

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

*Trabajo de titulación previo
a la obtención de título de
Ingeniero Mecánico*

PROYECTO TÉCNICO:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO DE PASTIZALES PARA LA
CRIANZA DE GANADO VACUNO EN LA HACIENDA SAN
ALFONSO DEL CANTÓN PONCE ENRÍQUEZ”**

AUTORES:

ALFONSO ISMAEL VEINTIMILLA PIEDRA
RONALD MARCELO LALANGUI CHAPA

TUTOR:

ING. FRAN ZHOVANI REINOSO AVECILLAS, M.Sc.

CUENCA - ECUADOR

2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Alfonso Ismael Veintimilla Piedra con documento de identificación N° 0706342581 y Ronald Marcelo Lalangui Chapa con documento de identificación N° 0705280204, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO DE PASTIZALES PARA LA CRIANZA DE GANADO VACUNO EN LA HACIENDA SAN ALFONSO DEL CANTÓN PONCE ENRÍQUEZ”**, mismo que ha sido desarrollado para obtener el título de: *Ingeniero Mecánico*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, noviembre de 2021.



Alfonso Ismael Veintimilla Piedra
C.I. 0706342581



Ronal Marcelo Lalangui Chapa
C.I. 0705280204

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO DE PASTIZALES PARA LA CRIANZA DE GANADO VACUNO EN LA HACIENDA SAN ALFONSO DEL CANTÓN PONCE ENRÍQUEZ”**, realizado por Alfonso Ismael Veintimilla Piedra y Ronald Marcelo Lalangui Chapa, obteniendo el *Proyecto Técnico* que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, noviembre de 2021.



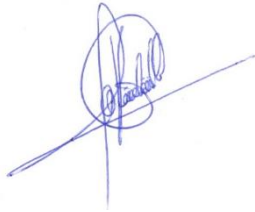
Ing. Fran Zhovani Reinoso AVECILLAS, M.Sc.

C.I. 0102257425

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Alfonso Ismael Veintimilla Piedra con documento de identificación N° 0706342581 y Ronald Marcelo Lalangui Chapa con documento de identificación N° 0705280204, autores del trabajo de titulación: **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO DE PASTIZALES PARA LA CRIANZA DE GANADO VACUNO EN LA HACIENDA SAN ALFONSO DEL CANTÓN PONCE ENRÍQUEZ”**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico*, es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, noviembre de 2021.



Alfonso Ismael Veintimilla Piedra
C.I. 0706342581



Ronal Marcelo Lalangui Chapa
C.I. 0705280204

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo a mi abuela Grimanesa, quien supo guiarme con buenos valores y me brindó su apoyo incondicional como lo haría una madre.

A mi esposa Diana que siempre con su amor ilumina mis días.

A mi hermano Javier que gracias a su apoyo de toda la vida he tomado decisiones correctas y me he mantenido firme en la vida.

A todos los docentes y amigos de la Universidad por acompañarme en todo momento en el camino del conocimiento.

Alfonso Veintimilla ...

Mi tesis va dedicada con todo el amor y cariño a mi familia, Aylin y Diana por ser mi fuente de motivación e inspiración.

A mis padres y hermana, por ser quienes me mostraron el camino a la superación y me enseñaron a luchar cada día para un futuro mejor.

A todas aquellas personas que estuvieron por estos cinco años de carrera que, sin querer compartimos alegrías y tristezas.

Gracias a todos.

Ronald Lalangui ...

Agradecimientos

Quiero agradecer a Dios por acompañarme en los momentos más difíciles y a la vida por regalarme tanto.

A mi familia quienes han ayudado en mi formación de manera decisiva con sus consejos y apoyo constante.

Y a todas las personas que he conocido durante mi estancia en la Universidad quienes se volvieron mis amigos y aportaron significativamente a mis estudios.

Alfonso Veintimilla ...

Gracias a Dios por permitirme progresar en mis estudios y a su vez disfrutar de mi familia, agradezco a mis padres y hermana por permitirme cumplir con excelencia el desarrollo de mi carrera, agradezco a la vida por enseñarse a valorar lo bueno y lo malo que ha transcurrido durante todo este tiempo.

Agradezco mucho a la universidad a mis maestros y compañeros por darme la bienvenida a este mundo estudiantil, que serán parte de mis más hermosos recuerdos.

Gracias a todos.

Ronald Lalangui ...

Resumen

El presente estudio tiene como propósito diseñar un sistema de riego de pastizales para la crianza de ganado vacuno en la hacienda San Alfonso del Cantón Ponce Enríquez de la Provincia del Azuay, para el efecto se realiza una revisión bibliográfica para determinar los requerimientos de consumo agua para el cultivo de pasto empleado en la crianza de ganado vacuno y estudiar los diferentes sistemas de riego; con la información obtenida, se procede a realizar el diseño hidráulico, mecánico del sistema de bombeo, para finalmente elaborar un estudio presupuestario del proyecto. Los resultados del proceso de diseño muestran que el sistema de riego más conveniente es por aspersión, garantizando un caudal firme de 108 [m^3/h] para irrigar y mantener un alto aporte nutricional de los pastizales cultivados con la variedad Panicum Maximun.

Palabras clave: Sistema de riego, pastos, ganado, Ponce Enríquez.

Abstract

The purpose of this study is to design a pasture irrigation system for cattle raising in the San Alfonso farm in the Ponce Enriquez canton of the Province of Azuay. To this end, a bibliographic review is carried out to determine the water consumption requirements for the pasture crop used in cattle raising and also to study the different irrigation systems; with the information obtained, the hydraulic and mechanical design of the pumping system is carried out, to finally prepare a budget study for the project. The results indicate that the most convenient irrigation system is by sprinkling, guaranteeing a steady flow of 108 [m³/h] to irrigate and maintain a high nutritional contribution of the pastures cultivated with the Panicum Maximun variety.

Keywords: Irrigation system, pastures, cattle, Ponce Enríquez.

