diseño eléctrico bombas de las lavadoras 1-2	76
13.3	Ahorro energético	79
	Conclusiones	80
A.	Anexo: dimensiones de la tubería de acero	82
B.	Anexo: Dimensiones de tubería de PVC	83
C.	Anexo: rugosidad de la tubería	83
D.	Anexo: propiedades del agua	84
E.	Anexo: Selección tamaño de la tubería	85
F.	Anexo: Longitudes equivalentes	86
G.	Anexo: figura de pérdidas menores	87
H.	Anexo: unidades requeridas para obtener el número de Reynolds	88
i.	Anexo: tabla de ampacidad de conductores eléctricos	89
J.	Anexo: Arrancador suave	90
k.	Anexo. Tabla utilizada para el dato de la presión de vapor en metros	91
	Referencias Bibliográficas	92

Lista de Figuras

Figura4. 1 <i>Recepción del animal en huacales</i>	24
Figura4. 2 <i>Transporte en bandas para el inicio del proceso</i>	24
Figura 4. 3 <i>Recorrido del huacal para el colgado del animal</i>	25
Figura4. 4 <i>Recorrido del huacal para el lavado en el lavador de huacales</i>	26
Figura 4. 5 <i>Cribas para el filtrado del agua de bombeo y reutilización en el proceso</i> ...	26
Figura 4. 6 <i>Daño de la bomba del lavador de huacales 1</i>	27
Figura 4. 7 <i>Ejemplo cambio de sección de tubería</i>	28
Figura 4. 8 <i>Mala distribución de accesorios (instalación doble codo)</i>	28
Figura 4. 9 <i>Dos codos que conectan entrada y salida de la bomba</i>	29
Figura 4. 10 <i>Los arranques directos de los motores</i>	29
Figura 4. 11 <i>Estación de mando con mala distribución y deteriorada</i>	30
Figura 5.12: <i>Clasificación maquinas hidráulicas</i>	35
Figura 5. 13 <i>Vista seccional de una bomba centrifuga</i>	36
Figura 9. 14 <i>Vista 3D tubería actual</i>	44
Figura 9. 15 <i>Vista 3D tubería actual,</i>	45
Figura 9. 16 <i>Vista 3d superior</i>	46
Figura 9. 17 <i>Vista 3D superior</i>	47
Figura 9. 18 <i>Vista 3D tubería actual lavador de huacales 1 criba 1</i>	47
Figura 9. 19 <i>Vista 3D Diseño propuesto</i>	54
Figura 9. 20 <i>vista 3D Diseño propuesto</i>	55
Figura 9. 21 <i>vista 3D Diseño propuesto</i>	56

Figura 9. 22 <i>vista 3D tubería propuesta criba 2</i>	56
Figura 9. 23 <i>Vista 3D tubería propuesta criba 1</i>	57
Figura 9. 24 <i>Vista 3D tubería propuesta ambas líneas</i>	57
Figura 9. 25 <i>Vista 3D tubería propuesta criba 2</i>	58
Figura 9. 26 <i>Vista 3D tubería propuesta criba 1</i>	58
Figura 9. 27 <i>Vista 3D tubería propuesta ambas líneas.</i>	59
Figura 9. 28 <i>Vista 3D tubería propuesta ambas líneas</i>	59
Figura 10. 29 <i>Medición de temperatura del fluido.</i>	60
Figura 10. 30 <i>Curvas características selección de bomba según el fabricante.</i>	68
Figura 10. 31 <i>Selección de la bomba cribas a las lavadoras h.</i>	69
Figura 10. 32 <i>Selección de bomba de la lavadora h. a la criba</i>	70
Figura 12. 33 <i>Diagrama eléctrico</i>	75
Figura 12. 34 <i>Diagrama eléctrico</i>	76
Figura 12. 35 <i>bomba centrifuga actual.</i>	77
Figura 12. 36 <i>Datos de la bomba y el motor.</i>	77
Figura 12. 37 <i>Datos motores actual.</i>	78

Lista de tablas

Tabla 9. 1 <i>Línea hidráulica de succión actual</i>	48
Tabla 9. 2 <i>Línea hidráulica de descarga actual</i>	48
Tabla 9. 3 Ecuaciones formuladas en Excel para los cálculos hidráulicos.....	49
Tabla 9. 4 <i>Datos técnicos de la instalación tubería existente</i>	50
Tabla 9. 5 <i>hl secundarios en la succión tubería existente</i>	51
Tabla 9. 6 <i>hl secundarios en la descarga tubería existente</i>	52
Tabla 9. 7 <i>Datos eléctricos instalación actual</i>	53
Tabla 10. 8 <i>Línea hidráulica succión tubería propuesta</i>	61
Tabla 10. 9 <i>línea hidráulica descarga tubería propuesta</i>	61
Tabla 10. 10 <i>Perdidas primarias tubería propuesta</i>	62
Tabla 10. 11 <i>Pérdidas secundarias en la succión tubería propuesta</i>	62
Tabla 10. 12 <i>Perdidas secundarias en la descarga tubería propuesta</i>	63
Tabla 10. 13 <i>Pérdidas totales succión y descarga tubería propuesta</i>	64
Tabla 10. 14 Cuadro comparativo red hidráulica actual y red propuesta.	64
Tabla 10. 15 <i>Datos para el cálculo del nps_h</i>	65
Tabla 10. 16 <i>Cálculo de las bombas tubería propuesta</i>	67
Tabla 11. 17 <i>Calculo guardamotor para cada bomba propuesta</i>	73
Tabla 12. 18 <i>Calculo conductor eléctrico para cada bomba</i>	74
Tabla 12. 19 <i>Cuadro comparativo consumo eléctrico</i>	79

Dedicatoria

Dedico este logro a DIOS por guiar mis pasos, mi esposa e hijos por ser el motor de vida, a mi madre, a mi tía por apoyarme, por sus lecciones de vida, a mis tutores que sin su conocimiento no hubiese sido posible realizar este proyecto.

Agradecimientos

Me gustaría agradecer en estas líneas la ayuda que me han brindado, mi familia y colegas durante el proceso de investigación y redacción de este trabajo. En primer lugar, quisiera agradecer a mi esposa su ayuda y apoyo en todo mi proceso, a la ingeniera Adriana López Vargas y los ingenieros Jaime Castañeda y Daniel Ballén que me acompañaron en este proceso, por haberme guiado en todos los momentos que necesité sus consejos y orientación, a los tutores que me transmitieron sus conocimientos con entusiasmo y dedicación, que fueron de gran ayuda para culminar el desarrollo de este proyecto de grado.

Resumen

Las plantas de procesamiento animal deben poner en marcha nuevos métodos y sistemas que permitan salvaguardar la integridad e inocuidad del producto final. Por lo que proponer un sistema que permita mejorar las condiciones de limpieza en una empresa de sacrificio aviar, se torna interesante en el siguiente proyecto. El cual tiene por objetivo principal, rediseñar el sistema hidráulico y eléctrico de las cribas 1 y 2 y las lavadoras de huacales 1y 2. Para ello se plantea inicialmente un análisis de la instalación actual, tanto de la parte hidráulica y eléctrica. Luego se revisa las pérdidas hidráulicas existentes y los consumos eléctricos. Con ello es posible plantear una nueva red que permita corregir los accesorios usados en las instalaciones para disminuir las pérdidas y así poder calcular las nuevas bombas a introducir, para mejorar el recorrido de las instalaciones hidráulicas e instalaciones eléctricas. Lo que finalmente representa una gran mejora en el funcionamiento del proceso y garantiza la confiabilidad de los equipos involucrados para el procesamiento de un producto de consumo humano.

PALABRAS CLAVE: perdidas por accesorios, instalaciones hidráulicas, mejoras eléctricas, rediseñar sistema hidráulico.

Abstract

Animal processing plants must implement new methods and systems that safeguard the integrity and safety of the final product. Therefore, proposing a system that allows improving cleaning conditions in an aviation slaughter company is interesting in the following project. The main objective is to redesign the hydraulic and electrical system of berths 1 and 2 and the laundry of huacales 1 and 2. To this end, an analysis of the current installation was initially planned, both in the hydraulic and electrical parts. Then check the existing hydraulic losses and electrical consumption. With this, it is possible to plant a new network that allows the accessories used in the installations to be corrected to reduce losses and thus be able to calculate the new pumps to be introduced, to improve the flow rate of the hydraulic and electrical installations. Which ultimately represents a major improvement in the functioning of the process and guarantees the reliability of the equipment involved in processing a product for human consumption.

KEYWORDS: losses due to accessories, hydraulic installations, electrical improvements, redesign of the hydraulic system.

Introducción

Actualmente, la industria de sacrificio animal, especialmente la avícola, representa para Colombia uno de los sectores de mayor importancia debido a su alto crecimiento, aporte y desarrollo económico nacional. De acuerdo con cifras de FENAVI (Federación Nacional de Avicultores de Colombia). Para el 2023, la avicultura colombiana evidenció un aumento del 13,6% en el PIB con respecto al año pasado, lo que supone un crecimiento dinámico en el consumo per capita del animal aviar. Así pues, las empresas de sacrificio avícola para atender y sostener la demanda del sector, han masificado sus líneas productivas, lo que refiere implícitamente un aumento en la contaminación y generación de residuos en sus áreas de procesamiento.

Los controles normativos frente a la limpieza e inocuidad en cada etapa del procesamiento, son cada vez mayores y deben ser auditadas bajo las normas de cumplimiento sanitario; Ley 9ª de 1979, Código sanitario nacional colombiano; Disposición frente a las plantas de sacrificios- Decreto 2278 de 1982; Y mediante decreto 3075 de 1997, por el cual se da a conocer las regulaciones en las actividades con riesgos al consumo alimentario.

Una planta de sacrificio avícola debe contar con un sistema técnico y operativo frente a las medidas de control sanitario e inocuo para el procesamiento del animal, antes, durante y después. Se debe garantizar que el producto salvaguarde su calidad y no se contamine con los residuos excedentes del proceso de transformación. Según el Ministerio de salud (2015) la generación de patologías en el ser humano mayormente son por causa del mal tratamiento del alimento.

La producción avícola esta compuesta por diferentes áreas de acuerdo al proceso que se a desarrollar: Inicia de un área de recepción del ave hasta un punto de despacho con el producto listo para el consumidor.

Una de las etapas de mayor interes y regulación sanitaria es la recepción del animal, en especial el área de sacrificio. Allí, el pollo se sacrifica y se clasifican los residuos procedentes del proceso, tales como plumas, excrementos y sangre del animal. Posterior a ello, en el animal se le separan los miembros inferiores y visceras. Luego se transporta a la cadena de frio donde, mediante el pesaje se realiza la selección para procesarlos y despesarlo. Finalmente, se empaca por tipo y especificación del producto.

En esta área, la higiene, la limpieza y desinfeccion debe ser una practica dinamica, sistematizada y efectiva ya que es un factor principal para garantizar la inocuidad del producto a lo largo de su cadena productiva. Atender un sistema tan complejo de limpieza implica el uso de recursos (materiales, técnicos, tecnologicos, naturales-medio ambiente) que son consolidables a largo plaza para la empresa.

De acuerdo a lo anterior, en este trabajo se pretende rediseñar el sistema hidráulico y eléctrico del proceso de cribado de la empresa Avidesa S.A. Sistema actualmente usado por la planta para mantener la eficiencia, efectividad y optimización en los recursos utilizados en el área de sacrificio. Un proceso debidamente optimizado implica analizar y proponer una distribución de equipos, montajes y todo lo subyante al proceso.

Para el desarrollo de este trabajo, se propone partir desde un análisis del problema en el sector (Justificación y Planteamiento del problema); Posteriormente desplegar un marco conceptual sobre hidráulica, bombas y los sistemas eléctricos que los soportan. Luego, el diseño metodológico del trabajo con sus cuatro (4) fases de trabajo. Y finalmente, la presentación de los resultados de acuerdo a la propuesta del sistema optimizado para la planta objeto de estudio.

1. Antecedentes

El trabajo titulado “Cálculo De Las Pérdidas De Carga De Un Sistema De Redes Hidráulicas En Una Planta De Tratamiento De Agua Industrial” en Barrancabermeja, Santander, realizado por Andrés León Naranjo, Jefferson, Andrés Pertuz Bayona y Jefferson Lizarazo Rey, presenta un análisis de las pérdidas de carga a través de los diferentes accesorios instalados en el sistema de redes hidráulicas en la planta de tratamiento de agua industrial. En este estudio, se toman los datos referentes a las tuberías como son, el diámetro de la tubería instalada, la longitud del tramo, el tipo de material de fabricación de la tubería, la temperatura en grados centígrados y el caudal representado en m^3/h . En base a ellos, lograron calcular las pérdidas de carga en el sistema de aguas residuales, los cuales, a pesar de la información suministrada por la empresa, fue necesario la recopilación de información adicional como, densidad del fluido de acuerdo con su temperatura, viscosidad dinámica, factor de fricción para el acero, longitudes equivalentes en diámetros de tubería, entre otros, los cuales fueron necesarios para la obtención de las pérdidas lineales y singulares del sistema hidráulico [1]

Por otro lado, una investigación enfocada a analizar la eficiencia energética y la confiabilidad de las bombas centrífugas del molino uno de Cartón de Colombia [2]. Para ello, se estudian los sistemas de bombeo, teniendo en cuenta las condiciones de operación, consumo energético, frecuencias de falla teniendo en cuenta la marca, el tipo y modelo de las bombas. Los autores desarrollaron una hoja de cálculo en el software Excel, que permite consignar los datos de campo de los sistemas de bombeo a analizar y muestran las curvas de operación del sistema para aumentar la eficiencia y la confiabilidad del bombeo. Los resultados obtenidos después de este

estudio fueron los siguientes: La zona de operación de la bomba Ingersoll Rand 6EM 10X6-12 del sistema de bombeo tanque 12 está lejos del punto de mejor eficiencia; la bomba está sobredimensionada para el sistema, la eficiencia de la bomba Ingersoll Rand 6EM 10X6-12 del sistema de bombeo tanque 12, de acuerdo al punto de operación y a su curva característica, se usa solamente el 37% debido a que la bomba está muy sobredimensionada para el sistema, lo que la hace muy deficiente al transferirle al fluido un exceso de potencia hidráulica que no requiere. Esto se evidencia con el aumento de la temperatura del fluido en la descarga de la bomba, el fluido en el tanque de la bomba está a temperatura ambiente 30°C y a la salida de la bomba se eleva hasta 70°C. En los eventos mecánicos reportados en este equipo, se encuentran vibraciones excesivas en la bomba, aumento de temperatura en bomba y motor y aumento en consumo de corriente por encima de la nominal de 56 Amperios, ocasionado por el exceso de potencia transferido por la bomba al fluido.

En Chiclayo – Perú en la Universidad Cesar Vallejo En La Facultad De Ingeniería, Escuela Profesional De Ingeniería Mecánica Eléctrica, Edin Medina Ilatoma realiza el trabajo titulado “Diseño De Un Sistema De Bombeo Automatizado Para Mejorar El Suministro De Agua En El Hospital Regional De Lambayeque” [3] enfocado en buscar solucionar la problemática de falta constante de agua. Esta investigación se basa principalmente en satisfacer la necesidad de agua potable del Hospital Regional de Lambayeque con el fin de que pueda contar con el servicio permanente y que se encuentre dentro de los parámetros admisibles que rige el reglamento de salubridad de la Organización Mundial de la Salud, (OMS). Para esto, realizó un diseño de un sistema de bombeo automatizado, determinando la demanda del recurso hídrico, seleccionando los

equipos electromecánicos para el sistema de bombeo automatizado y la evaluación económica del sistema

Otro caso muy referente, es presentado por (Pozo, Jaime & Calva, C., S.F), en el cual diseñan un banco de pruebas que cuenta con sistemas de tuberías por el que circula agua impulsada por una bomba. En este banco se controlan dos variables: caudal y presión. Para el control del caudal y de la presión fabricaron un sistema de lazo cerrado, en el cual el agua circula desde y hacia el tanque de reserva, se utilizan un rotámetro para la medición del caudal y la medición de presión se la realiza por medio de los manómetros. Para el control de las variables, diseñaron un sistema basado en la técnica del estrangulamiento con la ayuda de una válvula manual. Después de realizado el banco de pruebas, se obtienen resultados positivos a la hora de analizar las pérdidas por accesorios, como también se evidencia que si se utiliza un caudal por debajo de $1.1 \text{ m}^3/\text{h}$, no se puede observar el diferencial de presión. Esto se debe a que las presiones generadas por dichos caudales son tan bajas que no se puede apreciar en los manómetros, Para la simulación del banco de pruebas utilizaron el programa Pipe Flow Expert [4].

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Rediseñar el sistema hidráulico y eléctrico del proceso de cribado de una empresa avícola del suroccidente de Colombia.

2.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar la red actual de tuberías que alimentan las bombas del proceso de cribado y Proponer una nueva ruta de tubería del sistema hidráulico optimizada.
- Calcular las pérdidas hidráulicas del sistema anterior y del nuevo sistema, para comparar las cargas y demostrar que el nuevo diseño tendrá mejores resultados en el proceso.
- Diseñar el sistema eléctrico de arranque y control de las bombas, de acuerdo a las nuevas condiciones del sistema.

3. Justificación

El consumo masivo de productos avícolas ha impulsado a las empresas de sacrificio animal a restablecer e implementar nuevos sistemas y métodos de procesamiento para atender la masiva demanda del mercado. De acuerdo con Bohórquez Arévalo, V. D, el aumento en el consumo de estos productos se debe no solo a la producción efectiva de las diferentes empresas, sino al poder adquisitivo que se ha desplegado en la población colombiana [4], la cultura nacional se caracteriza por consumir mayormente la carne de pollo debido a sus componentes nutritivos, fácil acceso dentro del mercado y por su precio frente a otros tipos de carne.

Es así como las plantas de sacrificio avícola deberán garantizar la atención productiva en el sector, mediante la implementación de modelos y sistemas dinámicos en cada una de sus áreas de procesamiento. Además, deben implementar diversas medidas de control y vigilancia sanitaria para garantizar el cumplimiento de las regulaciones sanitarias nacionales y lo más importante, salvaguardar el bienestar y la salud del consumidor final. [5]

Se busca mediante este proyecto, rediseñar el actual sistema de hidráulico y eléctrico del proceso de cribado del área de sacrificio, siendo esta una de las etapas en las que se puede presentar mayor propagación y generación de contaminantes al producto además que optimizando correctamente este proceso se generara un ahorro energético, económico y de agua siendo de esta manera beneficioso para el medio ambiente.

Este estudio de mejora se divide en dos partes. La primera se enfoca en la parte hidráulica, donde se plantea diseñar una nueva distribución en las secciones de la tubería. Aquello permitiría reducir pérdidas por accesorios, tener un diámetro constante de tubería (en las secciones de retorno) y, con esto un mejor redimensionamiento en las bombas.

La segunda parte, se plantea mejorar los elementos pertenecientes al control, rediseñar de acuerdo con la potencia que requieran las nuevas bombas seleccionadas, reorganizar los elementos en una sola sección y mejorar las condiciones del arranque eléctrico para hacer más eficiente el

proceso.

4. Planteamiento del problema

Para ilustrar claramente en lo que la problemática a tratar radica se debe iniciar a hablar de cómo funciona el proceso después de que el ave alcanza su peso ideal en los criaderos para el sacrificio y posterior consumo, esta empresa para la logística del animal debe transportar el ave en canastas plásticas o jaulas plásticas comúnmente se conocen con el nombre de huacales las cuales son reutilizables, estas sirven para alojar 10 aves o más según sea su tamaño, debido a los largos recorridos del transporte del animal para llegar a su recepción para el sacrificio, estos defecan en estas cajas plásticas lo cual ocasiona el trabajo de tener que limpiarlas para nuevamente los camiones que se ocupan de la logística salir a traer más aves, ya que este es un proceso continuo las 24/7 por lo cual el tiempo es crucial y representa dinero, debido a esto el sistema actual presenta problemas de funcionamiento y paradas de proceso en el peor de los casos en ocasiones cuando el sistema falla mientras lo reparan este trabajo se debe hacer manual con agua limpia lo cual es una pérdida de recursos ya que el lavado de estas cajas se realiza con agua reutilizada el trabajo es constante y necesita estar planificado de la mejor manera, a causa de muchos ampliamentos locativos para mejorar espacio en el proceso se ha descuidado este sistema ,la solución ha sido cortar y empalmar tuberías con curvas y demás accesorios alargando de esta manera los recorridos iniciales, posterior a esto se generan deficiencias en el sistema como perdidas por accesorios recorridos innecesarios desgaste en general de todo lo relacionado a la labor incluyendo personal y maquinaria, por tal motivo se plantea el rediseño para mejorar y garantizar la correcta continuidad del proceso, posteriormente se describirá el trabajo de cada línea hidráulica:

En el proceso de lavado de huacales existen cuatro líneas de tuberías:

1. Lavador de guacales 1 a la criba 1: sección de 4" de diámetro y longitud de 18m. Alimentada por la bomba 1.
2. Lavador de guacales 2 a la criba 2: sección de 4" de diámetro y longitud de 18m. Alimentada por la bomba 2.
- 3.Retornos: criba 1 al lavador de guacales 1: sección de diferente diámetro (de 4" a 2 ½ ") y longitud de 18m. Alimentada por la bomba 3.
- 4.Retornos: criba 2 al lavador de guacales 2: sección de diferente diámetro (de 4" a 2 ½ ") y longitud de 18m. Alimentada por la bomba 4.

Todas las bombas son de 15HP impeler abierto, trifásicas y con arranque directo.

Las secciones 1 y 2 son las encargadas de llevar el agua residual del proceso de lavado, hasta la criba de filtrado (agua con excremento de las aves, plumas, entre otras), valga la aclaración la criba es un filtro en malla inoxidable que separa los sólidos del agua para que estos no contaminen más y afecte el proceso, Luego, el agua filtrada cae a un tanque y las secciones 3 y 4 llevan el agua filtrada nuevamente a la sección de lavado.

Uno de los problemas detectados es la inadecuada distribución de la tubería en este proceso, teniendo cambios de sección innecesarios y uniones en tramos rectos, donde el área y las longitudes de tubería podrían permitir una optimización de trazado de ésta. Esto se puede observar en la figura 1 donde se muestra un ejemplo de cambio de sección de la tubería.

Las áreas por las que pasa la tubería se pueden categorizar en tres: colgado, lavado y zona de cribas, donde cada zona tiene un área de 240m², 60m² y 40m² respectivamente. En la figura 2 se muestra algunas partes de la distribución de la tubería actual. La figura 3 muestra que, por una incorrecta posición de la bomba, hay uso excesivo de accesorios.

La parte eléctrica y de control, actualmente está en varios tableros y por arranque directo, lo que hace que el manejo de esta sección debido a que está disperso, y este manejo lo deba hacer personal que ya conocen bien el proceso. El arranque directo ocasiona un mayor consumo de corriente del motor.

Posteriormente se mostrará un recorrido con imágenes que ilustraran el recorrido del proceso para dar una mejor comprensión del funcionamiento de las zonas y de la problemática a tratar,

Inicialmente, las aves llegan a los descargadores donde luego son transportadas en las bandas.

Figura4. 1 *Recepción del animal en huacales*



Fuente de elaboración propia.

Las aves al estar en otro ambiente incluyendo la salida de la granja se estresan y defecan en las jaulas plásticas.

Figura4. 2 *Transporte en bandas para el inicio del proceso*



Fuente de elaboración propia.

En la figura 4,3 se observa una coloración azul que es la iluminación correcta utilizada en esta área con el propósito de disminuir el estrés de las aves y evitar que esto se vea reflejado en la cávida final del producto.

Figura 4. 3 *Recorrido del huacal para el colgado del animal*



Fuente de elaboración propia.

La figura 4.4 se muestra el lavado con agua a presión donde se le retira el material fecal del huacal, este proceso tiene 2 fases de lavado, posteriormente esta agua es bombeada a las cribas que se muestra en la figura 4.5

Figura4. 4 *Recorrido del huacal para el lavado en el lavador de huacales*



Fuente de elaboración propia.

Figura 4. 5 *Cribas para el filtrado del agua de bombeo y reutilización en el proceso*



Fuente de elaboración propia.

En la figura 4.6 se observa la reparación de un daño en la bomba del lavador de huacales 1 para esto se requiere que 2 operarios terminen de lavar manualmente los huacales hasta que se restablezca el equipo está parada es de aproximadamente 2 horas.

Figura 4. 6 Daño de la bomba del lavador de huacales 1



Fuente de elaboración propia

En la figura 4.7 se muestra el cambio de sección de la tubería para adaptarla con el recorrido, lo correcto es seguir con la misma tubería que trae la bomba, también se observa un codo en la succión del tanque y la buena práctica de instalación es utilizar un niple recto para evitar poner un cambio de dirección innecesario.

Figura 4. 7 *Ejemplo cambio de sección de tubería*



Fuente de elaboración propia.

En la figura 4.8 lo mejor es llevar la tubería hasta la criba así evitar la instalación de los codos.

Figura 4. 8 *Mala distribución de accesorios (instalación doble codo).*



Fuente de elaboración propia.

En la figura 4.9 Girando 90 grados la bomba se evitaría instalar varios accesorios, un codo en la succión y un codo en la descarga

Figura 4. 9 *Dos codos que conectan entrada y salida de la bomba.*



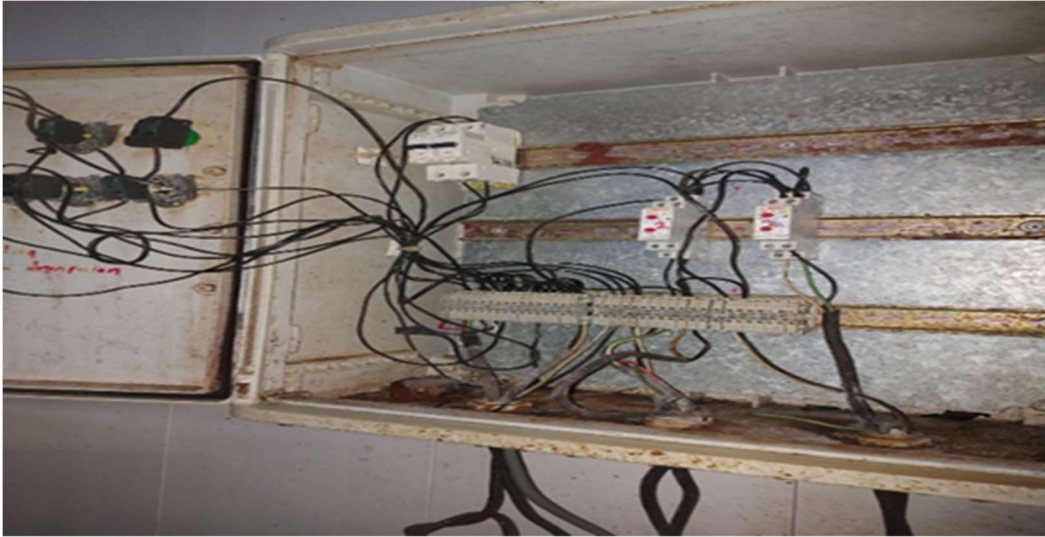
Fuente de elaboración propia.

Figura 4. 10 *Los arranques directos de los motores.*



Fuente de elaboración propia.

Figura 4. 11 Estación de mando con mala distribución y deteriorada.



Fuente de elaboración propia.

Por otro lado, la parte eléctrica y de control, actualmente se encuentra en varios tableros lo que requiere que el personal se esté desplazando continuamente por la sección, la disposición del tablero se encuentre por arranque directo, lo que ocasiona un mayor consumo en corriente (Ver figura 4.10). Se ha evidenciado que los arranques directos llegan a consumir de 5 a 7 veces la corriente nominal del motor y reducen el tiempo de vida útil del mismo. En la Figura 4,11, se muestra un tablero de control deteriorado.

De acuerdo al problema anteriormente expuesto dentro de la empresa objetiva de estudio, se plantea la siguiente pregunta de investigación. ¿Cómo se puede redistribuir el sistema hidráulico y eléctrico en su sistema de conexiones y control, para que la empresa AVIDESA S.A. en su área de cribado pueda optimizar su uso de energía?

5. Marco teórico

5.1 Ecuación general de la energía

Con esta ecuación se puede calcular la pérdida de energía generada en un sistema debido a la fricción del fluido en las paredes de las tuberías, a la fricción ocasionada por accesorios como lo son válvulas, codos, uniones, recorridos complejos etc., las pérdidas energéticas asociadas a estos dispositivos, se resta a la energía añadida al sistema por parte de la bomba:

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A + h_R + h_L = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad \text{Ecuación 5.1}$$

$\frac{p}{\gamma}$ es la carga de presión, z es la carga de altura, $\frac{v^2}{2g}$ es carga de velocidad, h_A energía añadida al fluido mediante una bomba o carga total de la bomba, h_R energía removida del sistema por medio de un elemento mecánico, como por ejemplo una turbina, h_L son las pérdidas ocasionadas al sistema por fricción del fluido en las tuberías por fricción del fluido con válvulas y accesorios, los subíndices 1-2 se refiere a dos puntos de interés cualquiera en el sistema preferiblemente se escogen puntos en los que se tendrán datos de referencia como altura, presión etc.

5.2 Pérdida de energía hidráulica por fricción y accesorios

La ecuación de Bernoulli (1738), no considera las pérdidas de energía hidráulica en tuberías, pero el ingeniero francés Henri Darcy adaptó estos conceptos (1897), h_L se define como la pérdida de energía en el sistema que sirve para calcular pérdidas en tramos largos y cortos, esta pérdida se relaciona en la siguiente ecuación: ecuación de Darcy-Weisbach.

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ecuación 5.2}$$

Coefficiente de pérdida de cada accesorio K (White, 1968) con utilidad en sistemas de tuberías debido a la presencia de codos, válvulas, reducciones.

$$h_L = k \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad \text{Ecuación 5.3}$$

h_L =perdida de energía debido a la fricción (N*m/N, m, lb-ft o ft)

L=longitud de la corriente de flujo (m o ft)

D=diámetro de la tubería (m o ft)

V= velocidad de flujo promedio (m/s o ft/s)

f = factor de fricción adimensional

g = es la aceleración de la gravedad

En la ecuación de Darcy se vinculan las variables coherentes para calcular las pérdidas de energía hidráulica ya sea de flujo laminar o turbulento en diferentes secciones de tubería redonda. El factor de fricción (f), se puede determinar por medio del diagrama de Moody en función de las variables: número de Reynolds (Re) y la rugosidad relativa. El número de Reynolds es una medida de la velocidad del fluido y la rugosidad relativa es una medida de la aspereza de la superficie interna de la tubería, este diagrama es útil porque permite determinar el factor de fricción a partir de características de la tubería y del fluido sin necesidad de realizar cálculos complejos, con el factor de fricción se puede determinar las pérdidas de carga en el sistema hidráulico y por lo tanto, la presión real del fluido en la tubería.

5.3 Numero de Reynolds

El número de Reynolds es una cantidad adimensional que se utiliza para determinar el tipo de flujo que se produce en una tubería o canal de sección transversal cerrada, el valor obtenido determina si el flujo es laminar (flujo suave y ordenado) o turbulento (flujo agitado y desordenado,

cuando el número de Reynolds es inferior a 2000 el flujo es laminar y cuando supera los 4000 el flujo es turbulento.

$$R_e = \frac{vD\rho}{\mu}, \text{Rugosidad relativa} = \frac{\varepsilon}{D} \quad \text{Ecuación 5.4}$$

R_e = número de Reynolds

ρ = densidad del fluido

μ = viscosidad dinámica del fluido

V = velocidad del flujo

D = diámetro interno de la tubería

ε = rugosidad del material

Factor de fricción para flujo laminar

$$f = \frac{64}{N_R} \quad \text{Ecuación 5.5}$$

Factor de fricción para flujo turbulento

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1 + 5.74}{3.7(D/\varepsilon) N_R^{0.9}} \right) \right]^2} \quad \text{Ecuación 5.6}$$

5.4 Fricción del fluido

Un fluido en movimiento por una tubería ocasiona fricción con las paredes del ducto esto se convierte en energía térmica la cual se disipa a través de las paredes del tubo, la magnitud de esta pérdida depende de las propiedades del fluido la velocidad de flujo, el tamaño de la tubería, la rugosidad de las paredes de la tubería y su longitud.

5.5 Definición maquina hidráulica

Una máquina es un transformador de energía, Por lo tanto, las máquinas hidráulicas son aquellas en las que el fluido, o bien suministra la energía que absorbe la máquina (modo turbina), o bien el fluido es el receptor de la energía suministrada por la máquina (modo bomba) y que siempre se transmite de forma mecánica (Torque).

Su finalidad es la conversión eficiente de energía en todas las aplicaciones posibles. La baja eficiencia significa pérdida de dinero y/o recursos.

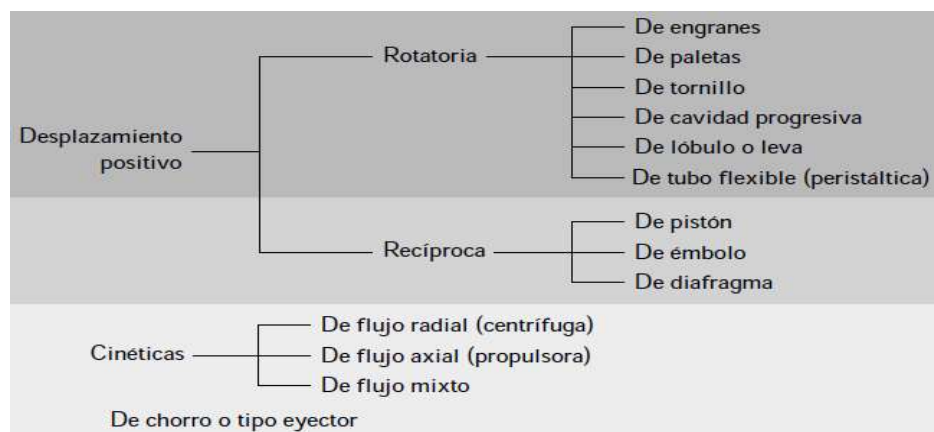
5.6 Bomba hidráulica

Es un dispositivo mecánico que añade energía a un fluido con la ayuda de un motor eléctrico u otro dispositivo giratorio, y transfiere esta energía cinética al fluido en movimiento y a su vez este incrementa su presión, Entre la succión y descarga, la dirección y magnitud de la velocidad cambia al atravesar el impulsor. [6] De esta manera, existe un cambio de energía cinética, Sirven para impulsar toda clase de líquidos (agua, aceites, ácidos, combustibles, líquidos espesos con sólidos en suspensión, etc.)

5.7 Clasificación maquinas hidráulicas

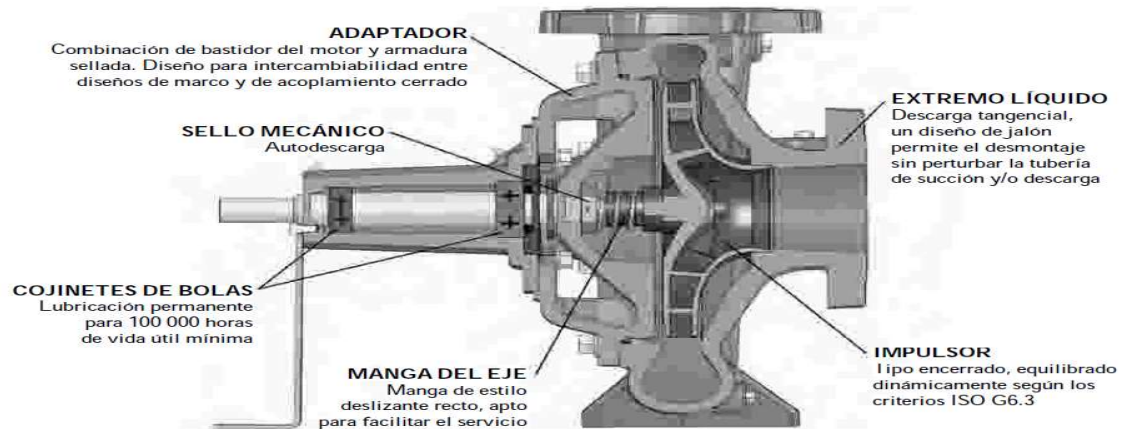
Una maquina hidráulica tiene varias características que permiten clasificarla según varios criterios, para seleccionar una bomba se deben tener en cuenta varios factores, como el fluido se desea bombear, su temperatura, viscosidad, y sobre todo la presión requiere el sistema, el tipo de sistema al que la bomba entrega el fluido, la carga total de la bomba h_A (ecuación de la energía) etc.

Figura 5.12: Clasificación maquinas hidráulicas.



Fuente mecánica de fluidos séptima edición, Robert L. mott-Joseph A. Untener

Figura 5. 12 Vista seccional de una bomba centrífuga.



Fuente mecánica de fluidos séptima edición, Robert L. mott-Joseph A. Untener.

5.8 Leyes de afinidad para bombas centrífugas

De acuerdo a las leyes de afinidad, las bombas centrífugas en general tienen la facilidad de cambiar su capacidad o caudal, de acuerdo con variaciones de su velocidad operacional o del diámetro del impulsor [7].

- Caudal Q y velocidad angular N

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \text{Ecuación 5.7}$$

- La velocidad de carga total h_a , con el cuadrado del cociente entre las velocidades operacionales de la bomba:

$$\frac{h_{a1}}{h_{a2}} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \quad \text{Ecuación 5.8}$$

- la potencia requerida por la bomba cambia con el cubo del cociente entre las velocidades operacionales de la bomba:

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 \quad \text{Ecuación 5.9}$$

-la capacidad de la bomba varia al cambiar el diámetro del impulsor.

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{D_1}{D_2} \quad \text{Ecuación 5.10}$$

-La carga total varia con el cuadrado del diámetro del impulsor.

$$\frac{h_{a1}}{h_{a2}} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2 \quad \text{Ecuación 5.11}$$

-la potencia requerida por la bomba cambia con el cubo del diámetro del impulsor

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3 \quad \text{Ecuación 5.12}$$

6. NPSHa, NPSHr y cavitación

6.1 Carga de succión positiva neta disponible (NPSHa)

Las siglas en ingles NPSHR significan: net positive suction head, es la energía hidráulica proveniente la diferencia entre la presión atmosférica y la succión mínima requerida para lograr un flujo constante de líquido, lo cual es un aspecto crítico para evitar la cavitación del fluido que entra en la bomba. Es importante resaltar que el dato de NPSHa es entregado por el diseñador del sistema de tuberías o por las condiciones hidráulicas de una instalación existente [8].