ÍNDICE GENERAL

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR	II
CERTIFICACIÓN	III
DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD	IV
Dedicatoria	V
Agradecimientos	VI
Resumen	VII
Abstract	VIII
1. INTRODUCCIÓN	18
2. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	20
2.1. Antecedentes.....	20
2.2. Planteamiento del problema	22
2.3. Problemas específicos.....	22
2.4. Justificación e importancia.....	23
2.5. Grupo objetivo	24
2.6. Objetivos	25
2.6.1. Objetivo general	25
2.6.2. Objetivos específicos.....	25
3. MARCO TEÓRICO	26
3.1. Crianza de ganado vacuno	26
3.1.1. Consumo de agua del ganado bovino.....	26
3.2. Cultivo de pastizales.....	27
3.2.1. Conductividad hidráulica en el suelo.....	27
3.2.2. Pasto Panicum Maximun	28
3.3. Sistemas de riego.....	28
3.3.1. Eficiencia de riego	29

3.3.2.	Sistema por goteo.....	29
3.3.2.1.	Componentes del sistema y características del riego por goteo.....	30
3.3.2.2.	Ventajas y desventajas del sistema por goteo.....	31
3.3.3.	Sistema por gravedad.....	31
3.3.4.	Sistema por aspersión.....	32
3.3.4.1.	Variaciones del sistema de aspersión.....	32
3.3.4.2.	Ventajas y usos especiales del sistema por aspersión.....	33
3.4.	Disposición general del sistema de captación de agua y desarenador.....	34
3.5.	Características dimensionales del reservorio.....	36
3.6.	Condiciones para el diseño del desarenador.....	37
3.6.1.	Variables que afectan la sedimentación.....	39
3.6.2.	Componentes del desarenador.....	40
3.6.3.	Criterios de diseño.....	40
3.6.4.	Procedimiento para el dimensionamiento del desarenador.....	42
3.7.	Procedimiento de dimensionado de la red de tuberías del sistema de bombeo.....	45
3.7.1.	Parámetros para el análisis de la red de riego.....	48
3.7.2.	Condición para la eficiencia del sistema de riego por aspersión.....	49
3.8.	Tipos de aspersores recomendados para riego.....	50
3.9.	Bombas para el riego.....	51
3.10.	Bombas hidráulicas.....	52
3.10.1.	Tipos de accionamiento de bombas hidráulicas.....	52
3.10.2.	Selección de bombas hidráulicas.....	53
3.10.3.	Procedimiento de diseño con velocidad específica como guía.....	54
3.11.	Identificación del punto característico del sistema de bombeo.....	55
3.11.1.	Desarrollo de la curva característica del sistema.....	56
3.12.	Selección para mayor eficiencia.....	57
3.12.1.	Diagnóstico de problemas en las bombas centrífugas.....	57

3.12.2.	Inversiones de flujo en bombas centrífugas	58
3.12.3.	Recomendaciones para bombas de proceso	59
3.13.	Carga neta positiva de succión requerida	60
3.13.1.	Diseño de tuberías para condiciones de succión.....	61
3.13.2.	Especificaciones para evitar la cavitación	62
3.13.3.	Mantenimiento y problemas con las bombas centrífugas	62
3.13.4.	Características o elementos constituidos de la casa de máquinas	63
3.14.	Equipamiento complementario de los sistemas de bombeo.....	64
3.14.1.	Parámetros a considerar antes de operar	64
3.14.2.	Esquema del sistema de monta carga polipasto	65
3.15.	Efecto de la implementación de riego en la calidad de los pastizales	66
4.	DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO	69
4.1.	Características del esquema general.....	70
4.2.	Selección del sistema de riego	72
4.2.1.	Parámetros del sistema de riego	74
4.3.	Condiciones para el dimensionamiento del desarenador	75
4.4.	Selección del aspersor a utilizar	77
4.5.	Disposición general de la casa de máquinas	78
4.6.	Selección del material para la tubería	79
4.7.	Cálculo del diámetro económico	80
4.8.	Cálculo de caudal por tramo en las tuberías	81
4.9.	Selección de la bomba centrífuga.....	82
4.9.1.	Ecuación de la curva resistente	83
4.9.2.	Cálculo del NPSH	85
4.10.	Punto de operación por la curva de la bomba y sistema	87
4.11.	Características de la bomba hidráulica seleccionada.....	88
4.12.	Accesorios para la instalación de la bomba	89

4.13.	Sistema de combustible y eléctrico	90
4.14.	Sistema de bombas en paralelo para fines de mantenimiento y auxiliar	91
4.14.1.	Regulación por estrangulamiento con válvulas en paralelo	91
4.14.2.	Selección para estación de bombeo auxiliar al sistema en marcha	92
4.15.	Discusión de resultados.....	93
5.	ESTUDIO PRESUPUESTARIO	94
5.1.	Costos de construcción	94
5.2.	Discusión de los gastos directos.....	99
5.3.	Costos unitarios del sistema de bombeo	100
5.4.	Gastos Indirectos.....	101
5.5.	Egresos Anuales	102
5.6.	Discusión de resultados.....	102
6.	CONCLUSIONES	104
7.	RECOMENDACIONES	106
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
Anexo I.	Plano técnico de la captación.....	116
Anexo II.	Plano técnico general de la captación, la casa de máquinas, longitudes y alturas de la tubería.....	117
Anexo III.	Plano técnico de la casa de máquinas y la configuración de tuberías	118
Anexo IV.	Plano técnico general del sistema de riego con todos sus componentes.....	119
Anexo V.	Método de Hardy Cross: programa en Microsoft Excel	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fotografía satelital del área y los límites se aprecian en la línea blanca mientras que el Río Fermín se muestra con rojo	21
Figura 2: Sistema de riego por goteo	30
Figura 3: Sistema de riego por goteo, se presenta la tubería a nivel de superficie	30
Figura 4: Aplicación del sistema de riego por gravedad o surcos.....	32
Figura 5: Sistema de aspersión sin riegas	33
Figura 6: Sistema de aspersión con ruedas.	33
Figura 7: Planteamiento del esquema general del sistema de riego	35
Figura 8: Modelo de desarenador	36
Figura 9: Esquema del reservorio	37
Figura 10: Vertedero dimensiones principales	38
Figura 11: Relaciones para dimensionamiento de la zona de entrada y sedimentación ..	41
Figura 12: Detalle para dimensionamiento de partes del desarenador	42
Figura 13: Diagrama de corrientes para flujos de Reynolds	45
Figura 14: Método de Hardy Cross	47
Figura 15: Fuente de accesorios del sistema de riego	48
Figura 16: Configuración de red de tubería en la situación más desfavorable abajo y arriba se presenta la longitud de cada tramo de la tubería junto con parámetros del fluido y material	49
Figura 17: Algoritmo para la selección de la bomba centrífuga	54
Figura 18: Gráfica de la curva característica	55
Figura 19: Curva característica de una bomba.....	56
Figura 20: Patrones de flujo en el impulsor en condiciones que no son de máxima eficiencia	58
Figura 21: La recirculación puede ocasionar cavitación	59
Figura 22: Datos de rendimiento para bomba centrífuga vertical de turbina.....	60
Figura 23: El punto de cavitación incipiente influye en las condiciones de succión de la bomba	61
Figura 24: Las presiones en la voluta de la bomba varían según la posición de la voluta y el flujo	62
Figura 25: Magnitud del empuje radial con diversos flujos	63
Figura 26: Esquema de una instalación de bombeo	64
Figura 27: Vista 3D del sistema de polipasto en el rail de carga	65