6.2 Cavitación

La zona de mejor presión en el fluido contenido en una bomba es la succión y allí es donde el fluido por falta de presión exterior puede cavitarse, es decir, cambiar de líquido a gas de forma súbita y si la bomba es operada con dicha condición se pueden presentar altas vibraciones y daños de la bomba.

6.3 Carga de succión positiva neta requerida ($NPSH_R$)

Es la energía necesaria que debe tener el fluido para sobrellevar las pérdidas por fricción desde la entrada de la succión de la bomba hasta el ojo del impulsor sin que ocurrirá cavitación, esta condición generalmente la proporciona el fabricante y varía según los requerimientos del sistema y el tipo de bomba y generalmente se registra en las curvas de cada modelo de bomba de acuerdo a la variación de su caudal operacional.

7. Motores eléctricos

Los motores eléctricos son máquinas que convierten la energía eléctrica en energía mecánica por medio de campos electromagnéticos generados por la corriente eléctrica se componen de un bobinado o imanes que al interactuar con un rotor producen trabajo [9]. Se clasifican en motores de corriente continua (CC) y de alterna (AC). Los motores de corriente alterna se alimentan de una corriente que varía cíclicamente en el tiempo, según el número de fases de alimentación pueden ser monofásicos, bifásicos o trifásicos, y según su velocidad de giro pueden ser síncronos o asíncronos.

Los motores síncronos poseen imanes excitados con corriente continua montados sobre el rotor, mientras que las bobinas alimentadas con corriente alterna trifásica se montan sobre el estator. En este tipo de motores el campo magnético y el rotor tienen la misma velocidad de giro [10]. En los motores asíncronos o de inducción, no existe una corriente conducida hacia el devanado del rotor, pues dicha corriente se debe a la fuerza electromotriz inducida por el campo giratorio. En los motores asíncronos la velocidad de giro del rotor es ligeramente menor a la del campo magnético. Esto, por su construcción simple, peso ligero, volumen mínimo, bajo costo y poco mantenimiento [11].

7.1 Selección del motor

La potencia estática (P_{est}) en condiciones permanentes de carga y velocidad, en función de la potencia de carga nominal (P_{carga}) en Vatios y la eficiencia del motor (η). la potencia de carga nominal corresponde a la potencia neta que le entre a la bomba.

$$(P_{carga} = PTC).$$

Ecuación 7.13

Determinar la potencia mecánica real (P_{real}), multiplicando la potencia estática por un factor de servicio (C_s). En aplicaciones en las que las condiciones de carga y los ciclos de trabajo no son conocidos con exactitud, se puede usar un factor de servicio $C_s = 1.5$. Mediante el catálogo del fabricante, se selecciona

el motor cuya potencia nominal sea igual o mayor que la potencia real. Escoger la velocidad de giro necesaria para la aplicación (900, 1200, 1800 y 3600 RPM para motores de 60 Hz).

$$P_{real} = P_{est}C$$

Ecuación 7.14

La inercia del motor (I_m) depende de su configuración interna. La aceleración angular promedio se puede determinar como la velocidad angular (ω) alcanzada en el tiempo de puesta en marcha (t_{pm})

$$\alpha = \frac{\omega}{t_{pm}}$$

Ecuación 7.15

8. Arrancadores suaves

EL arrancador suave es un dispositivo utilizado generalmente en la industria para arrancar o poner en funcionamiento motores eléctricos de forma controlada y gradual evitando de esta forma sobrecargas que se producen cuando funcionan de manera directa, este dispositivo reduce la corriente de arranque al aplicar una tensión y frecuencia menor al motor durante el inicio lo que permite un arranque controlado, este equipo internamente posee un controlador electrónico que regula la tensión y la frecuencia que se entrega al motor mediante rampas programables, esto reduce la fatiga y el desgaste al motor y a los componentes que integran el sistema, también reduce el consumo eléctrico al minimizar la corriente durante el arranque [12]

9. Criterio para seleccionar un arrancador suave:

- La potencia del motor a controlar
- Tensión eléctrica disponible en la instalación eléctrica.
- Corriente y frecuencia nominal.
- Tipo de carga a operar.
- El ambiente y tipo de cerramiento donde se instalará.
- Tipos de comunicación requeridas: ethernet, profibus, etc.
- Tipo de arranque normal o pesado, ya que un tiempo de arranque prolongado implica un mayor desgaste de todos los equipos asociados.
-

9.1 Clase de arrancadores

Clase 10: Arranque normal, los arrancadores en esta clase están diseñados para un arranque de 20 segundos con una corriente de $350\% \times I_n$. Comúnmente se usan en bombas ventiladores, bandas.

Clase 20: arranque pesado, los arranques están pensados con un promedio de duración de 40 segundos con una corriente de $350\% \times I_n$. Frecuentemente usados en fresadoras mezcladoras.

Clase 30: arranque extrapesado, los arranques para este equipo se pueden realizar en el tiempo de 60 segundos, con una corriente de $350\% \times I_n$. Su uso más común es en molinos, trituradoras.

10. Diseño Metodológico

Para el desarrollo de la anterior pregunta de investigación se propone la siguiente metodología, la cual se encuentra constituida por 4 fases:

Fase 1. Diagnóstico de la red actual de tuberías: Estas redes son las que alimentan las bombas en el proceso de cribado

- Medición de las cuatro líneas de tubería actual (longitud).
- Contabilización de los accesorios que hay en las diferentes líneas.
- Revisión de los cambios de sección de las actuales líneas de tubería.
- Revisión de los materiales de las tuberías (algunas están en PVC, otras están en galvanizada)
- Revisión del sistema de accionamiento eléctrico de cada bomba.
- Análisis de las áreas donde se distribuye la tubería para revisar por donde se puede hacer el trazado de las nuevas tuberías.

Fase 1.1. Propuesta del diseño óptimo para la nueva ruta de la tubería del sistema hidráulico.

- Trazado de las tuberías de cada sección, determinar la cantidad de accesorios necesarios para el diseño.
- Cálculo del diámetro óptimo de la tubería de acuerdo a las necesidades del sistema.

Fase 2. Análisis de las pérdidas hidráulicas: Comparación de las cargas entre el sistema actual y el sistema propuesto.

- Cálculos de las pérdidas menores por accesorios: Codos transiciones de tubería, uniones, válvulas y rugosidad interna de la tubería actual.
- Cálculos de las pérdidas menores por accesorios: Codos transiciones de tubería, uniones, válvulas y rugosidad interna de la tubería proyectada
- Comparación de las pérdidas de ambos sistemas. Así se conocerán las mejoras y se determina la reducción de pérdidas con la nueva propuesta.

Fase 3. Selección de los nuevos equipos y accesorios para el nuevo diseño del sistema:**Bombas.**

- Cálculo de carga de la bomba de acuerdo a las pérdidas de la tubería, se tiene en cuenta la diferencia de presiones y altura requerida.
- Comparación de la carga con la bomba actual en cada línea hidráulica.
- Selección de la bomba por catálogo de acuerdo a los cálculos obtenidos.

**Fase 4. Desarrollo del diseño del sistema eléctrico de potencia y control de las bombas:
Análisis de la redistribución de las acometidas de potencia y la determinación del control en un solo tablero.**

- Diseño de las conexiones eléctricas para el sistema hidráulico y la realización de los planos correspondientes.
- Cálculo de conductores y protecciones para el sistema eléctrico.
- Cálculo de la cantidad de materiales a utilizar para la mejora eléctrica.
- Realización del programa en el PLC que se debería tener para el control de los arrancadores de las bombas.

10.1 Resultados y análisis de resultados

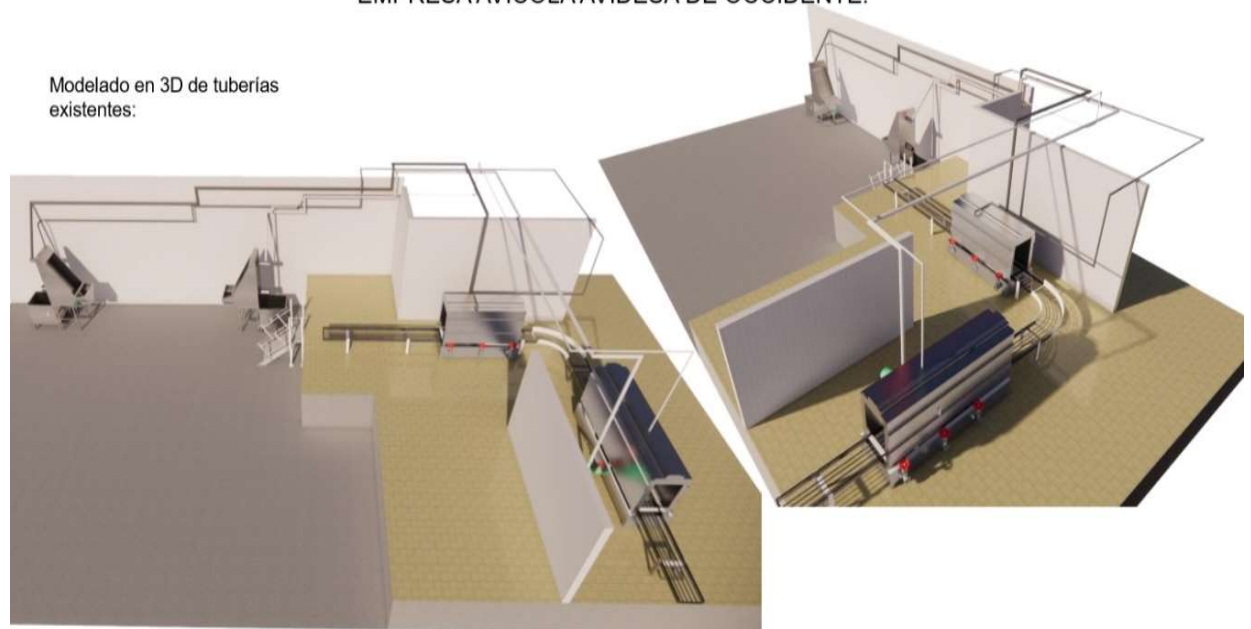
Fase 1. Diagnóstico de la red actual de tuberías: Estas redes son las que alimentan las bombas en el proceso de cribado.

Para contextualizar la problemática, se realizó un diseño 3D de la red hidráulica actual, donde se ubican cada una de las propuestas en las que es posible mejorar.

La figura 9.14 muestra una distribución de las líneas hidráulicas y la distribución actual de las mismas desde una vista superior.

Figura 9.13 *Vista 3D tubería actual.*

REDISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO Y ELÉCTRICO DEL PROCESO DE CRIBADO DE LA EMPRESA AVÍCOLA AVIDESA DE OCCIDENTE.

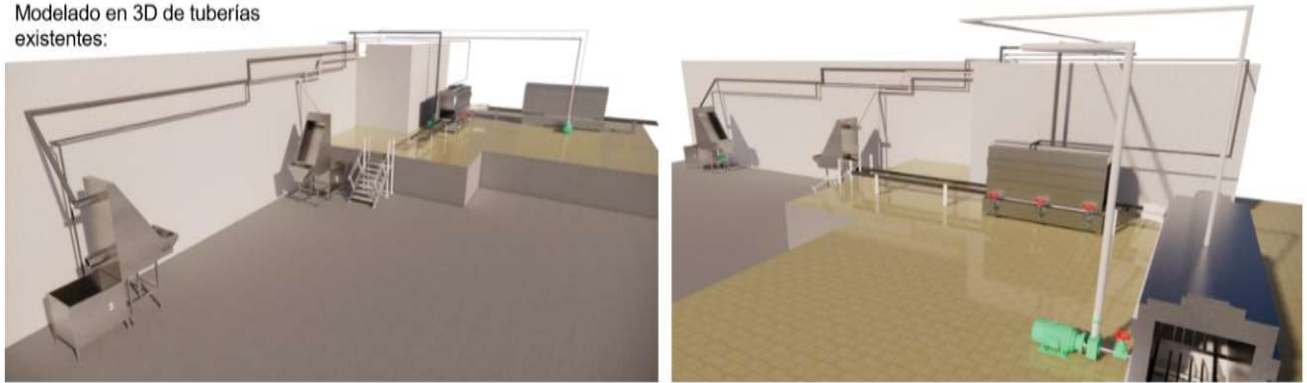


Fuente de elaboración propia

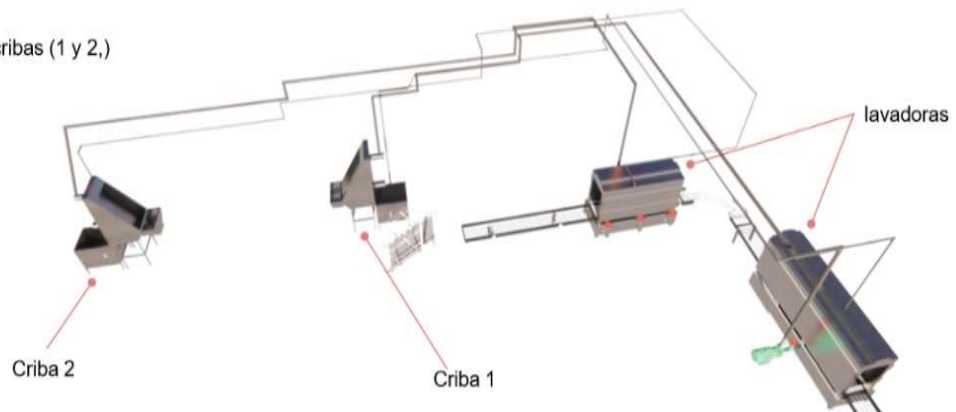
La figura 9.15 muestra una vista lateral donde se ven las líneas hidráulicas y su distribución.

Figura 9.14 *Vista 3D tubería actual,*

Modelado en 3D de tuberías
existentes:



Recorrido de tubería, cribas (1 y 2,
huacales:

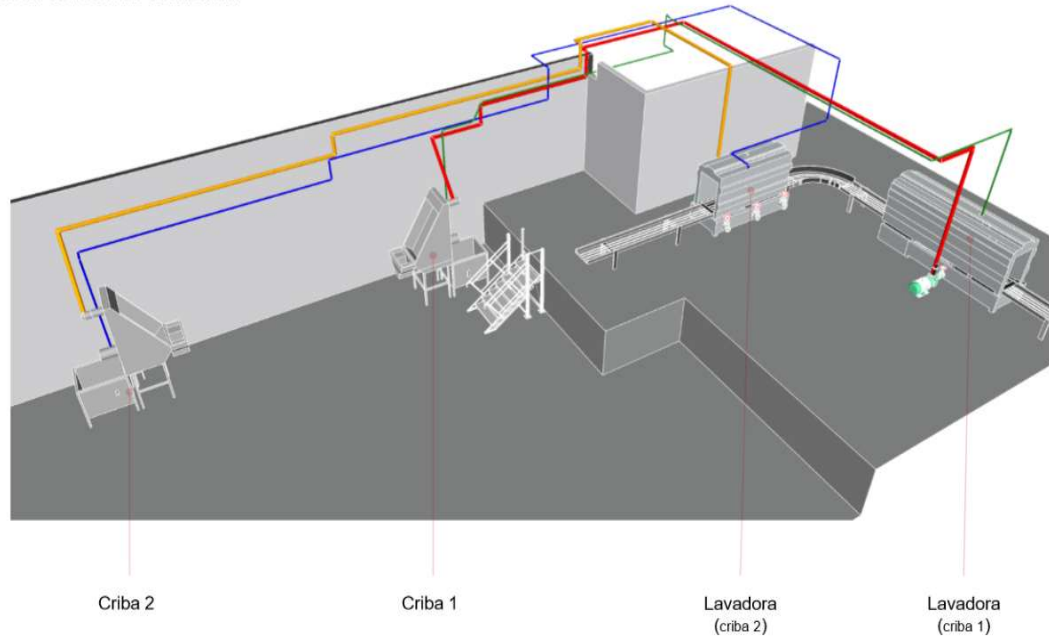


Fuente de elaboración propia.

En la figura 9.16 se resaltan las 4 líneas hidráulicas existentes y evidencia su distribución

Figura 9.15 *Vista 3d superior*

Vistas en 3D recorrido de tuberías:

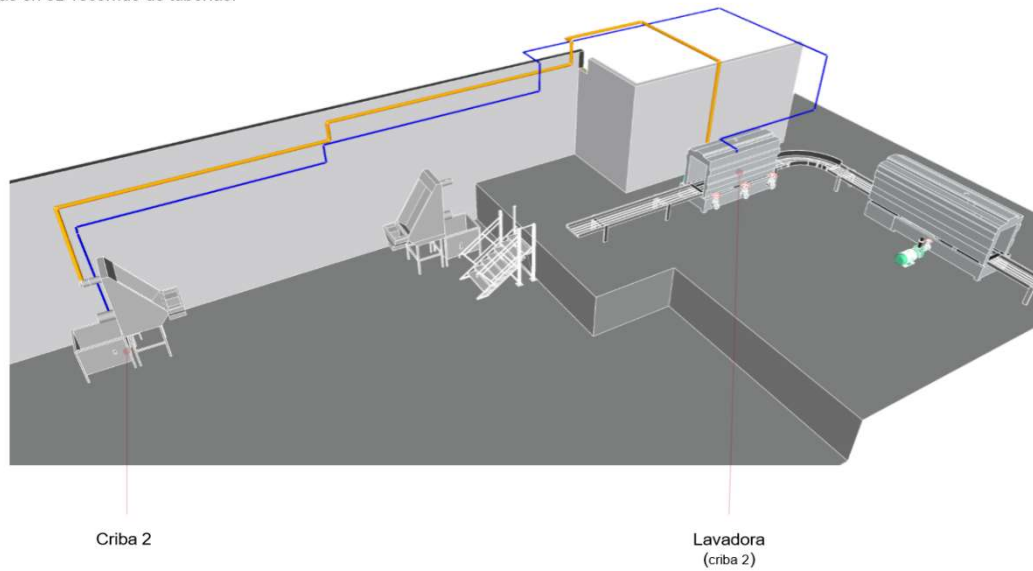


Fuente de elaboración propia.

En la figura 9.17 se resaltan de color azul y amarillo las líneas hidráulicas del lavador de huacales 2 y la criba 2 aquí también se muestra su ubicación actual.

Figura 9.16 *Vista 3D superior*

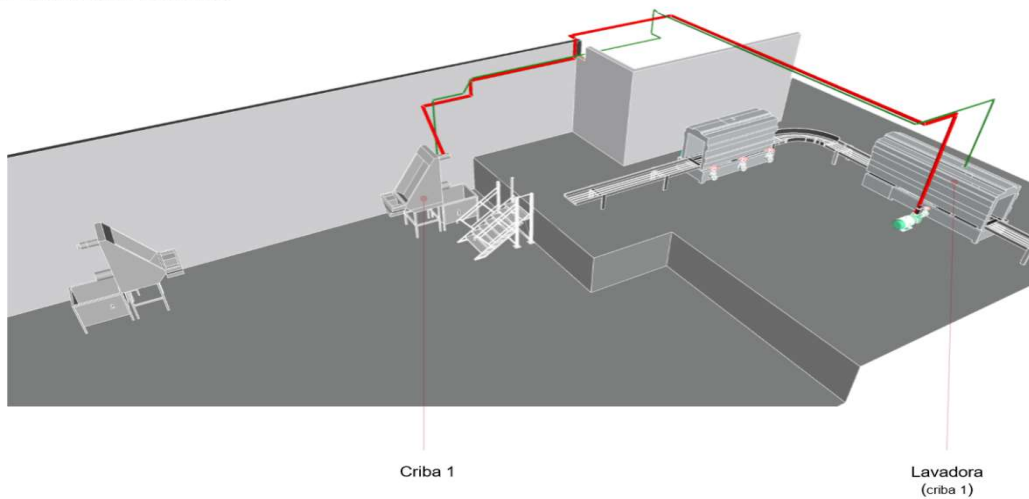
Vistas en 3D recorrido de tuberías:



Fuente de elaboración propia.

Figura 9.17 *Vista 3D tubería actual lavador de huacales 1 criba 1.*

Vistas en 3d recorrido de tuberías:



Fuente de elaboración propia.

A continuación, se presentan los diseños del recorrido de las tuberías y accesorios de la red actual con las posibles líneas hidráulicas a mejorar, se enumeran los elementos que componen la succión de la red actual.

Tabla 9.1 Línea hidráulica de succión actual

Succión tubería existente					
Recorrido de tubería desde la bomba de la :	material	Ø	valvula globo	codo 90°	longitud de la tubería
lavadora h. #1 a criba#1	pvc	4"	1	1	70cm
lavadora h. #2 a criba#2	PVC	4"	1	1	90cm
criba#1 a la lavadora h. #1	cedula 40	2"	1	1	140cm
criba#2 a la lavadora h#. 2	cedula 40	2"	1	1	90cm

Fuente de elaboración propia.

La siguiente tabla muestra un inventario de los accesorios instalados en cada línea de las tuberías de descarga y posteriormente también muestra la longitud de cada recorrido hidráulico.

Tabla 9.2 Línea hidráulica de descarga actual

Descarga tubería existente							
Recorrido de tubería desde la bomba de la :	material	Ø	codos 45°	codos 90°	valvula check	union T	longitud de la tubería
lavadora h. #1 a criba#1	pvc	4"	0	10	0	0	32.7 m
lavadora h. #2 a criba#2	PVC	4"	1	8	0	0	29.7
criba#1 a la lavadora h. #1	ceula 40	2"	2	8	1	1	37.9m
criba#2 a la lavadora h#. 2	cedula 40	2"	3	11	0	1	34.2 m

Fuente de elaboración propia.

La siguiente tabla contiene ecuaciones para calcular las pérdidas primarias en la succión y descarga con datos como Q= caudal, Di=diámetro interno de las tuberías, longitud, NR =número de Reynolds, f=factor de fricción, velocidad cinemática, con estos datos encontramos las pérdidas primarias.

Tabla 9. 3 Ecuaciones formuladas en Excel para los cálculos hidráulicos.

DATOS SUCCION										
PERDIDAS	Q		Di	Area	Longitud	Vel	Visc Cinem	NR	f	HL prim
PRIMARI	0.03		0.1023	8.219E-03	0.4	3.650	8.03E-07	464,986	0.01331	0.04
	Gravedad =	9.8			energia de velocidad	0.68				
DATOS DESCARGA										
PERDIDAS	Q		Di	Area	Longitud	Vel	Visc Cinem	NR	f	HL primarias
PRIMARI	0.03		0.1034	8.40E-03	18	3.571	8.03E-07	459,951	0.01333	1.51
					energia de velocidad	0.65				

Fuente de elaboración propia

La siguiente tabla 9.4 contiene los cálculos obtenidos de las pérdidas primarias de las líneas hidráulicas existentes tanto en la succión como en la descarga.

Tabla 9.4 Datos técnicos de la instalación tubería existente.

hL Primarias tubería existente										
Recorrido de la tubería desde la bomba de la :	unidad de medida SI	formula	Lavadora h.# 1 a la criba #1		Lavadora h.# 2 a la criba #2		Criba #1 a la lavaora h. #1		criba #2 a la lavadora h. #2	
	/	/	succion	descarga	succion	descarga	succion	descarga	succion	descarga
Material de la tubería	/	/	cedula 40	pvc	cedula 40	pvc	cedula 40	cedula 40	cedula 40	cedula 40
diametro en pulgadas	/	/	4	4	4	4	2	2	2	2
diametro interno =	Di = m	tabla	0.1023	0.10342	0.1023	0.10342	0.0525	0.0525	0.0525	0.0525
Area	A= m ²	A=πr ²	8.213*10 ⁻³	8.4*10 ⁻³	8.213*10 ⁻³	8.4*10 ⁻³	2.168*10 ⁻³	2.168 *10 ⁻³	2.168*10 ⁻³	2.168*10 ⁻³
rugosidad de la tubería=	ε=m	tabla	4.6*10 ⁻⁵	3*10 ⁻⁷	4.6*10 ⁻⁴	3*10 ⁻⁷	4.6*10 ⁻⁵	4.6*10 ⁻⁵	4.6*10 ⁻⁵	4.6*10 ⁻⁵
peso especifico=Pe	γ=KN/m ³	tabla	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77
caudal	Q=m ³ /s	Q=V/t	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
velocidad=	m/s	v=Q/A	3.7	3.6	3.7	3.6	3.7	6.25	3.7	6.25
energia de velocidad =	Cj=m	Cj=V ² /2g	0.7	0.6	0.7	0.6	0.7	2	0.7	2
longitud	L=m	/	0.7	32.7	0.9	29.7	1.4	37.9	0.9	34.2
viscociudad cinematica Vcin=	v=m/s	tabla	8.03*10 ⁻⁷	8.03*10 ⁻⁷	8.03*10 ⁻⁷	8.03*10 ⁻⁷	8.03*10 ⁻⁷	8.03*10 ⁻⁷	8.03*10 ⁻⁷	8.03*10 ⁻⁷
pérdidas primarias hL	hL=m	/	0.08	2.74	0.1	2.49	5.09	137.82	3.27	24.37

Fuente de elaboración propia.

La siguiente tabla 9.5 contiene los datos de las pérdidas secundarias en la succión en las líneas hidráulicas existentes que son las pérdidas provocadas por los accesorios, la tabla muestra los datos obtenidos después de los cálculos, cada columna muestra la fórmula utilizada para cada dato obtenido.

Tabla 9.5 *hL secundarios en la succión tubería existente.*

hL secundarias en succión tubería existente											
	diámetro tubería			longitud equivalente		sumatoria	factor de fricción de pérdidas secundarias ,medida adimensional	energía de velocidad en metros	unidad de medida m	unidad de medida m	pérdidas secundarias
Recorrido de tubería desde la bomba de la :	Ø	accesorio	cantidad	Le/D	k		$f_T = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{1}{3.7\left(\frac{D}{\epsilon}\right)}\right)\right)^2}$	CJ=V ² /2g	hL=Le/D*Ft*	hL =k(v ² /2g)	unidad medida = m
lavadora h. #1 a criba#1	4"	codo 90°	1	30	/	30	0.016	2	0.96	/	
		valvula globo	1	340	/	340	0.016	2	10.88	/	
		coeficiente de entrada	1	/	0.5	0.5	0.016	2	/	1	12.84
lavadora h. #2 a criba#2	4"	codo 90°	1	30	/	30	0.016	2	0.96	/	
		valvula globo	1	340	/	340	0.016	2	10.88	/	
		coeficiente de entrada	1	/	0.5	0.5	0.016	2	/	1	12.84
criba#1 a la lavadora h. #1	2"	codo 90°	1	30	/	30	0.016	2	0.96	/	
		valvula globo	1	340	/	340	0.016	2	10.88	/	
		coeficiente de entrada	1	/	0.5	0.5	0.016	2	/	1	12.84
criba#2 a la lavadora h# 2	2"	codo 90°	1	30	/	30	0.016	2	0.96	/	
		valvula globo	1	340	/	340	0.016	2	10.88	/	
		coeficiente de entrada	1	/	0.5	0.5	0.016	2	/	1	12.84

Fuente de elaboración propia.

La siguiente tabla 9.6 contiene los datos de las pérdidas secundarias en la descarga en las líneas hidráulicas existentes que son las pérdidas provocadas por los accesorios, la tabla muestra los datos obtenidos después de los cálculos, cada columna muestra la fórmula utilizada para cada dato obtenido.

Tabla 9.6 *hl secundarios en la descarga tubería existente.*

hL secundarias en descarga tubería existente										
Recorrido de tubería desde la bomba de la :	accesorio	cantidad	longitud equivalente Le/D	K	sumatoria Le/D	factor de fricción de pérdidas secundarias, medida adimensional $f_r = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{1}{3.7\left(\frac{D}{\epsilon}\right)}\right)\right)^2}$	energía de velocidad en metros CJ=V ² /2g	unidad de medida en metros L=Le/D*Ft*C	unidad de medida en metros h L=k*CJ	pérdidas secundarias unidad de medida = m
lavadora h. #1 a criba#1	codo 45°	1	16	/	16	0.0068	0.66	0.071808	/	
	codo 90°	10	30	/	300	0.0068	0.66	1.3464	/	
	coeficiente de entrada	1	0	1	1	0.0068	0.66	/	0.66	2.078208
lavadora h. #2 a criba#2	codo 45°	1	16	/	16	0.0068	0.66	0.071808	/	
	codo 90°	8	30	/	240	0.0068	0.66	1.07712	/	
	coeficiente de entrada	1	0	1	1	0.0068	0.66	/	0.66	1.808928
criba#1 a la lavadora h. #1	codo 45°	2	16	/	32	0.017	1.99	1.08256	/	
	codo 90°	8	30	/	240	0.017	1.99	8.1192	/	
	valvula check	1	100	/	100	0.017	1.99	3.383	/	
	union T	1	20	/	20	0.017	1.99	0.6766	/	
	coeficiente de entrada	1	0	1	1	0.017	1.99	/	1.99	15.25136
criba#2 a la lavadora h#. 2	codo 45°	3	16	/	48	0.017	1.99	1.62384	/	
	codo 90°	11	30	/	330	0.017	1.99	11.1639	/	
	union T	1	20	/	20	0.017	1.99	0.6766	/	
	coeficiente de entrada	1	0	1	1	0.017	1.99	/	1.99	15.45434

Fuente de elaboración propia.

10.2 Diagnóstico de la red eléctrica actual

Los tableros eléctricos cajas o gabinetes del área, actualmente cuentan con dispositivos de maniobra, comando y medición. Sin embargo, estos se encuentran en diversos tableros, tal como lo muestra en el cuadro anterior. Esto dificulta al personal nuevo realizar las labores de revisión de emergencia. De acuerdo a la norma RETIE literal 20.23 pagina 127, se expone que los requerimientos de seguridad contra sobrecarga y diseño, la instalación de los motores debe estar con su respectiva guarda y código de colores.

Los siguientes elementos eléctricos están instalados en los distintos tableros del ccm (cuarto de control y mando) del área de sacrificio en la columna 6 de izquierda a derecha donde se especifica su ubicación también los guardamotores, corriente y voltaje de trabajo, para cada línea respectivamente.

La tabla 9.7 contiene información de los guardamotores actuales potencia de las bombas, y el calibre del conductor voltaje de alimentación.

Tabla 9.7 Datos eléctricos instalación actual.

Datos electricos actuales										
	guardamotor	marca	contactor	marca	tablero	motor	cable potencia	control	V de trabajo	I de trabajo
línea huacalera 1	Q30 -20-25A	schneider	CM30 -LC1D1	schneider	1/ 440V sacrificio	15 HP	12 AWG	varilevel	L1 422.7 /L2 423.1/L3 427.5	I1 9.2/I2 10.4/I3 10.4
línea criba 1	Q6 -20 a 25A	schneider	CM6- LC1D2	schneider	3/440V sacrificio	15 HP	12 AWG	varilevel	L1 425.4 /L2 423.1/L3 427.2	I1 5.4/I2 6.7/I3 6.4
línea huacalera 2	Q32 -17 a 23A	schneider	CM32 -LC1D1	schneider	1/440V sacrificio	15 HP	12 AWG	varilevel	L1 423.9/L2 424.6/L3 429.8	I1 8.3/I2 9.2/I3 9.7
línea criba 2	Q8 -18 a 18A	schneider	CM18 -LC1D3	schneider	3/440V sacrificio	15 HP	12 AWG	varilevel	L1 425.1/L2 424.6/L3 429.8	I1 5.5/I2 6.6 /I3 6.5

Fuente de elaboración propia.

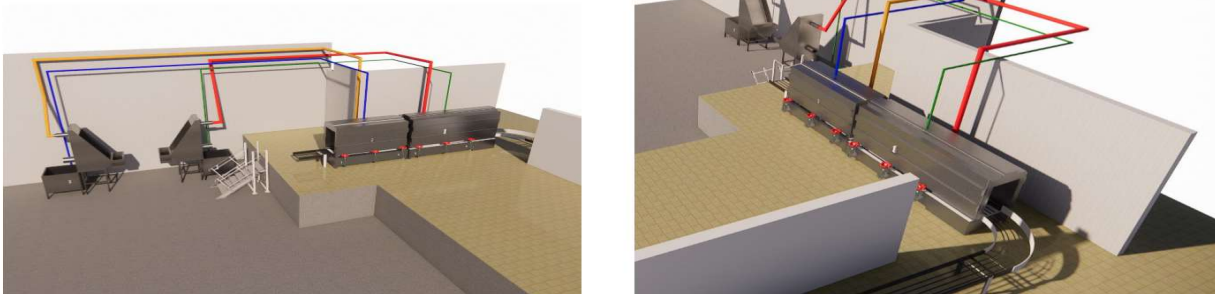
Fase 1.1. Propuesta del diseño óptimo para la nueva ruta de la tubería del sistema hidráulico.

A continuación, se presenta un diseño 3D de la figura 9.19, realizado con el programa sketchup y render, el cual da una visión más amplia de la propuesta mejorar la red hidráulica actual. Una vez se implemente la propuesta del diseño se analiza la disposición de los elementos hidráulicos y eléctricos en el sitio, aquí se resaltan las tuberías con distintos colores para mejor apreciación.

Figura 9. 18 *Vista 3D Diseño propuesto*

PROPUESTA DE DISEÑO.

Modelo 3D propuesta de diseño
recorrido de tuberías:



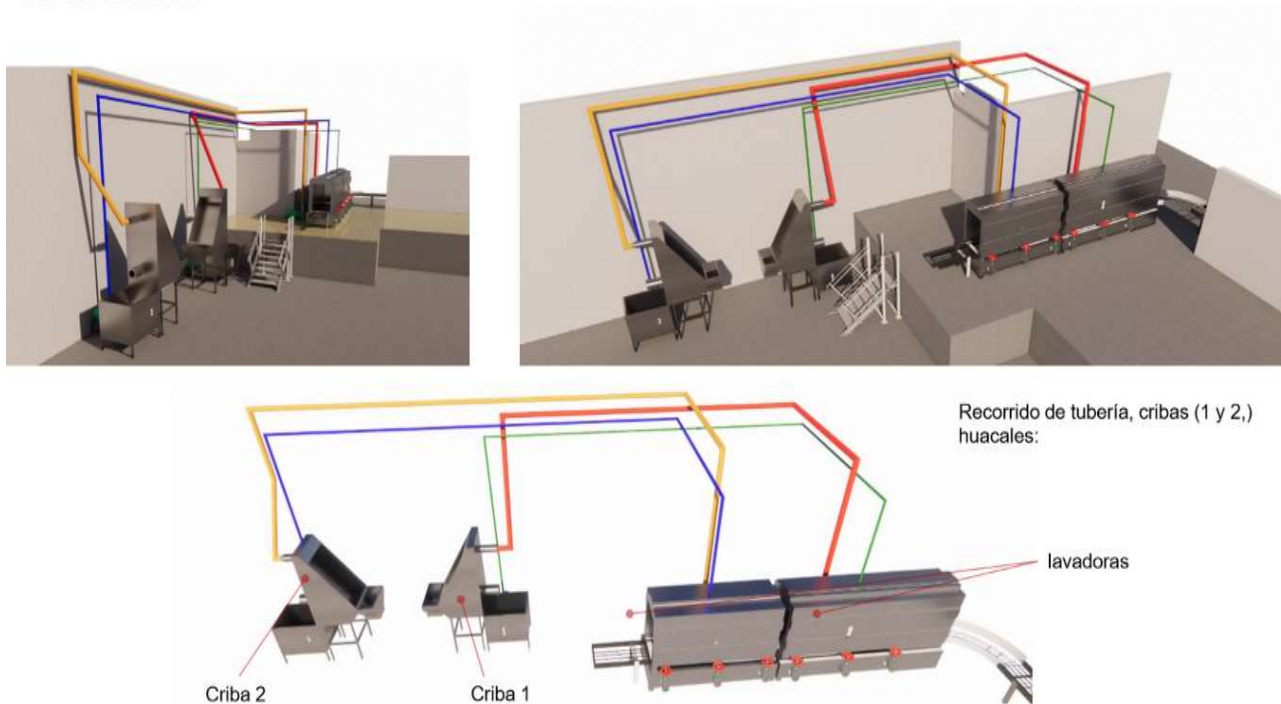
Fuente de elaboración propia.

En la siguiente figura 9.20 del diseño propuesto en la vista frontal superior se aprecian mejor las mejoras por línea y la reducción de accesorios y lo conveniente del recorrido ya que disminuye su trayecto, la línea verde perteneciente al tramo de la criba 1 al lavador 1 que muestra el diseño actual tiene 14 accesorios con una longitud de 37.9 metros y en la propuesta nueva usaría 9 accesorios entre la succión y la descarga con un recorrido de 26.4 metros, la línea roja que corresponde al recorrido del lavador 1 a la criba 1 que cuenta con 12 accesorios con una longitud de 32.7 metros y en la propuesta usaría 7 accesorios entre la succión y la descarga con un recorrido de 22.6 metros, , la línea azul que corresponde al recorrido del lavador 2 a la criba 2 que cuenta con 11 accesorios con una longitud de 29.7 metros y en la propuesta usaría 7 accesorios entre la succión y la descarga con un recorrido de 18 metros, la línea roja que corresponde al recorrido del lavador 1 a la criba 1 que cuenta con 14 accesorios en la succión y la descarga con

una longitud de 37.9 metros y en la propuesta usaría 9 accesorios entre la succión y la descarga con un recorrido de 26.4 metros, , la línea amarilla que corresponde al recorrido del lavador 2 a la criba 2 que cuenta con 11 accesorios con una longitud de 29.7 metros y en la propuesta usaría 7 accesorios entre la succión y la descarga con un recorrido de 18 metros.

Figura 9. 19 *vista 3D Diseño propuesto*

Modelo 3D propuesta de diseño
recorrido de tuberías:



Fuente de elaboración propia.