Figura 28: Vista frontal de la ubicación de la bomba en CM.....	66
Figura 29: Comparación de leche en base a dos sistemas de producción	67
Figura 30. Esquema general del sistema de riego	70
Figura 31: Red de tuberías considerada para el análisis por Hardy-Cross en la situación más desfavorable	71
Figura 32. Detalle constructivo de alturas y longitudes del sistema de riego	71
Figura 33: Vista interna del desarenador y dimensiones.....	76
Figura 34: Plano arquitectónico de la distribución en casa de máquinas.....	78
Figura 35: Organización de la casa de máquinas	79
Figura 36: Selección de bomba del catálogo marca comercial (SHINKO).....	83
Figura 37. Curva resistente del sistema	85
Figura 38. Catálogo de la marca comercial – Req NPSH (SHINKO)	86
Figura 39. Punto de operación sistema-bomba	87
Figura 40: Datos técnicos de la bomba centrífuga	88
Figura 41: Accesorios para el sistema de instalación.....	89
Figura 42: Sistema de combustible fósil y eléctrico	90
Figura 43: Sistemas de estrangulamiento para válvulas en paralelo.....	91
Figura 44: Sistema auxiliar para bombas en paralelo.....	92
Figura 45: Velocidad específica para la selección preliminar de la bomba centrífuga de una velocidad	129

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Eficiencias de sistemas de riego.....	29
Tabla 2: Valores típicos de uso consuntivo pico diario y estacional en algunos cultivos en mm en condiciones climáticas medias.	34
Tabla 3: Eficiencia de aplicaciones del agua en algunos sistemas de riego por aspersión en condiciones ambientales favorables.	34
Tabla 4: Relación entre diámetro de las partículas y velocidad de sedimentación.....	37
Tabla 5: Clasificación de los aspersores tipo HS.....	50
Tabla 6: Observaciones para el uso de aspersores.....	51
Tabla 7: Diámetro óptimo calculado.	72
Tabla 8: Ponderaciones para la selección del sistema de riego conveniente.	73
Tabla 9: Datos de diseño iniciales para el sistema de riego.	73
Tabla 10: Parámetros de diseño.....	74
Tabla 11: Ponderaciones para la selección del aspersor.....	77
Tabla 12: Ponderaciones de materiales para tubería.	80
Tabla 13: Diámetro comercial seleccionado.	81
Tabla 14: Caudales iniciales y diámetros de tuberías comerciales.....	82
Tabla 15: Resultados del Método Hardy-Cross.	82
Tabla 16: Costos.....	96
Tabla 17: Costos unitarios de ejecutar el sistema de captación.....	100
Tabla 18: Mano de obra directa.....	101
Tabla 19: CIF.....	101
Tabla 20: Egresos	102
Tabla 21: Iteraciones de red mallada o reticular.	120

SIMBOLOGÍA

A continuación, se muestran las simbologías utilizadas en algunas de las ecuaciones para el diseño del sistema de riego.

V : Velocidad del flujo [m/s], es la longitud del vector y un escalar.

ρ : Densidad del fluido [kg/m³], es la cantidad de masa en un volumen y un escalar.

μ : Viscosidad cinemática del fluido [m²/s], relaciona la viscosidad dinámica con la densidad del líquido.

D : Diámetro del conducto [m], usado para el estudio del comportamiento del flujo.

Q : Caudal del flujo [m³/s], cantidad de flujo que circula por la unidad de tiempo en un sistema.

ε : Coeficiente de rugosidad [m], determina la resistencia de un flujo en un canal.

k : Coeficiente de accesorio, son coeficientes de pérdida en los accesorios, obtenidos a través de tablas.

L : Longitud de la tubería [m], tramo del sistema medido en metros.

L_e : Longitud equivalente [m], resumen de todos los accesorios para obtener una longitud total, usado para el cálculo de pérdida de presión.

L_T : Longitud total [m] ($L + L_e$), es la sumatoria de las longitudes y la longitud equivalente.

h_f : pérdida de carga [mca], es la pérdida de presión producida por la fricción entre las partículas del fluido y las paredes de conductor, de manera que modifica la energía del propio flujo.

n : Exponente de caudal 1.851 para Hazen & Williams y 2 para Darcy & Weisbach.

G : Flujo másico [kg/s], expresa la variación de la masa con respecto al tiempo en un área.

η : Eficiencia mecánica [%], cociente de la potencia transmitida por la bomba al fluido entre la potencia suministrada a la bomba.

P : Presión [Pa], es la presión que sufren los cuerpos al ser sumergidos en un líquido por el simple hecho de estar dentro de este.

rpm: Revoluciones por minuto [rpm], es la velocidad específica usada en la bomba.

NPSH: (*Net Positive Suction Head*), es la altura neta positiva de aspiración” y representa una de las características más importantes para una bomba, también conocido como ANPA y CNPA, es una cantidad utilizada en el análisis de la cavitación de una instalación hidráulica, además es un parámetro importante en el diseño de un circuito de bombeo que ayuda a conocer la cercanía de la instalación a la cavitación.

Ns: La velocidad específica es un número adimensional el cual es función del caudal, la velocidad de rotación o rpm del motor y la carga o altura de bombeo.

HI: El Instituto Hidráulico es la autoridad mundial en bombas y sistemas de bombeo. es una asociación de bombas de fabricantes y proveedores de bombas centrífugas rotodinámicas y de desplazamiento positivo cuya misión es ser un recurso de valor agregado para las empresas.

BEP: Punto máximo de rendimiento de la bomba.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años el área dedicada a la producción agrícola y ganadera ecuatoriana enmarca nuevos cambios de optimación como son el tratado de pastizales para el buen desarrollo del vacuno y sus derivados, por tanto, la mención de producción en la rama de ingeniería mecánica se dedica a desarrollar nuevos sistemas que mejoren estos procesos.

El conocimiento en la implementación o una metodología de mejora en los grandes pastizales, los cuales son el alimento y minerales vitales de todas razas de ganados existentes en la provincia del Azuay; es deficiente, ya que dependen netamente de los parámetros climatológicos, sin tener la opción de controlar mediante sistemas automatizados, como por ejemplo sistemas de riegos que son captados directamente desde ríos o desembocaduras, por esta razón, se presenta el siguiente estudio donde se establece un diseño de sistema de riego en pastizales para la crianza de ganado vacuno, el cual pretende cubrir un área dedicada a la ingeniería, y que podrá ser implementado como guía en cualquier zona del Ecuador, cumpliendo los parámetros establecidos en el propio diseño del sistema y necesidades del cliente.

A continuación, se detalla brevemente la situación actual del desarrollo agrícola en el Ecuador, la cual esta principalmente el riego en mayor parte, tanto en los campos de cultivo como en los pastizales para la cría de ganado, en especial el ganado vacuno, el cual es destinado a la producción de leche y carne; se necesita de los sistemas de riego para producir con mayor eficiencia en el sector pecuario. Por esta razón, el agricultor y el ganadero se han visto en la necesidad de llevar el líquido vital desde las vertientes y ríos hasta sus propiedades mediante la implementación de algún sistema de bombeo, por lo general, funciona a partir de combustibles fósiles o energía eléctrica; estos sistemas de impulsión representan el 100 % de los utilizados hasta hoy en territorio ecuatoriano.

La construcción de sistemas inteligentes en el país también es una tendencia que se aplica día a día, evolucionando los sistemas de riego, siendo estos automatizados que controlan la temperatura, humedad, el ajuste de los caudales en el riego; así mismo, que detecten y controlen accidentes como inundaciones así lo menciona Luis Guiñansaca en su estudio de ganadería sostenible [1].

Se debe recalcar que la contribución económica del sector pecuario al Producto Interno Bruto (PIB) agrícola de Ecuador ha mantenido contribuciones promedio del 9.6% y 10.7 % en los subsectores de leche y carne según el estudio realizado por [2], en su estudio

probabilístico [3], la encuesta nacional de empleo, desempleo y subempleo (ENEMDU), elaborada por el instituto nacional de estadísticas y censos (INEC) realizada en marzo del 2018, informa que el área de la agricultura, ganadería, caza y silvicultura, y pesca concentran la mayor participación del empleo en el país con el 28,3 %, en los informes aportados por [4].

Expuesto el estado actual en los sistemas de riego en el Ecuador y ante las necesidades principales de los menores y mayores productores de productos de vital consumo masivo, se presenta el siguiente proyecto técnico que está estructurado en los capítulos III, IV y V.

En el capítulo II se muestra la problemática en el cultivo de pasto para la crianza de ganado, los sistemas de riego actuales, su principio de funcionamiento, ventajas y desventajas del uso de diferentes estrategias de riego, diseño y clasificación de los aspersores.

El capítulo III, se muestra el marco teórico que hace referencia a los parámetros de estudio para la selección de bombas centrífugas, los diagnósticos de problemas en las bombas centrífugas, sistemas de flujo y recomendaciones para bombas de proceso, determinación de los parámetros iniciales para el sistema de riego y el sistema de captación, desarenador, además se muestra información asociada al riego de pastizales para consumo bovino, crianza y consumo de agua del ganado, análisis del tipo de suelo. En este capítulo se menciona los 3 sistemas de riego más convenientes para nuestra aplicación.

En el capítulo IV, se presenta el diseño y selección del sistema de riego, la implementación de sistemas principales de accionamiento, combustibles, selección del aspersor, planos técnicos de la casa de máquina y su organización. También se presenta los parámetros de funcionamiento de la bomba y puntos de operación con el sistema de red de tuberías establecido.

Por último, el capítulo V, presenta el análisis presupuestario del proyecto detallando los costos de cada accesorio, para concluir presentando el valor total del proyecto.

2. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

Diseño de un sistema de riego de pastizales para la crianza de ganado vacuno en la “Hacienda San Alfonso” del Cantón Ponce Enríquez.

2.1. Antecedentes

El sector pecuario en Ecuador representa un sector productivo importante debido a que involucra mano de obra rural, produce alimentos que forman parte de la alimentación diaria de las personas como son los cárnicos – lácteos y otros bienes de materia prima; ocupa un importante espacio del territorio, según datos de la encuesta de superficies de producción agropecuaria continua (ESPAC) 2010, el área de pastos cultivados representa el 47 % de todas las tierras de uso agrícola en Ecuador según lo especifica [5][73].

En el 2018 en Ecuador la superficie plantada de pastos cultivados fue de 2'382.448 [hectáreas], siendo las variedades Saboya y pasto mixto las más representativas a nivel nacional. En este sector predomina el ganado vacuno con un total de 4,1 millones de cabezas a nivel nacional, la región sierra concentra la mayor cantidad de cabezas de ganado con un 48,4 % del total nacional, seguida por la costa con el 42,4 % según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC).

La producción total de leche a nivel nacional fue de 5,0 millones de litros. La provincia de Pichincha produce el 15,7 % del total nacional, con un rendimiento de 10,4 [l/vacuno] [6]. La provincia del Azuay, por su ubicación geográfica, posee 3 pisos altitudinales: zona sierra, estribación y costanera; en cada una de estas, el propósito de las ganaderías difiere. En el cantón *Ponce Enríquez*, sólo las ganaderías pequeñas se dedican a la producción de leche, las medianas y grandes al doble propósito (leche y carne). El objetivo de la ganadería varía según el piso altitudinal de cada cantón, por lo que, en Ponce Enríquez, como se encuentra a una altura entre los 50 - 1200 [msnm], se dedica al doble propósito [7].

El instituto nacional de hidrología y meteorología (INAMHI) en la Machala-UTM-Pagua M0185, el máximo período de precipitaciones (invierno) se concentra en los meses de enero hasta junio con un máximo de 300 [mm] y en los meses de julio hasta diciembre (verano) la máxima precipitación es de 115 [mm]. El rango de precipitaciones anuales en el cantón Ponce Enríquez va desde los 1000 – 1250 [mm], con un total de 6 meses secos [8], por lo tanto, en la mitad del año tenemos una escasez de agua, para la cobertura de crecimiento

y desarrollo de los pastizales, que son el elemento esencial para la crianza y alimentación del ganado vacuno de grande y pequeña escala, además para el cultivo de cacao [9].

El presente proyecto técnico contempla realizar el diseño del sistema de riego basado en la eficiencia, la adaptación al terreno y tipo de cultivo, implementando una captación en el Río Fermín ubicado en el mapa de Camilo Ponce Enríquez, Azuay, como se observa en la *Figura 1*, llevando hasta un cuarto de máquinas con un tanque de almacenamiento encargado de la distribución del agua mediante una red de tuberías subterráneas ubicados por todo el terreno con torretas móviles durante el período de sequía como lo especifica Arce Pindo en su proyecto [10].



Figura 1: Fotografía satelital del área y los límites se aprecian en la línea blanca mientras que el Río Fermín se muestra con rojo. **Fuente:** Adaptado de [11].

La implementación del sistema de riego está representada por la escalabilidad, imitación y el costo/beneficio como variable que depende de factores como el precio y el incremento del consumo de la carne bovina en el mercado ecuatoriano.

La *Hacienda San Alfonso* cuenta con una extensión de aproximadamente 404 hectáreas de las cuales el 96,04 % son pastos cultivados dedicados al consumo de ganado vacuno de doble propósito y el 3,96 % es destinado al cultivo de cacao. El tipo de ganado vacuno que cría la hacienda corresponde a la raza Brahman, también se cría en menor porcentaje ganado caballar. Sobre el peso que tiene el ganado de dicha raza, entre los machos está en los 800 y 1.000 [kg], mientras que las hembras tienen un peso que oscilan entre los 500 y 700 [kg], además su capacidad de parto en toda su vida útil está entre 12 - 13 crías, de hecho, un bovino consume de 40 - 100 [l/día] de agua, dependiendo de su edad y estado

fisiológico; es lógico pensar que una vaca que produzca más de 8 litros de leche [l/día] consumirá más agua que otra que produzca sólo 3 litros [l/día] [12].