En las siguientes figuras 9.21, 9.22, 9.23, se muestra la ubicación propuesta de las lavadoras para acortar los recorridos de las tuberías las cuales están resaltadas con colores

Figura 9.20 *vista 3D Diseño propuesto*

Vistas en 3d recorrido de tuberías:

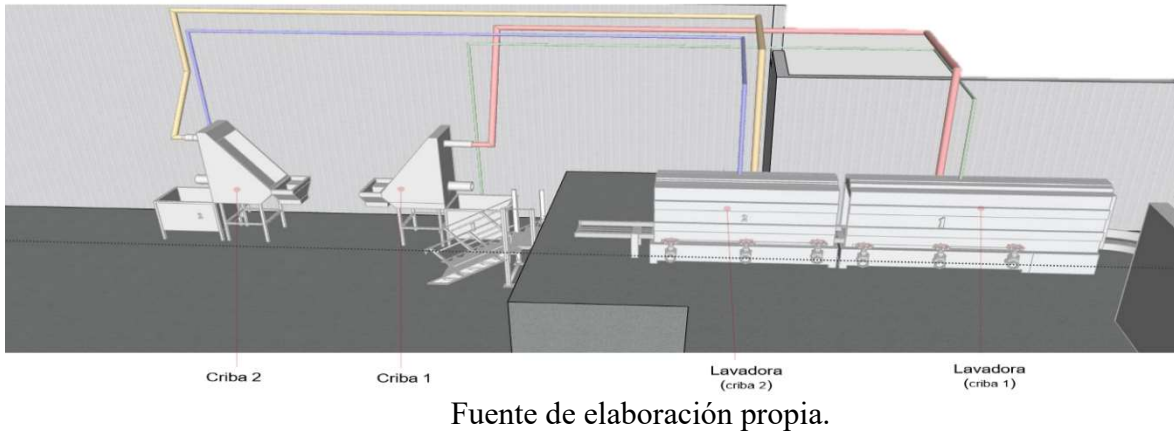


Figura 9.21 *vista 3D tubería propuesta criba 2*

Vistas en 3d recorrido de tuberías:

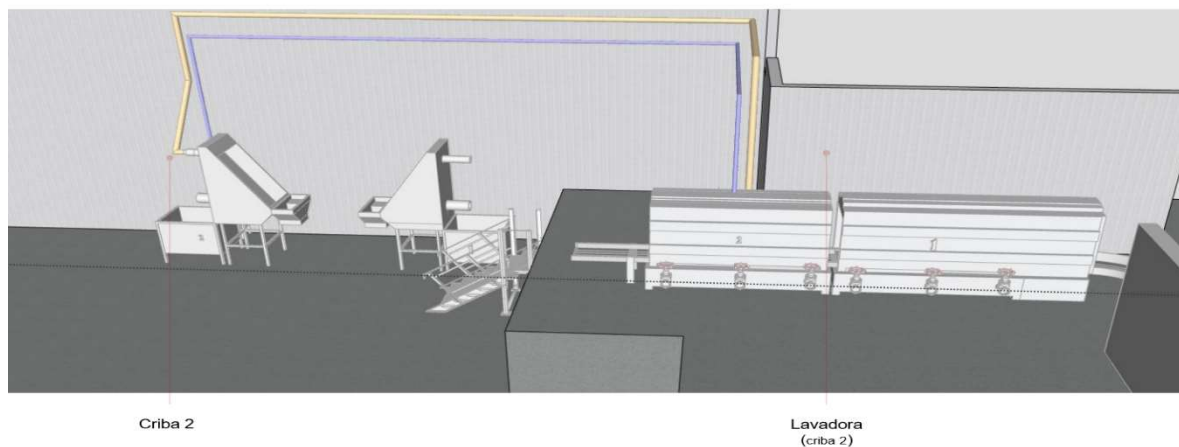
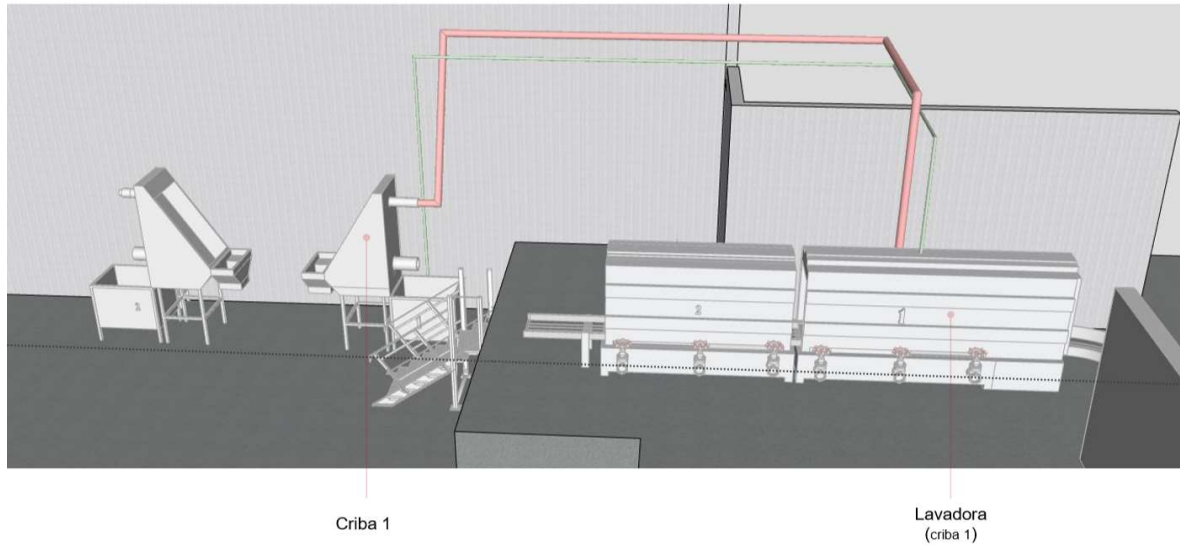


Figura 9. 22 *Vista 3D tubería propuesta criba 1*

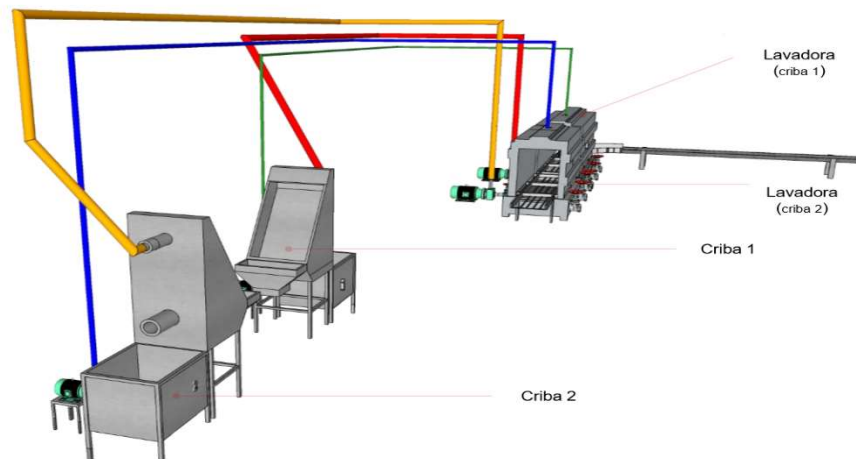
Vistas en 3d recorrido de tuberías:



Fuente de elaboración propia.

Figura 9. 23 *Vista 3D tubería propuesta ambas líneas*

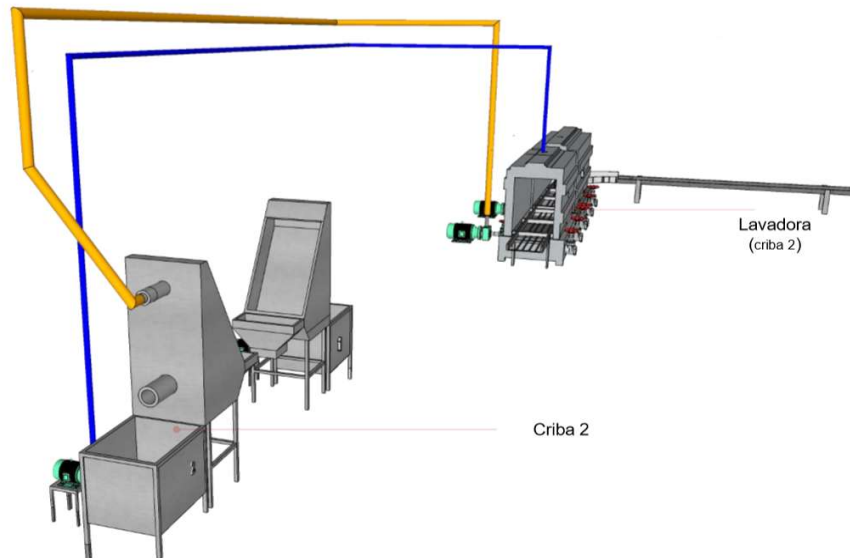
Vistas en 3d recorrido de tuberías:



Fuente de elaboración propia.

Figura 9. 24 Vista 3D tubería propuesta criba 2

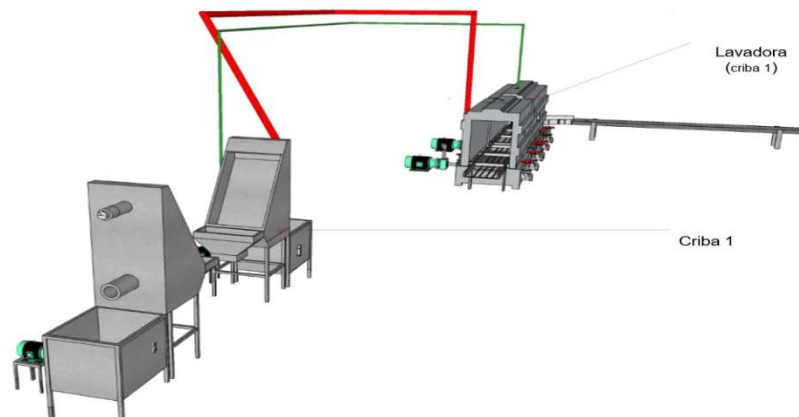
Vistas en 3d recorrido de tuberías:



Fuente de elaboración propia.

Figura 9. 25 Vista 3D tubería propuesta criba 1

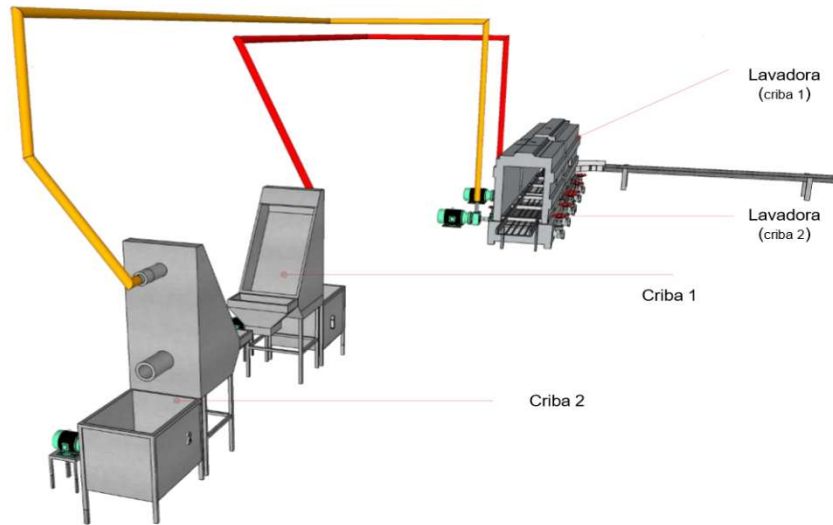
Vistas en 3d recorrido de tuberías:



Fuente de elaboración propia.

Figura 9. 26 Vista 3D tubería propuesta ambas líneas.

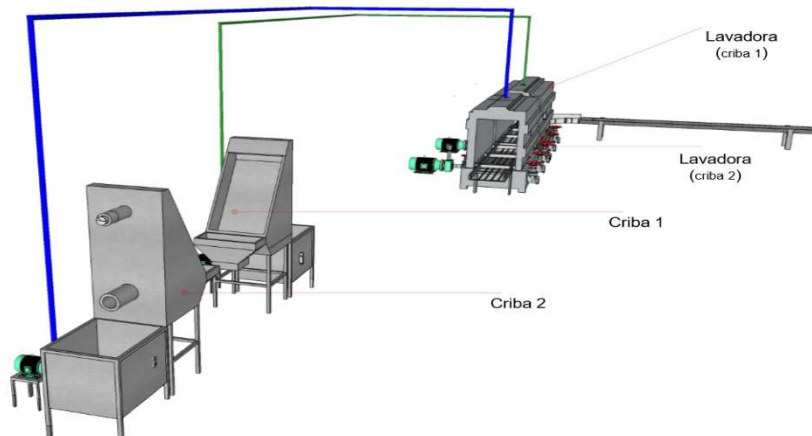
Vistas en 3d recorrido de tuberías:



Fuente de elaboración propia.

Figura 9. 27 Vista 3D tubería propuesta ambas líneas

Vistas en 3d recorrido de tuberías:



Fuente de elaboración propia.

Fase 2. Análisis de las pérdidas hidráulicas: Comparación de las cargas entre el sistema actual y el sistema propuesto.

11. Calculo hidraulico de linea propuesta

La siguiente figura 10.27 muestra la temperatura tomada al fluido con un termómetro patrón fluke el dato se utiliza para calcular la densidad de un fluido, cuando aumenta la temperatura disminuye su densidad esto importante saberlo para evitar la cavitación en la bomba.

Figura 10. 28 *Medición de temperatura del fluido.*



Fuente de elaboración propia.

La tabla 10.8 y 10.9 respectivamente contiene los accesorios necesarios para la instalación de la succión y la descarga de la tubería propuesta, se muestra lo requerido para cada línea hidráulica.

Tabla 10. 8 Línea hidráulica succión tubería propuesta.

Succión tubería propuesta				
Recorrido de tubería desde la bomba de la :	material	Ø	valvula de compuerta	longitud de la tubería
lavadora h. #1 a criba#1	pvc	4"	1	40cm
lavadora h. #2 a criba#2	PVC	4"	1	40cm
criba#1 a la lavadora h. #1	cedula 40	4"	1	40cm
criba#2 a la lavadora h#. 2	cedula 40	4"	1	40cm

El cuadro contiene el tipo de tubería y accesorios. Fuente de elaboración propia.

Tabla 10. 9 línea hidráulica descarga tubería propuesta.

Descarga tubería propuesta							
Recorrido de tubería desde la bomba de la :	material	Ø	codos 45°	codos 90°	valvula check	union T	longitu de la tubería
lavadora h. #1 a criba#1	pvc	4"	4	0	1	0	22.6 m
lavadora h. #2 a criba#2	PVC	4"	4	0	1	0	18 m
criba#1 a la lavadora h. #1	galvanizado	3"	3	2	1	1	26.4 m
criba#2 a la lavadora h#. 2	galvanizao	3"	3	2	1	1	21.1 m

Fuente de elaboración propia.

La tabla 10.10 contiene las pérdidas primarias en las líneas hidráulicas propuestas tanto en la succión como la descarga también contiene datos específicos de los materiales a utilizar como los diámetros y tipo de cedula de la tubería.

Tabla 10. 10 *Perdidas primarias tubería propuesta.*

hL primarias tubería propuesta										
Recorrido de la tubería desde la bomba de la :	unidad de medida SI	formula	Lavadora h.# 1 a la criba #1		Lavadora h.# 2 a la criba #2		Criba #1 a la lavaora h. #1		criba #2 a la lavadora h. #2	
	/	/	succion	descarga	succion	descarga	succion	descarga	succion	descarga
Material de la tubería	/	/	cedula 40	pvc	cedula 40	pvc	cedula 40	cedula 40	cedula 40	cedula 40
diametro en pulgadas	/	/	4	4	4	4	4	3	4	3
diametro interno =	Di = m	tabla	0.1023	0.10342	0.1023	0.10342	0.1023	0.0779	0.1023	0.0779
Area	A= m ²	A=πr ²	8.213*10 ⁻³	8.4*10 ⁻³	8.213*10 ⁻³	8.4*10 ⁻³	8.213*10 ⁻³	4.768 *10 ⁻³	8.213*10 ⁻³	4.768 *10 ⁻³
rugosidad de la tubería=	ε=m	tabla	4.6*10 ⁻⁵	3*10 ⁻⁷	4.6*10 ⁻⁴	3*10 ⁻⁷	4.6*10 ⁻⁵	4.6*10 ⁻⁵	4.6*10 ⁻⁵	4.6*10 ⁻⁵
peso especifico=Pe	γ=KN/m ³	tabla	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77	9.77
caudal	Q=m ³ /s	Q=V/t	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
velocidad=	m/s	v=Q/A	3.7	3.6	3.7	3.6	3.7	6.25	3.7	6.25
energia de velocidad =	Cj=m	Cj=V ² /2g	0.7	0.6	0.7	0.6	0.7	2	0.7	2
longitud	L=m	/	0.4	22.6	0.4	18	0.4	26.4	0.4	21.1
viscociudad cinematica Vcin=	v=m/s	tabla	8.03*10 ⁻⁷	8.03*10 ⁻⁷	8.03*10 ⁻⁷	8.03*10 ⁻⁷	8.03*10 ⁻⁷	8.03*10 ⁻⁷	8.03*10 ⁻⁷	8.03*10 ⁻⁷
perdidas primarias hL	hL=m	/	0.05	1.77	0.05	1.51	0.05	12.45	0.05	9.95

Fuente de elaboración propia.

La tabla 10.11 contiene las perdidas secundarias en la succión de la tubería propuesta donde se especifican las formulas utilizadas para cada calculo en cada columna.

Tabla 10. 11 *Pérdidas secundarias en la succión tubería propuesta*

PERDIDAS SECUNDARIAS EN LA SUCCION TUBERIA PROPUESTA									
Recorrido de tubería desde la bomba de la :	diametro de tubería	accesorios		coeficiente de resistencia de entrada	factor de friccion de perdidas secundarias ,medida adimensional	energia de velocidad en metros	unidad de medida m	unidad de medida m	perdidas secundarias
	Ø	valvula de compuerta totalmente abierta	Le/D	k	$f_T = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{1}{3.7\left(\frac{D}{\epsilon}\right)}\right)\right)^2}$	CJ=V ² /2g	hL=Le/D*Ft*v ² /g	hL=k(v ² /2g)	unidad medida = m
lavadora h. #1 a criba#1	4"	1	8	0.5	0.016	2	0.256	1	1.256
lavadora h. #2 a criba#2	4"	1	8	0.5	0.016	2	0.256	1	1.256
criba#1 a la lavadora h. #1	4"	1	8	0.5	0.016	2	0.256	1	1.256
criba#2 a la lavadora h.#. 2	4"	1	8	0.5	0.016	2	0.256	1	1.256

Fuente de elaboración propia.

Esta tabla 10.12 contiene la perdidas secundarias que son las perdidas ocasionadas por los accesorios que se utilizarían para la instalación, se especifica respectivamente las fórmulas utilizadas para cada calculo.