El pasto cultivado en la *Hacienda San Alfonso* que predomina es la Saboya, también conocido como guinea, chilena o cauca, de origen africano, pueden alcanzar 3 [m] de altura, pero muere rápidamente bajo pastoreo continuo. El valor nutritivo del pasto Saboya, como toda gramínea, disminuye con la edad, hecho que se acentúa durante el verano como se evidencia en el estudio realizado por el INIAP en 1989; la proteína cruda o bruta (PC) disminuye desde 13,3 % hasta el 9,6 % a la edad de 21 y 56 días respectivamente en la época seca, mientras que en la época lluviosa la PC es de 15,5 % y 10,6 % para los mismos periodos de corte respectivamente [12] [13] [14].

Las condiciones ambientales a las que se ha visto expuesto el forraje durante su crecimiento, también tienen un efecto sobre su valor nutritivo, por lo que resulta muy variable [15].

Ante todos estos antecedentes es de vital importancia implementar un sistema de riego en la hacienda ya que no cuenta con ningún sistema que garantice el crecimiento adecuado de la hierba para satisfacer el sistema de pastoreo rotativo intensivo, teniendo en cuenta todos los parámetros de crecimiento, la situación geográfica y climática de la zona en la cual se implementará el proyecto, dicho esto se presenta los problemas específicos para llegar a una concepción de parámetros iniciales para el desarrollo del proyecto.

2.2. Planteamiento del problema

En la *Hacienda San Alfonso* del Cantón Ponce Enríquez, la crianza del ganado bovino se ve afectado por la calidad de los pastizales debido a la falta de suministro permanente de agua para riego.

2.3. Problemas específicos

- ¿Cuál es la eficiencia de riego en el cultivo de pastizales para la crianza de ganado bovino?
- ¿Cuál es el sistema de riego conveniente para el cultivo de pastizales para la crianza de ganado bovino?
- ¿Qué costo tiene la propuesta del sistema de riego para cultivo de pastizales para ganado vacuno?

2.4. Justificación e importancia

Satisfacer de forma sostenible el crecimiento esperado en la demanda de cárnicos a nivel mundial es un importante desafío para la industria, considerando que la provisión de recursos naturales del planeta es limitada y que la producción ganadera es el mayor usuario industrial, principalmente dedicada a labores de pastoreo. Las limitaciones ambientales y físicas harían que el crecimiento en la producción ganadera provenga de una mayor productividad generando un mayor uso de economías de escala [16].

La contribución económica del sector pecuario al Producto Interno Bruto (PIB) agrícola de Ecuador ha mantenido contribuciones promedio del 9.6 % y del 10.7 % en los subsectores de leche y carne respectivamente. Ecuador representa en promedio el 0.33 % de la producción mundial de carne. La población bovina de la costa tiene una tasa anual de crecimiento de 3.2 % en el período 2011 - 2014, en comparación a un incremento de 3.3 % al año en la sierra y de 1.7 % en la Amazonía [17]. Según la Encuesta nacional de empleo, desempleo y subempleo (ENEMDU), elaborada por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) realizada en junio 2019, informa que el área de la agricultura, ganadería, caza y silvicultura, y pesca concentran la mayor participación del empleo en el país con el 29.8 % [18].

La ganadería intensiva utiliza pastos de corte y algunas prácticas adecuadas de manejo que ofrece posibilidades inmensas de aumentar el número de animales que se sostienen por hectáreas. Los pastos, por razón de su prolongado ciclo vegetativo, responden a la fertilización y al riego, de esta manera se puede conseguir durante todo el año forraje fresco y de buena calidad. Se ha comprobado que un metro cuadrado de los pastos Gramalote, Maravilla y Gramafante, producen mínimo 7-10 [kg] de forraje verde por corte en suelos fértiles y humedad apropiados, a intervalos de 5 a 8 semanas durante todo el año [14].

Se ha estimado que un animal consume diariamente un promedio 40 [kg] de forraje verde; para mejores cálculos se ha estudiado que por cada 100 [kg], un animal consume 10 [kg] de forraje verde, así lo especifica en el estudio [19]. En zonas de trópico seco como en el cantón Ponce Enríquez, donde se marcan dos épocas (seca y lluviosa), la situación es crítica. Por ejemplo, en la época de lluvias, éstas son de distribución irregular y en casos de tormentas los problemas se asemejan a lo que ocurre en el trópico húmedo. En la época seca, este período tiende a ser más largo y con mayor temperatura, lo cual afecta la

cantidad y calidad de alimento disponible, mortalidad de animales y pérdida de capital de la finca, como la muerte de ganado y disminución de la calidad de la tierra [20].

En ambas zonas agroecológicas, el cambio climático está amenazando la seguridad alimentaria de las familias (rurales y urbanas), la salud de los ecosistemas y la rentabilidad de las empresas agropecuarias [21]. El intenso calor y sequía impide el crecimiento adecuado de la hierba, siendo esta destinada como alimento para el ganado, que va rotando por parcelas permitiendo la reposición de los potreros, lo que comúnmente se conoce como pastoreo rotativo, es decir, el ganado va alternando de potrero en potrero.

Al existir escasez de agua la hierba no crece, el ganado no se alimenta correctamente, aparecen malezas, y esto implica dos cosas: la primera, la reducción de peso del ganado y el costo adicional al tener que comprar otros alimentos para compensar; lo segundo, el costo adicional al tener que comprar más herbicidas para exterminar malezas. Sabiendo que el suministro de agua para el cultivo de pasto tiene que cubrir un terreno de 136 hectáreas, divididos en 11 potreros totalmente sembrados con pasto Saboya (*Panicum Máximum*) destinada a la alimentación del ganado vacuno por medio de pastoreo rotativo intensivo.

La tecnificación del riego, el cual tiene entre sus propósitos el lograr un uso eficiente y sustentable del recurso agua, mediante acciones de implementación, rehabilitación y modernización de la infraestructura hidráulica, que permitan reducir las pérdidas de agua desde la red de conducción y distribución hasta la parcela o potrero, aumentando la disponibilidad de la misma y logrando un mejor aprovechamiento de la dotación con mayor eficiencia, mejorando la calidad y oportunidad del servicio de riego e incrementar la producción y productividad de los cultivos según [22] [23] [25].

2.5. Grupo objetivo

Este proyecto tiene como objetivo el proceso de crianza de ganado vacuno en la *Hacienda San Alfonso* basado en un enfoque social debido a que sirve como orientación para el diseño de sistemas de riego a gran escala basándose en la alternativa más económica y eficiente, cuyos resultados del proyecto pueden ser tomados como guía para diseñar sistemas de riego.

2.6. Objetivos

2.6.1. Objetivo general

- Diseñar un sistema de riego de pastizales para la crianza de ganado vacuno en la Hacienda San Alfonso ubicada en el cantón Ponce Enríquez.

2.6.2. Objetivos específicos

- Realizar una revisión bibliográfica para determinar la eficiencia de riego en el cultivo de pastizales para la crianza de ganado vacuno.
- Diseñar el sistema de riego para cultivo de pastizales para la crianza de ganado vacuno en la Hacienda San Alfonso.
- Realizar un estudio presupuestario del sistema de riego para cultivo de pastizales para la crianza de ganado vacuno.

3. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presenta una revisión bibliográfica sobre la información necesaria para implementar el sistema de riego sobre un cultivo de pastizales destinado al consumo bovino en el Cantón Ponce Enríquez - Azuay, que involucra el uso de agua, el tipo de hierba y de terreno, con base en esa información se analiza en el siguiente capítulo los sistemas más comunes con una tabla ponderativa y se determinarán los parámetros iniciales para el sistema de bombeo que garantice los caudales de riego y la adaptación de las partes fundamentales de potencia para la infraestructura ya mencionada. Además, se presentará información acerca de los sistemas de bombeo, captación con sus partes, equipamientos de sistemas de bombeo y una selección de aspersores comerciales recomendados para la aplicación del proyecto.

3.1. Crianza de ganado vacuno

En este apartado se presenta una revisión bibliográfica de los aspectos fundamentales a tener en cuenta en la crianza de ganado vacuno como es el consumo de agua y el cultivo de pastizales.

3.1.1. Consumo de agua del ganado bovino

Uno de los factores más importantes es el peso del ganado, en este punto de dicha Raza *Brahman*, entre los machos está en los 800 - 1.000 [kg], mientras que las hembras tienen un peso que oscilan entre los 500 - 700 [kg]; además, para su capacidad de parto en toda su vida útil está entre 12 - 13 crías, de hecho, un bovino consume de 40 - 100 [l/día], de agua, dependiendo de su edad y estado fisiológico, una vaca produce más de 8 litros de leche [l/día] [14].

Un acceso libre de agua limpia y fresca es una buena práctica agropecuaria, fundamental para sostener un buen consumo. El agua retenida por mucho tiempo permanece, generalmente, más sucia y menos fresca. La provisión de agua debe tener capacidad para ofrecer con seguridad al menos 70 [l/día], por animal en verano (o sequía) y la mitad en invierno (o época de lluvias) para vacas o novillos en terminación, según valor de referencia utilizado por algunos criaderos se estima entre 7 [l/50 kg] de peso vivo según [26].

3.2. Cultivo de pastizales

Los estudios de evaluación en recursos naturales, de una región determinada, como los suelos, constituye una herramienta fundamental, ya es base para la sustentación de la agricultura. Estos parámetros influyen a otros como son la retención de agua y sus propiedades de infiltración durante el riego. Cuando la vertiente del río ha sido conducido hasta la casa de máquina, la meta del agricultor es distribuir del modo más uniforme posible sobre la superficie de los pastizales, llegando a obtener así la mayor eficiencia para el riego; a continuación, se presentan parámetros a tener en cuenta para una alta eficiencia [27] [28].

- El diseño del sistema de riego (dimensiones, orientación del campo regado, pendiente, infraestructura de abastecimiento de agua y control del caudal).
- Los caudales utilizados y la dirección del flujo de agua sobre la superficie del suelo durante el riego.
- El tiempo de riego utilizado durante el cual el agua está en contacto con la superficie del suelo [27].

Al tener en cuenta lo dicho antes, dimensiones y orientación del regado, optimiza tiempos de rociado; además el control del caudal debe ser adecuado ante la instalación presente, también tener en cuenta las ramificaciones principales y secundarias, diseño óptimo del sistema de transporte del fluido [27].

3.2.1. Conductividad hidráulica en el suelo

La conductividad hidráulica de un suelo depende del tamaño y distribución de los poros en el suelo, y en consecuencia de la textura, la densidad aparente y de la estructura. La presencia de grietas, canales abiertos por raíces o por la fauna del suelo también influye en la conductividad del agua en el suelo [29].

La presencia de un horizonte subsuperficial de textura muy gruesa arenosa o un horizonte limoso o arcilloso muy compactado afectan de forma importante al flujo de agua desde el horizonte superficial menos compactado y con una textura más fina, es decir, sobre un horizonte arenoso. El efecto más claro es un retraso en el flujo de agua hacia las capas inferiores, lo que facilita el movimiento horizontal. El motivo es que la conductividad hidráulica saturada [K_s] es superior en el suelo arenoso, pero en condiciones de no-saturación, la [K] es superior en el suelo de textura más fina. Únicamente cuando el

material en contacto con la capa arenosa no pueda retener más agua se iniciará el movimiento del agua hacia el horizonte inferior [30] [31].

El suelo en la Hacienda San Alfonso, dedicado a la actividad ganadera es de carácter Franco Limoso, es decir, contiene variadas cantidades de arena, limo y arcilla, las cuales se encuentra en las 136 [hectáreas] donde se desarrollará el proyecto de riego. El valor de la conductividad hidráulica saturada [K_s] para un suelo arcillo limoso es de $0,65 [cm h^{-1}]$, lo que permite conocer la capacidad de infiltrar el agua de un suelo para determinar la actitud frente al riego, así, por ejemplo, en riego por aspersión se recomienda no regar suelos que no puedan absorber $0,38 [cm h^{-1}]$ según [32].

3.2.2. Pasto Panicum Maximun

Este tipo de pasto está adaptado a climas cálidos, crece en zonas de 0 -1800 m.s.n.m., con precipitaciones mayores a 1000 [mm] anuales, aunque resiste cantidades inferiores. Los suelos deben ser bien drenados, no arcillosos. Su producción media de forraje es de aproximadamente 35 [t/ha/año]. Este pasto puede ser utilizado en pastoreo, corte manual o mecanizado, henificación y ensilaje ya que permite asociaciones con leguminosas lo que constituye un banco de proteína necesario para la alimentación animal. Posee un fuerte sistema radicular que impide y previene la erosión de los suelos. Estas características han permitido que se convierta en la gramínea más extensamente cultivada en potreros [33].

El pasto *Panicum Máximum*, tiene un desarrollo óptimo con precipitaciones superiores a los 1000 [mm/año], lo cual significa que al año necesita cantidades superiores a los 1000 [l/m^2] de terreno cultivado [33].