Tabla 10. 12 *Perdidas secundarias en la descarga tubería propuesta*

Perdidas secundarias en la descarga tubería propuesta										
Recorrido de tubería desde la bomba de la :	accesorio	cantidad	longitud equivalente Le/D	K	sumatoria Le/D	factor de fricción de perdidas secundarias, medida adimensional $f_r = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{1}{3.7\left(\frac{D}{\epsilon}\right)}\right)\right)^2}$	energía de velocidad en metros CJ=V ² /2g	unidad de medida en metros hL=Le/D*Ft*CJ	unidad de medida en metros h L=k*CJ	perdidas secundarias unidad de medida = m
lavadora h. #1 a criba#1	codo 45°	4	16	/	64	0.0068	0.66	0.287232	/	
	valvula check	1	100	/	100	0.0068	0.66	0.4488	/	
	coeficiente de entrada	1	0	1	1	0.0068	0.66	/	0.66	1.396032
lavadora h. #2 a criba#2	codo 45°	4	16	/	64	0.0068	0.66	0.287232	/	
	valvula check	1	100	/	100	0.0068	0.66	0.4488	/	
	coeficiente de entrada	1	0	1	1	0.0068	0.66	/	0.66	1.396032
criba#1 a la lavadora h. #1	codo 45°	4	16	/	64	0.017	1.99	2.16512	/	
	codo 90°	2	30	/	60	0.017	1.99	2.0298	/	
	valvula check	1	100	/	100	0.017	1.99	3.383	/	
	union T	1	20	/	20	0.017	1.99	0.6766	/	
	coeficiente de entrada	1	0	1	1	0.017	1.99	/	1.99	10.24452
criba#2 a la lavadora h#. 2	codo 45°	4	16	/	64	0.017	1.99	2.16512	/	
	codo 90°	2	30	/	60	0.017	1.99	2.0298	/	
	valvula check	1	100	/	100	0.017	1.99	3.383	/	
	union T	1	20	/	20	0.017	1.99	0.6766	/	
	coeficiente de entrada	1	0	1	1	0.017	1.99	/	1.99	10.24452

Fuente de elaboración propia.

La tabla 10.13 contiene las perdidas totales para cada línea tanto en la succión como la descarga se recopilan los datos de las tablas 10.11 y 10.12

Tabla 10. 13 Pérdidas totales succión y descarga tubería propuesta.

Pérdidas totales tubería propuesta succión y descarga					
Recorrido de tubería desde la bomba de la :	pérdidas primarias unidad de medida metros		pérdidas secundarias unidad de medida en metros		sumatoria pérdidas totales unidad de medida en metros
	succión	descarga	succión	descarga	$\Sigma = hL$ primarias , secundarias succión + hL primarias , secundarias descarga
lavadora h. #1 a criba#1	0.05	1.77	1.256	1.39	4.466
lavadora h. #2 a criba#2	0.05	1.51	1.256	1.39	4.206
criba#1 a la lavadora h. #1	0.05	12.45	1.256	10.24	23.996
criba#2 a la lavadora h#. 2	0.05	9.95	1.256	10.24	21.496

Fuente de elaboración propia.

En este cuadro se realiza una comparación de las líneas hidráulicas propuestas y actuales y la diferencia de los resultados obtenidos con el fin de evidenciar las fallas en el sistema actualmente instalado.

Tabla 10. 14 Cuadro comparativo red hidráulica actual y red propuesta.

Cuadro comparativo antigua y nueva ruta de tubería											
Recorrido de tubería desde la bomba de la :	tubería actual				tubería propuesta				tubería actual	tubería propuesta	diferencia con respecto a la nueva ruta
	perdidas primarias unidad de medida en metros	perdidas secundarias unidad de medida en metros	perdidas primarias unidad de medida metros	perdidas secundarias unidad de medida en metros	sumatoria pérdidas totales tubería actual unidad de medida en metros	sumatoria pérdidas totales tubería propuesta unidad de medida en metros	sumatoria pérdidas totales tubería actual unidad de medida en metros	sumatoria pérdidas totales tubería propuesta unidad de medida en metros			
	succión	descarga	succión	descarga	succión	descarga	succión	descarga	, secundarias succión + hL primarias , secundarias descarga	$\Sigma = hL$ primarias , secundarias succión + hL primarias , secundarias descarga	unidad de medida en metros
lavadora h. #1 a criba#1	0.08	2.74	12.84	2.078	0.05	1.77	1.256	1.39	17.738	4.466	13.272
lavadora h. #2 a criba#2	0.1	2.49	12.84	1.808	0.05	1.51	1.256	1.39	17.238	4.206	13.032
criba#1 a la lavadora h. #1	5.09	137.82	12.84	15.25	0.05	12.45	1.256	10.24	171	23.996	147.004
criba#2 a la lavadora h#. 2	3.27	24.37	12.84	15.45	0.05	9.95	1.256	10.24	55.93	21.496	34.434

Fuente de elaboración propia.

Fase 3. Selección de los nuevos equipos y accesorios para el nuevo diseño del sistema:

Bombas.

11.1 Carga de succión positiva neta disponible ($NPSH_D$)

La tabla 10.15 muestra todos datos necesarios para calcular en npsH disponible se especifica respectivamente para cada línea hidráulica.

Tabla 10.15 Datos para el cálculo del npsH

datos para el calculo del npsH disponible				
	lavadora h. #1 a criba#1	lavadora h. #2 a criba#2	criba#1 a la lavadora h. #1	criba#2 a la lavadora h#. 2
altitud en metros	977.9	977.9	977.9	977.9
Pa/y (patm) en MCA	9.2	9.2	9.2	9.2
temperatura H ₂ O °C	30	30	30	30
presion de vapor H ₂ O (Pv) en MCA	0.44	0.44	0.44	0.44
gravedad especifica H ₂ O (GE)	0.995	0.995	0.995	0.995
tipo de succion	positiva	positiva	positiva	positiva
H succion en metros	1	1	1	1
Hf totales en succion en MCA	1.25	1.25	1.25	1.25
seguridad en metros	0.5	0.5	0.5	0.5
NPSH disponible en MCA	8.5	8.5	8.5	8.5
utilizar una bomba con un NPSH requerido menor a : resultado en metros	3.3	3.3	3	3

fuentes de elaboración propia.

11.2 Cálculo de la bomba

Este cálculo es para el recorrido de las 4 líneas, la Ecuación se aplica de forma igual, debido a las condiciones, posteriormente se utilizará la ecuación general de la energía, que es la siguiente:

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A + h_R + h_L = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad \text{Ecuación 10.16}$$

Esta ecuación se plantea partiendo de dos puntos del sistema, se suele tomar el principio y el final de la instalación, ya que allí los valores la velocidad y la presión son cero y de esta forma, es más fácil iniciar los cálculos solo nos queda agregar a esta ecuación la altura se puede tomar cualquier punto de los datos conocidos.

Para plantear la ecuación se tomarán los puntos z-1 y z-2, tomando como planteamiento inicial la ecuación 1, que es la ecuación general de la energía en donde se cancela $\frac{P_1}{\gamma}$ la presión en el punto 1 ya que es un tanque abierto a la atmosfera y por lo tanto su presión es 0, z_1 que es la altura 1 y es nuestro punto inicial de referencia por lo tanto es 0 m, la velocidad 1 es la superficie del tanque $\frac{v_1^2}{2g}$ es =0 el sistema no tiene energía removida h_R igualmente la velocidad 2 es =0, simplificando nuestra ecuación se plantea de la siguiente forma:

$$\cancel{\frac{P_1}{\gamma}} + \cancel{z_1} + \cancel{\frac{v_1^2}{2g}} + h_A + \cancel{h_R} + h_L = \cancel{\frac{P_2}{\gamma}} + z_2 + \cancel{\frac{v_2^2}{2g}}$$

Términos cancelados

$$h_A = h_L + z_2 \quad \text{Ecuación 10.17}$$

Ecuación simplificada

Lo que esta expresión significa que la energía añadida o la energía que se necesita para mover el sistema, es la energía suficiente para vencer las perdidas por fricción h_L y la diferencia de altura Z_2

Seguidamente para el cálculo de la bomba, se realiza una tabla en Excel que permite agilizar la visualización de todos los datos de las 4 líneas hidráulicas correspondientes las cuales tienen datos comunes como el caudal requerido de cada línea que es de $0.032\text{m}^3/\text{s}$ o 500 galones /min, el peso específico del agua a 30°C que es de 9.77 KN/m^3 posteriormente se expresa el resultado en KW y HP.

Tabla 10. 16 Cálculo de las bombas tubería propuesta.

Calculo de las bombas tubería propuesta										
	sumatoria de perdidas totales en metros	altura maxima punto 2 en metros	caudal en m^3/s	eficiencia	peso especifico en KN/m^3	energia añadida en metros	potencia añadida en KW	potencia de entrada en KW	potencia añadida en HP	Potencia de entrada en HP
Recorrido de tubería desde la bomba de la :	h_L	Z_2	$Q=V*A$		Pe, del agua a 30°C	$h_A=h_L+Z_2$	$PA=Pe*Q*h_A$	$Pi=PA/\text{Eficiencia}$	PA	PI
lavadora h. #1 a criba#1	4.466	4	0.032	0.75	9.77	8.466	2.647	3.5291	3.5	4.7
lavadora h. #2 a criba#2	4.206	4	0.032	0.75	9.77	8.206	2.566	3.4207	3.4	4.6
criba#1 a la lavadora h. #1	23.996	4	0.032	0.75	9.77	27.996	8.753	11.6702	11.7	15.6
criba#2 a la lavadora h#. 2	21.496	4	0.032	0.75	9.77	25.496	7.971	10.6281	10.7	14.2

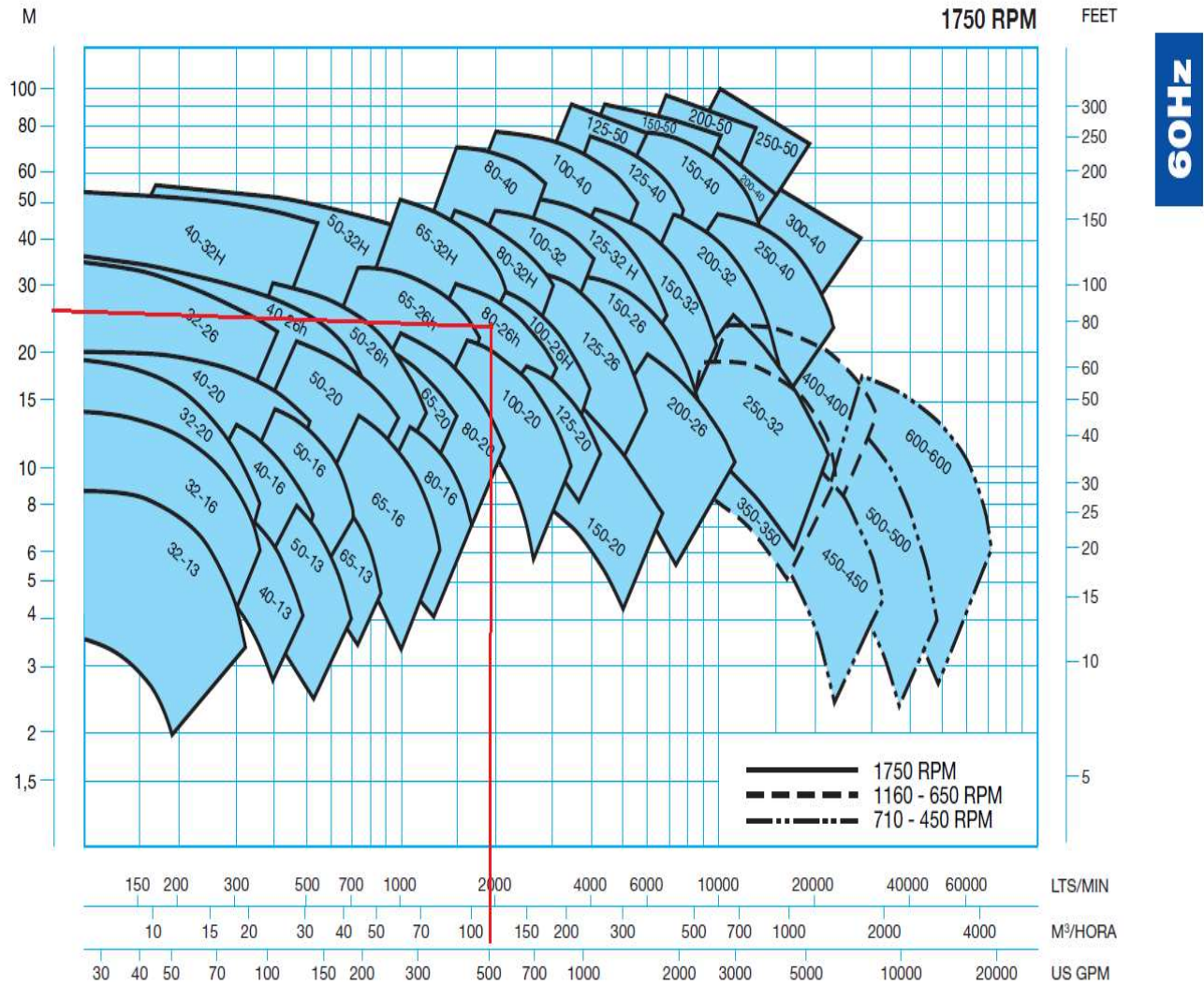
Este cuadro contiene el cálculo de la potencia añadida por la bomba necesaria para realizar el trabajo de vencer la diferencia de altura y las perdidas por fricción y accesorios.

Fuente de elaboración propia.

La figura 10.28 es una curva característica para la selección de la bomba hidráulica ya que allí se encuentran diferentes tipos de bombas para un sistema hidráulico, para realizar esta

selección se deben tener los requerimientos del sistema como por ejemplo tipo de fluido galones por minuto requeridos entre otros.

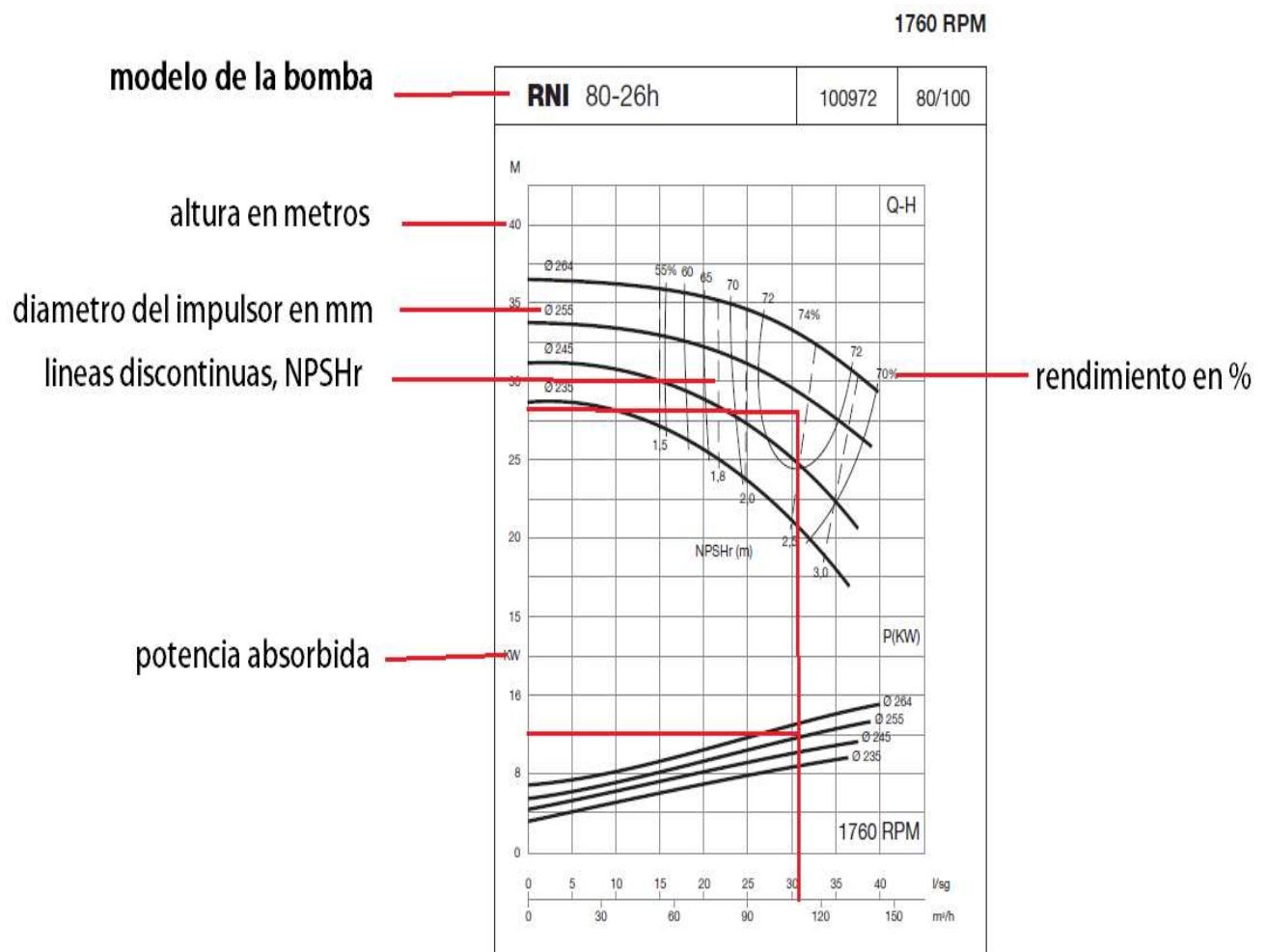
Figura 10.29 Curvas características selección de bomba según el fabricante.



En este gráfico se aprecian las curvas características de la selección del fabricante. En él se evidencia que la parte inferior se encuentra el consumo del sistema en gpm, M³/hora, LTS/MIN. En el eje vertical izquierdo, son los MCA requeridos del sistema la intersección de estos puntos en

este caso es 80-26H que es el tipo de bomba sugerido del catálogo el cual se inspeccionara en el siguiente gráfico. Fuente de elaboración bombas ideal.

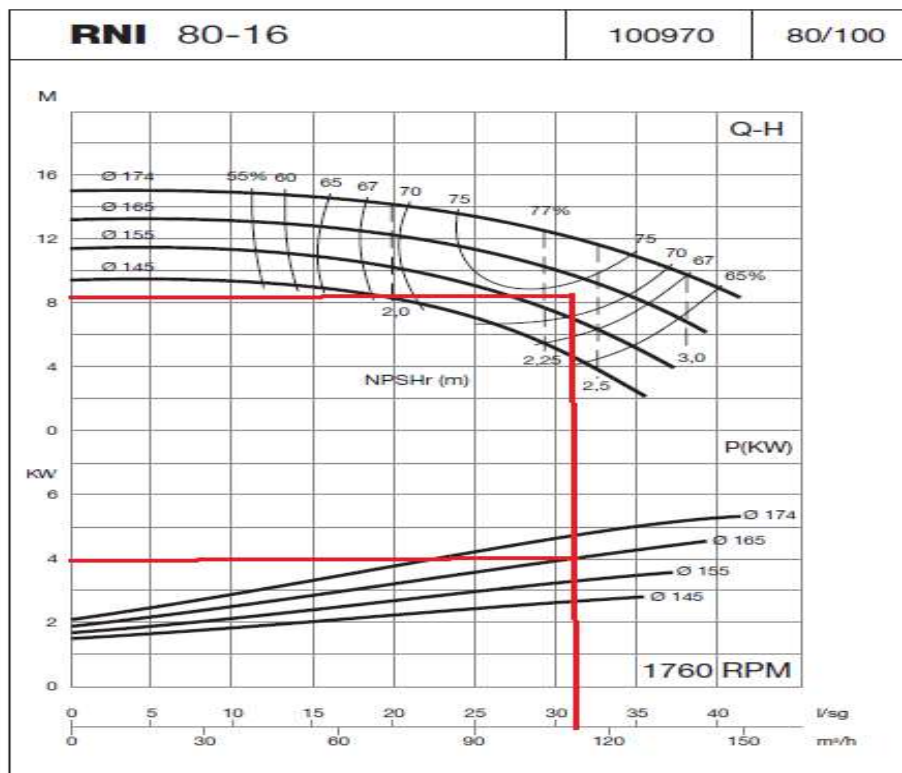
Figura 10.30 Selección de la bomba cribas a las lavadoras h.