3.3. Sistemas de riego

En la actualidad el uso de sistemas presurizados de riego contribuye una alternativa viable al uso eficiente del agua, principalmente en las zonas agrícolas donde este recurso es escaso. Las principales líneas de trabajo que deben desarrollarse para incrementar la producción agrícola por medio del riego pueden resumirse de la siguiente manera [34]:

- Aumento de la eficiencia en un uso del agua disponible, o sea evitar las pérdidas de agua durante el riego.
- Mejoramiento del abastecimiento de agua en las áreas de riego eventual, es necesario regular la disponibilidad total de una cierta zona para asegurar el riego de superficies agrícolas que actualmente son de riego eventual [34].

El riego es la aplicación oportuna y uniforme de agua a un perfil del suelo para reponer en este el agua consumida por los cultivos entre dos riegos consecutivos así lo menciona en su estudio realizado por [34]. Se presenta a continuación una revisión bibliográfica acerca de los 3 sistemas más convenientes para la aplicación del presente proyecto.

3.3.1. Eficiencia de riego

Cuando se aplica al riego, no toda el agua irriga la zona radicular del suelo; parte del agua se pierde por evaporación, escorrentía y filtración profunda. En todo sistema de riego se producen pérdidas de agua que influyen en la eficiencia de este, razón por la cual es importante hacer una estimación de ellas, para que las demandas de riego incluyan esta pérdida, en la Tabla 1, se adjunta la eficiencia para diferentes sistemas de riego [35].

Tabla 1: Eficiencias de sistemas de riego.

Eficiencia de aplicación para diferentes sistemas de riego	
Sistema de riego	Eficiencia de aplicación.
Riego por superficie (inundación)	0.60 – 0.80
Riego por aspersión	0.65 – 0.85 (0.70)
Riego por goteo	0.75 – 0.90

Fuente: Tomado de [35].

3.3.2. Sistema por goteo

El sistema de riego más adecuado entre las numerosas posibilidades es el sistema de riego por goteo, la última variante entre los sistemas modernos de irrigación que ha tenido un éxito creciente en los años recientes gracias a sus ventajas decisivas en ciertas condiciones. Como cualquier otro sistema de irrigación artificial, el riego por goteo busca, una optimización de la cosecha, en cantidad y calidad, como se observa en la Figura 2. Los primeros sistemas comerciales de riego por goteo se instalaron hace 20 años en Israel, Australia y en los Estados Unidos. Desde esa época, en un constante proceso de investigación a nivel mundial, aquellas modestas aplicaciones se han transformado en una tecnología adelantada y completa así lo especifica Rafael Quintero en su exposición [36].



Figura 2: Sistema de riego por goteo. **Fuente:** Tomado de [34].

3.3.2.1. Componentes del sistema y características del riego por goteo

Todos los elementos que pueden entrar a formar parte del equipo necesario de un sistema de riego por goteo son los siguientes: fuentes de agua, unidad de bombeo, cabezal de abastecimiento, regulación y la red de tubería para la conducción, distribución y aplicación del agua con sus respectivos accesorios, el riego por goteo puede implementarse con mangueras y tuberías con orificios finos, o con sistemas programables. Se instala cuando el terreno esté listo para el riego. Es recomendable enterrar levemente las tuberías y/o mangueras para impedir que se pierda el agua por efectos de altas temperaturas y viento [37].

A lo largo de las tuberías van insertados o incorporados implementos para la salida del líquido, como se observa en la Figura 3, los cuales reciben el nombre de dosificadores goteros. Normalmente las tuberías empleadas son de polietileno y cubren el área del cultivo, las estructuras en el riego por goteo son fijas y mecanizadas, permitiendo el reciclaje de las aguas desechadas. Son de gran importancia en el sostenimiento de pastizales ubicados en grandes urbes, así lo menciona [37].



Figura 3. Sistema de riego por goteo, se presenta la tubería a nivel de superficie. **Fuente:** Tomado de [37].

Con este método se logra obtener grandes beneficios que se mencionan, a continuación:

- La mejora tecnológica que contribuye a una mayor eficiencia.
- El agua se mueve en dirección vertical y horizontal, formando el bulbo de humedad.
- Se tiene un nivel óptimo de humedad, con baja tensión de retención por el suelo y con la humedad siempre cercana [37].

3.3.2.2. Ventajas y desventajas del sistema por goteo

Se comprueba que la producción en entornos de riego por goteo brinda una excelente cosecha. Esto se debe a su potencialidad para controlar la humedad del suelo y el entorno cercano a las plantas, observándose un excelente desarrollo, así como la disminución de hongos y bacterias, se indica algunas ventajas:

- Ahorro de agua por el sistema por goteo.
- Posibilidad de regar todo tipo de terreno.
- No altera la estructura del terreno [37].

A continuación, se muestra las desventajas del sistema por goteo, al implementar el sistema.

- Tienen un alto costo de instalación.
- Debe estar bien proyectado a la zona local y global, ya que una diferencia puede tener graves consecuencias.
- Puede tener obstrucción cuando el sistema no tiene filtros en los goteros.
- Mayor calificación a los usuarios [37].

3.3.3. Sistema por gravedad

El agua es captada y distribuida, contando con la energía generada por el diferencial de altura entre el punto de captación y el área de regadío, con este método el agua se aplica únicamente durante la fase de avance, cortando el suministro un poco antes de que el frente de avance llegue al final del surco. La adecuación del terreno, las nivelaciones de mantenimiento, el aporque de las plantas, la programación por balance hídrico, la medición del agua y las aplicaciones controladas son condiciones necesarias para mejorar la eficiencia de la labor y disminuir los costos, así lo menciona [34]. Se presenta la aplicación

del riego por gravedad en los pastizales y la adecuación del terreno para su desarrollo, como se observa en la Figura 4.



Figura 4: Aplicación del sistema de riego por gravedad o surcos. **Fuente:** Tomado de [34].

3.3.4. Sistema por aspersión

El método de irrigación por aspersión es extensamente utilizado y consiste en transportar el agua por tubería hasta el lugar donde se va a utilizar. El agua es asperjada, simulando la lluvia, desde el sistema a presión hasta la plantación establecidos en los diseños e implantación de sistemas de riego así lo especifica [38]. Se considera que la irrigación por aspersión se inició en los primeros años del siglo XX. Sin embargo, antes de 1920 este método se limitaba a la irrigación de jardines y campos. El desarrollo de tubería liviana de acero y mejora de los aspersores, a partir del año de 1930, dio un gran impulso a la utilización de este sistema de riego en todos los campos agrícolas del mundo, así lo especifica Eddy M, en su estudio de implementación de riegos en la provincia del cañar [39].

3.3.4.1. Variaciones del sistema de aspersión

El sistema de irrigación por aspersión se puede dividir en dos grandes categorías:

- El sistema es totalmente fijo.
- El sistema puede moverse.