La bomba encontrada según el fabricante es: modelo RNI 80-26h con 74% aprox de eficiencia a 1760 rpm con un NPSHr de 3m (el fabricante recomienda 0.5m adicionales de seguridad) con un diámetro de impulsor de 255 mm y una potencia absorbida de 12k. Esta bomba

aplica para el recorrido de la tubería de la bomba de la criba#1 a la lavadora h.1 y para el recorrido de la criba#2 al a lavadora h.#2. Fuente de elaboración bombas ideal.

Figura 10.31 Selección de bomba de la lavadora h. a la criba



La bomba encontrada según el fabricante es: modelo RNI 80-16 con una eficiencia cercana 75% aprox. a 1760 rpm con un NPSHr de 2.8m aprox. (el fabricante recomienda 0.5m adicionales de seguridad) con un diámetro de impulsor de 165 mm este valor se aproxima siempre al más cercano y una potencia absorbida de 4k. Esta bomba aplica para el recorrido de la tubería de la bomba de la

lavadora h. #1 a la criba #1 y del recorrido de la bomba de la lavadora h. #2 a la criba #2. Fuente de elaboración bombas ideal.

Fase 4. Desarrollo del diseño del sistema eléctrico de potencia y control de las bombas: Análisis de la redistribución de las acometidas de potencia y la determinación del control en un solo tablero.

Después de haber calculado el motor por cada línea hidráulica, se debe calcular la protección de cada uno de los motores, de acuerdo a su potencia eléctrica, en donde se tiene en cuenta datos generales de la placa característica.

12. Cálculo del guardamotor eléctrico

El guardamotor eléctrico es un dispositivo de protección que se utiliza para evitar que un motor eléctrico se dañe por sobrecarga o cortocircuito, este equipo tiene dos tipos de disparo o protección térmico y magnético, el disparo térmico ocurre cuando la corriente que circula por el motor supera un valor determinado durante un tiempo prolongado, lo que puede causar un sobrecalentamiento del motor. El disparo magnético actúa cuando la corriente que circula por el motor, alcanza un valor muy alto en un instante, causado por un cortocircuito, lo que ocurre en ambos casos es que este dispositivo abre el circuito protegiendo así los elementos que lo conforman.

La fórmula utilizada para el cálculo es la siguiente:

$$PE = \frac{Pm}{\eta}$$

Ecuación 12.1

$$I_n = \frac{PE}{(\sqrt{3} \times 440v \times 0.87)}$$

Ecuación 12.2

Pm= potencia del motor en vatios

η =eficiencia

V= voltaje

Fs=factor de servicio

Fp=factor de potencia

In=corriente nominal

PE=potencia eléctrica

Pm=potencia mecánica

Is=corriente nominal del motor

La tabla 12.1 contiene los datos para el calculo del guardamotor de cada línea hidráulica la formula utilizada para el calculo respectivamente en la columna.

Tabla 12.1 *Calculo guardamotor para cada bomba propuesta.*

Calculo guardamotor por cada linea hidraulica tuberia propuesta								
	potencia del motor en vatios	voltaje de trabajo	factor de servicio	eficiencia	factor de potencia	Potencia electrica en w	Calculo del guardamotor requerido en amperios	corriente de saturacion
Recorrido de tuberia desde la bomba de la :	w	v	Fs	η	FP	PE	$In = \frac{PE}{(\sqrt{3} \times 440v \times 0.87)}$	IS
lavadora h. #1 a criba#1	3500	440	1.25	0.87	0.85	4023.0	6.210356943	7.762946179
lavadora h. #2 a criba#2	3400	440	1.25	0.87	0.85	3908.0	6.032918173	7.541147717
criba#1 a la lavadora h. #1	11600	440	1.25	0.87	0.85	13333.3	20.5828973	25.72862162
criba#2 a la lavadora h#. 2	10600	440	1.25	0.87	0.85	12183.9	18.8085096	23.510637

Fuente de elaboración propia.

13. Calculo conductor eléctrico

Para el cálculo de un conductor eléctrico se consideran varios factores, como la potencia de los equipos que se van a alimentar como en este caso las bombas la tensión del circuito la temperatura del ambiente donde se va instalar la resistencia mecánica del material entre otros, se utiliza la siguiente ecuación respectivamente,

Para el cálculo de la corriente, $In = \frac{PE}{(\sqrt{3} \times 440v \times 0.87)}$ Ecuación 13.1

Para el cálculo de la corriente de diseño, $id = 1.25 * i$ Ecuación 13.2

Para el cálculo de la sección del conductor, $S = \frac{\sqrt{3} * \rho * L * Id * Fp}{\Delta v}$ Ecuación 13.3

Id=corriente de diseño

ρ =resistividad del cobre

L=longitud

ΔV =caída de tensión

S= sección del conductor

Fp=factor de potencia

Tabla 13. 1 *Calculo conductor eléctrico para cada bomba*

Calculo conductor tubería propuesta											
	potencia del motor	voltage de alimenta	factor de potencia	eficiencia	factor de servicio	resistencia del cobre mm ² /m	caída de tensión <3%	corriente	i de diseño	seccion del conductor en mm ²	conductor elegido
Recorrido de tubería desde la bomba de la :	w	V	FP	η	Fs	ρ	$\Delta v\% * v$	$I = \frac{PE}{\sqrt{3} * v * FP * \eta}$	id=1.25*i	$s = \frac{\sqrt{3} * \rho * L * Id * Fp}{\Delta v}$	tabla de conductores
lavadora h. #1 a criba#1	3500	440	0.85	0.87	1.25	0.017	13.2	5.4	6.8	0.768336777	14
lavadora h. #2 a criba#2	3400	440	0.85	0.87	1.25	0.017	13.2	5.2	6.6	0.746384298	14
criba#1 a la lavadora h. #1	11600	440	0.85	0.87	1.25	0.017	13.2	17.9	22.4	3.395316804	10
criba#2 a la lavadora h#. 2	10600	440	0.85	0.87	1.25	0.017	13.2	16.4	20.5	3.10261708	10

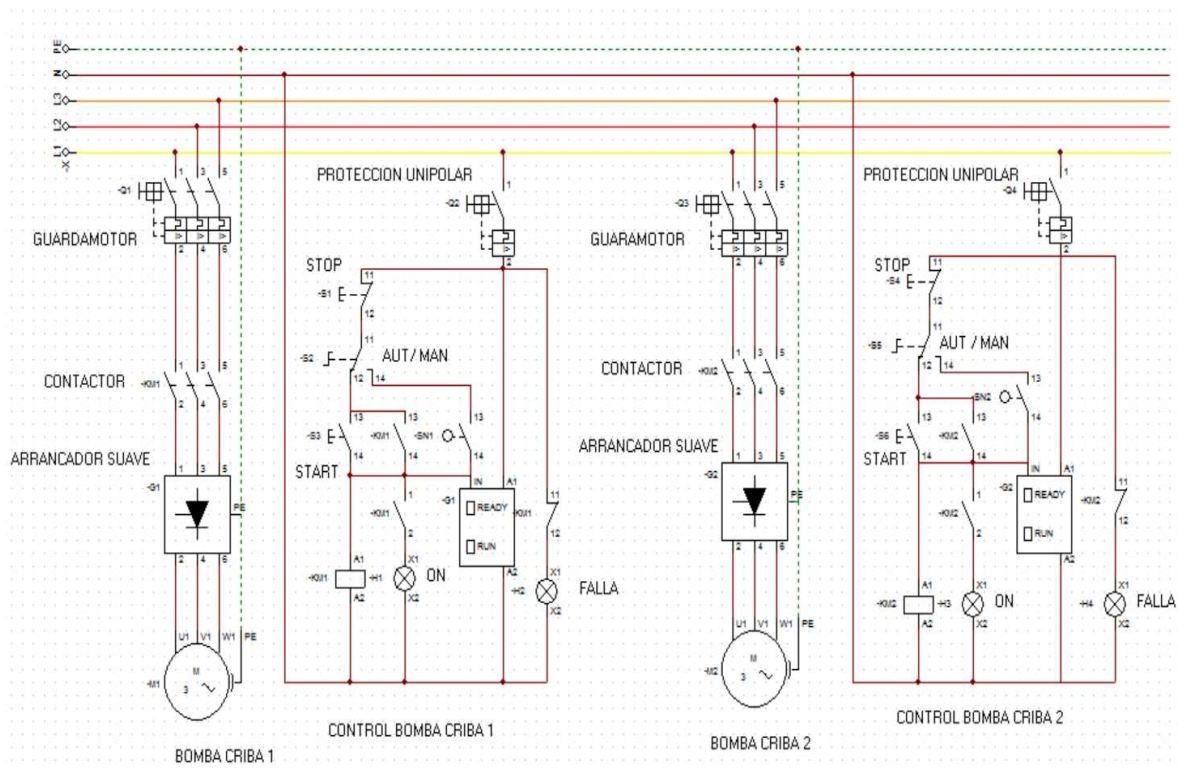
Adicionalmente para el cálculo del conductor se debe consultar la tabla para el cálculo de cables Centelsa que está en el anexo i tabla de Capacidad de conductores eléctricos.

13.1 Diseño eléctrico bombas de las cribas 1-2

Este sistema eléctrico fue diseñado con el programa CADESIMU el cual cuenta también con simulación, diagrama de control y potencia cribas 1 y 2.

La figura 13.1 y 13.2 muestra la conexión eléctrica para la instalar los arrancadores suaves en el sistema estos son comandados por un nivel de flota comúnmente llamados ranas no son necesarios contactores adicionales ya que el arrancador suave 3rw5216 maneja independientemente cada línea ahorrando costos en la instalación

Figura 13.1 Diagrama eléctrico

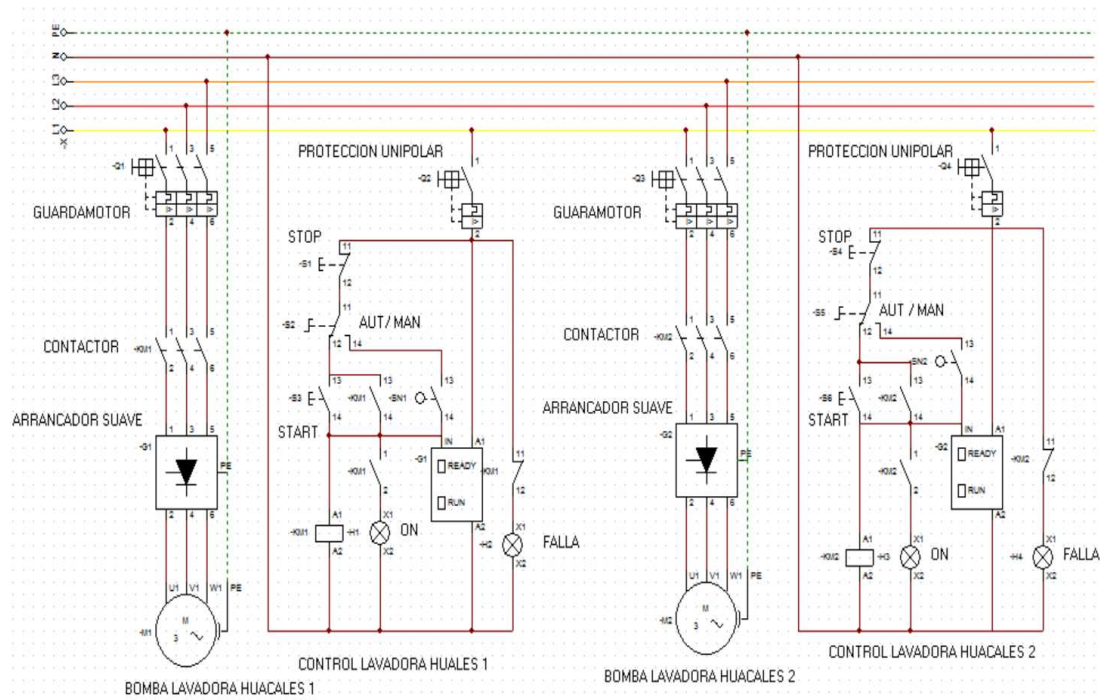


Fuente de elaboración propia

13.2 Diseño eléctrico bombas de las lavadoras 1-2

Diagrama de control y potencia lavador de huacales 1 y 2.

Figura 13.2 Diagrama eléctrico



Fuente de elaboración propia.

En la figura 13.3, 13.4 y 13.5 se muestra respectivamente una bomba de la marca Barnes centrífuga con su respectivo motor y sus características evidenciando así los elementos que componen el sistema actual para el análisis respectivo.

Figura 13.6 *Datos motores actual.*



Fuente de elaboración propia.

13.3 Ahorro energético

Se denomina ahorro energético al conjunto de medidas adoptadas para minimizar el consumo de energía utilizada en un determinado proceso, todo el propósito de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, minimizar el consumo de recursos energéticos y contribuir a la conservación del medio ambiente [13].

En el estudio hidráulico realizado se establece un consumo energético menor debido a que se baja la potencia de los motores instalados además el fabricante proporciona una información completa de potencia adecuada para cada bomba hidráulica a utilizar.

En la siguiente tabla 13.2 se muestra el consumo y el ahorro de cada bomba, también la ganancia económica obtenida de la mejora propuesta.

Tabla 13.2 Cuadro comparativo consumo eléctrico

cuadro comparativo consumo electrico												
	potencia del motor, instalacion nueva ,calculada	potencia del motor instalacion actual	potencia del motor, instalacion nueva ,datos del fabricante	consumo en kw/h diario, instalacion actual	consumo en kw/h diario , instalacion propuesta	consumo en kw/h , instalacion actual	consumo en kw/h , instalacion propuesta	consumo en kw/h instalacion actual	consumo en kw/h , instalacion propuesta	ahorro energetico	diferencia monetaria,tarifa \$ 400.50 individual	ahorro monetario
Recorrido de tubería desde la bomba de la :	w	kw	kw	16h de trabajo	16h de trabajo	30 días de trabajo	30 días de trabajo	12 meses	12 meses	kw/h	\$ kw/h	\$
lavadora h. #1 a criba#1	3500	11.19	4	179.04	64	5371.2	1920.0	64454.4	23040.0	41414.4	16586467.2	29435788
lavadora h. #2 a criba#2	3400	11.19	4	179.04	64	5371.2	1920.0	64454.4	23040.0	41414.4	16586467.2	
criba#1 a la lavadora h. #1	11600	11.19	12	179.04	192	5371.2	5760.0	64454.4	69120.0	-4665.6	-1868572.8	
criba#2 a la lavadora h#. 2	10600	11.19	12	179.04	192	5371.2	5760.0	64454.4	69120.0	-4665.6	-1868572.8	

Fuente de elaboracion propia.

14. Conclusiones

Después de haber realizado un análisis de la instalación hidráulica de la empresa AVIDESA S.A. fue posible plantear un diseño en el que se disminuyeron las pérdidas por el mal uso que se estaba teniendo de los accesorios anteriormente utilizados. Gracias a la implementación de los accesorios correctos, los recorridos desde la bomba de la lavadora h. #1 a la criba #1 se redujeron 13.3 m esto equivale en un 25% en la lavadora h.#2 a la criba #2. Además, se obtuvo una reducción en el recorrido de 13 m esto equivale a un 24.4% en la criba#1 a la lavadora h.#1, se redujo en 147 m, esto equivale a un 14%, de la criba #2 a la lavadora h. #2.

También fue posible evidenciar la disminución en 34.4 m esto equivale a un 38%, Visualizar detalle de los resultados en la tabla 10.14 *Cuadro comparativo red hidráulica actual y red propuesta,*

Con el rediseño hidráulico de la ruta de la tubería se pudo establecer una gran reducción en las pérdidas tal como lo enseña el cuadro comparativo realizado, lo que genera que se necesite una bomba hidráulica más pequeña para cada instalación y de esta forma se disminuyeron los costos del proceso no solo por consumo eléctrico, sino también en costos de mantenimiento, al reducir el uso de los arrancadores suaves.

Por otro lado, en la lavadora h. #1 a la criba #1 en el periodo de un año se ahorraría 41414.4 KW/H, en la lavadora h.#2 a la criba #2 en un año se ahorra 41414.4 KW/H, en el recorrido de la criba #1 a la lavadora h #1 se aumentaría el consumo en 4665 KW/H anuales, en la criba #2 a la

lavadora h#. 2 tiene un aumento de 4665 KW/H anualmente. El ahorro general anual es de 73497.6 KW representado monetariamente \$ 29,435.788,

Finalmente, luego de llevar a cabo la metodología propuesta se pudo establecer grandes mejoras tanto en las tuberías como en el sistema cableado. En base a la nueva red se pudo establecer una mejora en el funcionamiento de cada bomba ya que los arranques eléctricos anteriormente usados eran directos, lo que ocasionaba mayor consumo de corriente, (aprox 7 veces la corriente nominal). Para lo cual se plantea una nueva instalación con arrancadores suaves para cada sistema.

15. A. Anexo: dimensiones de la tubería de acero

TABLA F.1 Cédula 40

Tamaño nominal de la tubería		Diámetro exterior		Espesor de pared		Diámetro interior			Área de flujo	
NPS (in)	DN (mm)	(in)	(mm)	(in)	(mm)	(in)	(ft)	(mm)	(ft ²)	(m ²)
1/8	6	0.405	10.3	0.068	1.73	0.269	0.0224	6.8	0.000 394	3.660 × 10 ⁻⁵
1/4	8	0.540	13.7	0.088	2.24	0.364	0.0303	9.2	0.000 723	6.717 × 10 ⁻⁵
3/8	10	0.675	17.1	0.091	2.31	0.493	0.0411	12.5	0.001 33	1.236 × 10 ⁻⁴
1/2	15	0.840	21.3	0.109	2.77	0.622	0.0518	15.8	0.002 11	1.960 × 10 ⁻⁴
3/4	20	1.050	26.7	0.113	2.87	0.824	0.0687	20.9	0.003 70	3.437 × 10 ⁻⁴
1	25	1.315	33.4	0.133	3.38	1.049	0.0874	26.6	0.006 00	5.574 × 10 ⁻⁴
1 1/4	32	1.660	42.2	0.140	3.56	1.380	0.1150	35.1	0.010 39	9.653 × 10 ⁻⁴
1 1/2	40	1.900	48.3	0.145	3.68	1.610	0.1342	40.9	0.014 14	1.314 × 10 ⁻³
2	50	2.375	60.3	0.154	3.91	2.067	0.1723	52.5	0.023 33	2.168 × 10 ⁻³
2 1/2	65	2.875	73.0	0.203	5.16	2.469	0.2058	62.7	0.033 26	3.090 × 10 ⁻³
3	80	3.500	88.9	0.216	5.49	3.068	0.2557	77.9	0.051 32	4.768 × 10 ⁻³
3 1/2	90	4.000	101.6	0.226	5.74	3.548	0.2957	90.1	0.068 68	6.381 × 10 ⁻³
4	100	4.500	114.3	0.237	6.02	4.026	0.3355	102.3	0.088 40	8.213 × 10 ⁻³
5	125	5.563	141.3	0.258	6.55	5.047	0.4206	128.2	0.139 0	1.291 × 10 ⁻²
6	150	6.625	168.3	0.280	7.11	6.065	0.5054	154.1	0.200 6	1.864 × 10 ⁻²
8	200	8.625	219.1	0.322	8.18	7.981	0.6651	202.7	0.347 2	3.226 × 10 ⁻²
10	250	10.750	273.1	0.365	9.27	10.020	0.8350	254.5	0.547 9	5.090 × 10 ⁻²
12	300	12.750	323.9	0.406	10.31	11.938	0.9948	303.2	0.777 1	7.219 × 10 ⁻²
14	350	14.000	355.6	0.437	11.10	13.126	1.094	333.4	0.939 6	8.729 × 10 ⁻²
16	400	16.000	406.4	0.500	12.70	15.000	1.250	381.0	1.227	0.1140
18	450	18.000	457.2	0.562	14.27	16.876	1.406	428.7	1.553	0.1443
20	500	20.000	508.0	0.593	15.06	18.814	1.568	477.9	1.931	0.1794
24	600	24.000	609.6	0.687	17.45	22.626	1.886	574.7	2.792	0.2594

Fuente: Mecánica de fluidos séptima edición. Robert L Moot -Joseph A. Untener

16. B. Anexo: Dimensiones de tubería de PVC

	Diámetro Nominal		Referencia	Peso	Diámetro Exterior Promedio		Espesor de Pared Mínimo		Diámetro Interior Promedio
	mm	pulg.			mm	pulg.	mm	pulg.	
RDE 9 PVC Presión de Trabajo a 23°C: 500 PSI	21	1/2	12633	218	21.34	0.840	2.37	0.093	16.60
RDE 11 PVC Presión de Trabajo a 23°C: 400 PSI	26	3/4	12560	304	26.67	1.050	2.43	0.095	21.81
RDE 13.5 PVC Presión de Trabajo a 23°C: 315 PSI	21	1/2	12567	157	21.34	0.840	1.58	0.062	18.18
	33	1	12563	364	33.40	1.315	2.46	0.097	28.48
RDE 21 PVC Presión de Trabajo a 23°C: 200 PSI	26	3/4	12592	189	26.67	1.050	1.52	0.060	23.63
	33	1	12571	252	33.40	1.315	1.60	0.063	30.20
	42	1.1/4	12577	395	42.16	1.660	2.01	0.079	38.14
	48	1.1/2	12574	514	48.26	1.900	2.29	0.090	43.68
	60	2	12582	811	60.32	2.375	2.87	0.113	54.58
	73	2.1/2	12585	1185	73.03	2.875	3.48	0.137	66.07
	88	3	12588	1761	88.90	3.500	4.24	0.167	80.42
114	4	12596	2904	114.30	4.500	5.44	0.214	103.42	

Fuente: Mecánica de fluidos séptima edición. Robert L Moot -Joseph A. Untener

17. C. Anexo: rugosidad de la tubería

Material	Rugosidad ϵ (m)	Rugosidad ϵ (ft)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	3.0×10^{-7}	1.0×10^{-6}
Tubo estirado; cobre, latón, acero	1.5×10^{-6}	5.0×10^{-6}
Acero, comercial o soldado	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-4}
Hierro galvanizado	1.5×10^{-4}	5.0×10^{-4}
Hierro dúctil —revestido	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Hierro dúctil —sin revestir	2.4×10^{-4}	8.0×10^{-4}
Concreto, bien hecho	1.2×10^{-4}	4.0×10^{-4}
Acero remachado	1.8×10^{-3}	6.0×10^{-3}

Fuente: Mecánica de fluidos séptima edición. Robert L Moot -Joseph A. Untener

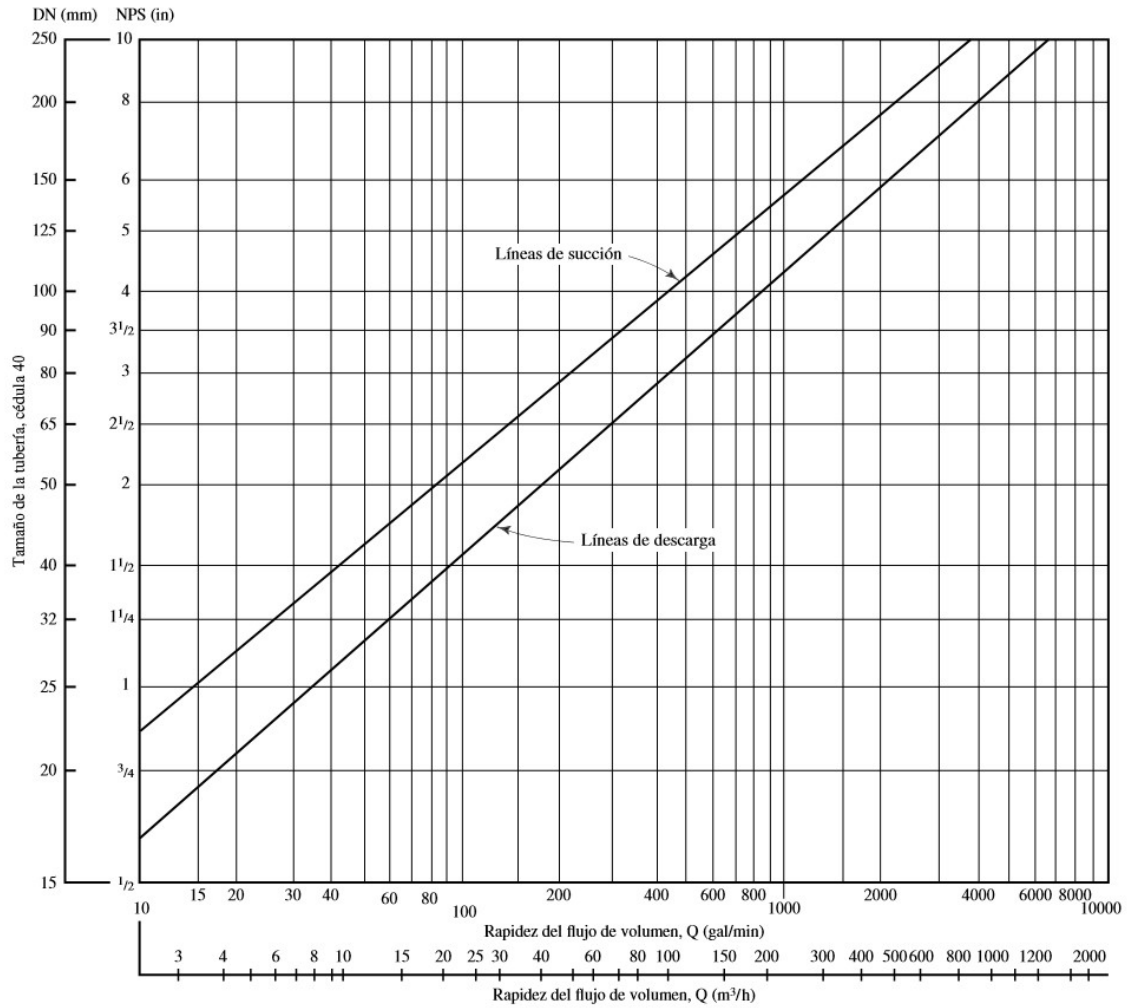
18. D. Anexo: propiedades del agua

TABLA A.1 Unidades del SI [101 kPa (abs)]

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^{-6}
5	9.81	1000	1.52×10^{-3}	1.52×10^{-6}
10	9.81	1000	1.30×10^{-3}	1.30×10^{-6}
15	9.81	1000	1.15×10^{-3}	1.15×10^{-6}
20	9.79	998	1.02×10^{-3}	1.02×10^{-6}
25	9.78	997	8.91×10^{-4}	8.94×10^{-7}
30	9.77	996	8.00×10^{-4}	8.03×10^{-7}
35	9.75	994	7.18×10^{-4}	7.22×10^{-7}
40	9.73	992	6.51×10^{-4}	6.56×10^{-7}
45	9.71	990	5.94×10^{-4}	6.00×10^{-7}
50	9.69	988	5.41×10^{-4}	5.48×10^{-7}
55	9.67	986	4.98×10^{-4}	5.05×10^{-7}
60	9.65	984	4.60×10^{-4}	4.67×10^{-7}
65	9.62	981	4.31×10^{-4}	4.39×10^{-7}
70	9.59	978	4.02×10^{-4}	4.11×10^{-7}
75	9.56	975	3.73×10^{-4}	3.83×10^{-7}
80	9.53	971	3.50×10^{-4}	3.60×10^{-7}
85	9.50	968	3.30×10^{-4}	3.41×10^{-7}
90	9.47	965	3.11×10^{-4}	3.22×10^{-7}
95	9.44	962	2.92×10^{-4}	3.04×10^{-7}
100	9.40	958	2.82×10^{-4}	2.94×10^{-7}

Fuente: Mecánica de fluidos séptima edición. Robert L Moot -Joseph A. Untener

19. E. Anexo: Selección tamaño de la tubería



Fuente: Mecánica de fluidos séptima edición. Robert L Moot -Joseph A. Untener

20. F.Anexo: Longitudes equivalentes

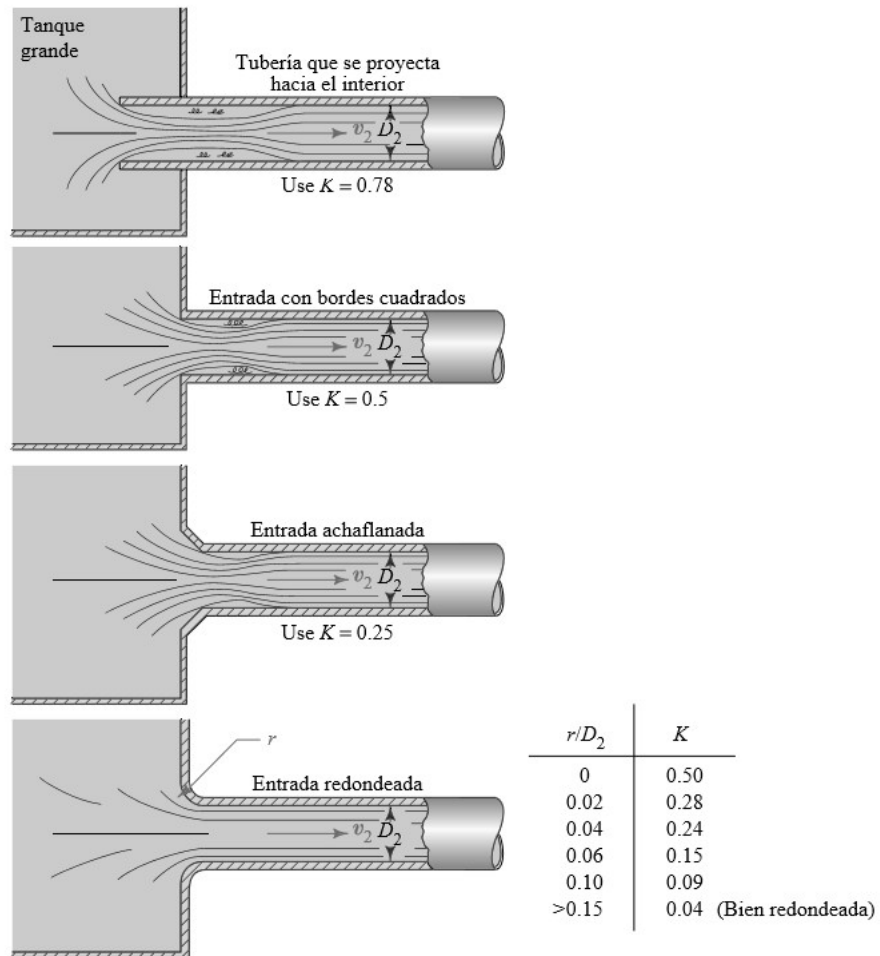
TABLA 10.4 Resistencia en válvulas y accesorios expresada como la longitud equivalente en diámetros de tubería, L_e/D

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería L_e/D
Válvula de globo —totalmente abierta	340
Válvula de ángulo —totalmente abierta	150
Válvula de compuerta —totalmente abierta	8
—abierta $\frac{3}{4}$	35
—abierta $\frac{1}{2}$	160
—abierta $\frac{1}{4}$	900
Válvula de retención —tipo oscilante	100
Válvula de retención —tipo bola	150
Válvula de mariposa —totalmente abierta, 2-8 in	45
—10-14 in	35
—16-24 in	25
Válvula de pie —tipo disco de vástago	420
Válvula de pie —tipo disco de bisagras	75
Codo estándar de 90°	30
Codo de 90° y radio largo	20
Codo de 90° para calle	50
Codo estándar de 45°	16
Codo de 45° para calle	26
Doble de retorno cerrado	50
Te estándar —con flujo por la línea principal	20
—con flujo por la ramificación	60

(Reproducido con autorización de Crane Co. *Flow of Fluids through Valves, Fittings and Pipe*, artículo técnico núm. 410, 2011. Todos los derechos reservados).

Fuente: Mecánica de fluidos séptima edición. Robert L Moot -Joseph A. Untener

21. G. Anexo: figura de pérdidas menores



Fuente: Mecánica de fluidos séptima edición. Robert L Moot -Joseph A. Untener

22. H. Anexo: unidades requeridas para obtener el numero de Reynolds

TABLA 8.1 Unidades estándar para cantidades usadas en el cálculo del número de Reynolds para asegurar que sea adimensional

Cantidad	Unidades del SI	Unidades de uso común en Estados Unidos
Velocidad	m/s	ft/s
Diámetro	M	ft
Densidad	kg/m ³ o N·s ² /m ⁴	slugs/ft ³ o lb·s ² /ft ⁴
Viscosidad dinámica	N·s/m ² o Pa·s o kg/m·s	lb·s/ft ² o slugs/ft·s
Viscosidad cinemática	m ² /s	ft ² /s

Fuente: Mecánica de fluidos séptima edición. Robert L Moot -Joseph A. Untener.

se debe utilizar cuidadosamente las unidades de medición para garantizar que el número de Reynolds sea adimensional, en esta tabla se enlistan las unidades requeridas tanto en el sistema SI como en el de estados unidos.

23. i. Anexo: tabla de ampacidad de conductores eléctricos

CABLES THW						
Calibre AWG o kcmil	No. Hilos	Clase Cableado	Diámetro Conductor (mm)	Espesor Aislamiento (mm)	Diámetro Sobre Aislamiento (mm)	Peso Total Aprox (kg/km)
14	7	B	1,79	0,76	3,39	28
12	7	B	2,25	0,76	3,85	41
10	7	B	2,85	0,76	4,45	62
8	7	B	3,59	1,14	5,97	103
6	7	B	4,52	1,52	7,69	166
4	7	B	5,71	1,52	8,88	247
2	7	B	7,20	1,52	10,37	373
1	19	B	7,90	2,03	12,08	479
1/0	19	B	8,88	2,03	13,06	589
2/0	19	B	9,96	2,03	14,15	727
3/0	19	B	11,19	2,03	15,37	899
4/0	19	B	12,56	2,03	16,75	1115
250	37	B	14,18	2,41	19,15	1337
350	37	B	16,78	2,41	21,75	1828
500	37	B	20,04	2,41	25,01	2558

Fuente: cables centelsa

24. J. Anexo: Arrancador suave



Arrancadores suaves 3RW5216

^ General

Tensiones soportadas [V]	200..480, 200..600
Tensión de alimentación de mando [V]	110 - 250 V AC, 24 V AC/DC
Temperatura ambiente [°C]	40
Corriente asignada [A]	32
Opciones de bornes	Bornes de tornillo, Bornes de resorte
Tamaño	16
Altitud de instalación máx. [m]	5000
Corriente mínima soportada [A]	14
Corriente mín. de arranque soportada	1.30
Corriente máx. soportada [A]	224
Tensión mín. relativa soportada	30
N.º máx. de arranques/h	28
Tiempo de parada sup. [s]	20
Tiempo de arranque máx. soportado [s]	20
Conexión dentro del triángulo	✓
Ventilador adicional	x

Fuente: industry.siemens.co

25. k.Anexo. Taba utilizada para el dato de la presión de vapor en metros

TABLA 13.2 Presión de vapor y carga de la presión de vapor para el agua

Temperatura °C	Presión de vapor kPa (abs)	Peso específico (kN/m ³)	Carga de la presión de vapor (m)	Temperatura °F	Presión de vapor (psia)	Peso específico (lb/ft ³)	Carga de la presión de vapor (ft)
0	0.6105	9.806	0.06226	32	0.08854	62.42	0.2043
5	0.8722	9.807	0.08894	40	0.1217	62.43	0.2807
10	1.228	9.804	0.1253	50	0.1781	62.41	0.4109
20	2.338	9.789	0.2388	60	0.2563	62.37	0.5917
30	4.243	9.765	0.4345	70	0.3631	62.30	0.8393
40	7.376	9.731	0.7580	80	0.5069	62.22	1.173
50	12.33	9.690	1.272	90	0.6979	62.11	1.618
60	19.92	9.642	2.066	100	0.9493	62.00	2.205
70	31.16	9.589	3.250	120	1.692	61.71	3.948
80	47.34	9.530	4.967	140	2.888	61.38	6.775
90	70.10	9.467	7.405	160	4.736	61.00	11.18
100	101.3	9.399	10.78	180	7.507	61.58	17.55
				200	11.52	60.12	27.59
				212	14.69	59.83	35.36

Fuente: Mecánica de fluidos séptima edición. Robert L Moot -Joseph A. Untener.

se utiliza para el cálculo del $NPSH_D$.

26. Referencias Bibliográficas

[1] Naranjo-Bayona & Rey. *Cálculo de las pérdidas de carga de un sistema de redes hidráulicas en una planta de tratamiento de agua industrial en Barrancabermeja, Santander*. 2020.

<http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/4783>

[2] Martines & Castillo. *Análisis energético de los sistemas de bombeo del molino uno de cartón Colombia para una posible mejora de su eficiencia*. 2013.

<https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/5249/TME01630.pdf?sequence=1>

[3] Ilatoma, E. *Diseño de un sistema de bombeo automatizado para mejorar el suministro de agua en el hospital regional de Lambayeque*. 2018

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/30231/Medina_IE.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[4] Calderón & Pozo. *Diseño y construcción de un banco de pruebas para pérdidas de carga en tuberías y accesorios con simulación*. 2011.

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16432/1/UPS-KT00162.pdf>

[5] Larson, J., Aguilar, C., González, F., & Rodríguez, J. *Si más es menos, menos podría ser más: alimentación, medio ambiente y salud*. 2019

- [6] Mott &Untener, (2015) Mecánica de fluidos. Pearson
- [7] Bahus & Custodio (2003) Know and Understand Centrifugal Pumps. Elsevier Ltd
- [8] W.K. Chen. The electrical engineering handbook. United States: Academic Press Boston, 2005. / electric motor.
- [9] W.K. Chen. The electrical engineering handbook. United States: Academic Press Boston, 2005 / soft starter.
- [10] W.K. Chen. The electrical engineering handbook. United States: Academic Press Boston, 2005 / electric motor curves
- [11] Bueno, D. (2014). Motor Eléctrico - Tipos y Fundamentos. Tipos Y Fundamentos, 17.
Retrieved from <https://1mecanizadoelarenal.files.wordpress.com/2014/11/motorelectrico.pdf>
- [12] Cables Centelsa (2002). Cables y tecnología.
<https://www.centelsa.com/archivos/5344cd0e.pdf>
- [13] EIA. Buenas Practicas Energéticas. 2021
<https://comunidad.eia.edu.co/blog/buenas-practicas-para-el-ahorro-de-energia/>