El sistema móvil tiene diversas versiones: a mano, riegas, aspersores tipo cañón, pivote central, etc. La Figura 5 y 6 muestra uno de estos ejemplos de este sistema de riego. La irrigación por aspersión se aplica en la mayoría de los cultivos y a casi todo tipo de suelos.

Con un apropiado diseño el agua puede aplicarse hasta 3 [mm/h]. Pueden darse ligeras aplicaciones de agua, así como dosis pesadas de riego [38] [40].



Figura 5: Sistema de aspersión sin ruedas.

Fuente: Tomado de [40].



Figura 6: Sistema de aspersión con ruedas.

Fuente: Tomado de [40].

3.3.4.2. Ventajas y usos especiales del sistema por aspersión

Entre las ventajas y uso del sistema por aspersión se menciona las siguientes:

- Alta eficiencia en el uso y control del agua.
- Se adapta a la mayoría de los cultivos.
- Se puede aplicar o completamente automatizado.
- Se pueden aplicar dosis ligeras de riego.
- Es un sistema que se adapta muy bien a la generación de cultivos.
- Se necesita unas pocas horas laborales al día [38].

Usos especiales que se dan con el uso del sistema por aspersión:

- Lavar excesos de sales del suelo.
- Incrementar la humedad del ambiente, enfriar los cultivos por altas temperaturas a fin de complementar deficiencias de las lluvias [38].

Se presenta, en la Tabla 2, el requerimiento de agua en el momento pico de desarrollo de cultivo, así como el total para la estación en algunos cultivos en condiciones de clima moderado [41].

Tabla 2: Valores típicos de uso consuntivo pico diario y estacional en algunos cultivos en mm en condiciones climáticas medias.

Cultivo	Uso consuntivo		Cultivo	Uso consuntivo	
	pico	estacional		pico	estacional
	up			up	
Pasto	6,0	610	Granos	5,0	460
Frijoles	5,0	380	Maíz	6,5	560
Algodón	6,5	560	Tomates	5,0	510
Papas	6,0	460	Melones	4,5	410
Fresas	5,0	510	Cítricos	5,0	560

Fuente: Tomado de [41].

Las eficiencias de riego en un sistema de aspersión, se define considerando el coeficiente de uniformidad (*CU*) como una medida de la uniformidad de aplicación de agua. La Tabla 3, muestra algunos valores típicos de eficiencias que podrían ser útiles en diseño preliminares. Esta eficiencia es considerando el 50 % de todas las lecturas mínimas de los pluviómetros de prueba [42].

Tabla 3: Eficiencia de aplicaciones del agua en algunos sistemas de riego por aspersión en condiciones ambientales favorables.

Sistema	Eficiencia en %
Laterales fijos	80 – 85
Laterales móviles	70 – 75
Pistolas y cañones	60 - 65

Fuente: Tomado de [42].

3.4. Disposición general del sistema de captación de agua y desarenador

En este apartado se presenta un esquema para el posterior diseño de los elementos de red tanto del sistema de captación y componentes útiles para el cumplimiento del mismo.

En la Figura 7, se visualiza un esquema de la distribución de la red de tuberías desde la casa de máquinas, quedando así distribuido el sistema de tuberías, en el área a cubrir para el riego de la hacienda, de manera general en el caso de que se opte por el sistema de aspersión. El sistema consta de aspersores tipo mini cañón con un alcance de 25 [m], el

caudal que descarga máximo es de 27.7 [gpm] a una presión de 70 [psi]. El plano técnico general del sistema se encuentra en el Anexo I.

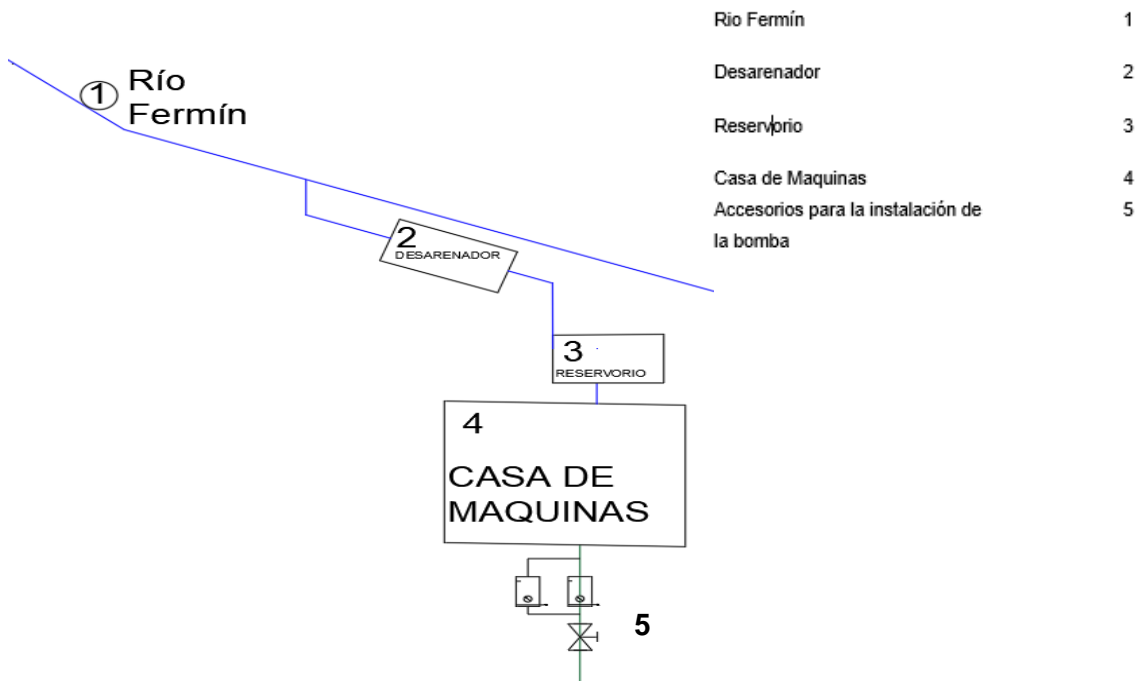


Figura 7: Planteamiento del esquema general del sistema de riego. **Fuente:** Autor.

La captación es la parte inicial del sistema hidráulico y consiste en las obras donde el agua se filtra y almacena para poder abastecer a los campos. Pueden ser una o varias, el requisito es que en conjunto se obtenga la cantidad de agua que se requiere. Para definir cuál será la fuente de captación a emplear, es indispensable conocer el tipo de disponibilidad del agua en la tierra, basándose en el ciclo hidrológico, de esta forma se consideran las fuentes de agua [2].

Los desarenadores son obras hidráulicas que sirve para separar y remover el material sólido que lleva el agua de un canal, a fin de evitar que ingresen solidos al tanque de almacenamiento de agua y a las tuberías primarias y secundarias, evitando serios problemas en el sistema de riego [2], como se observa en la Figura 8.

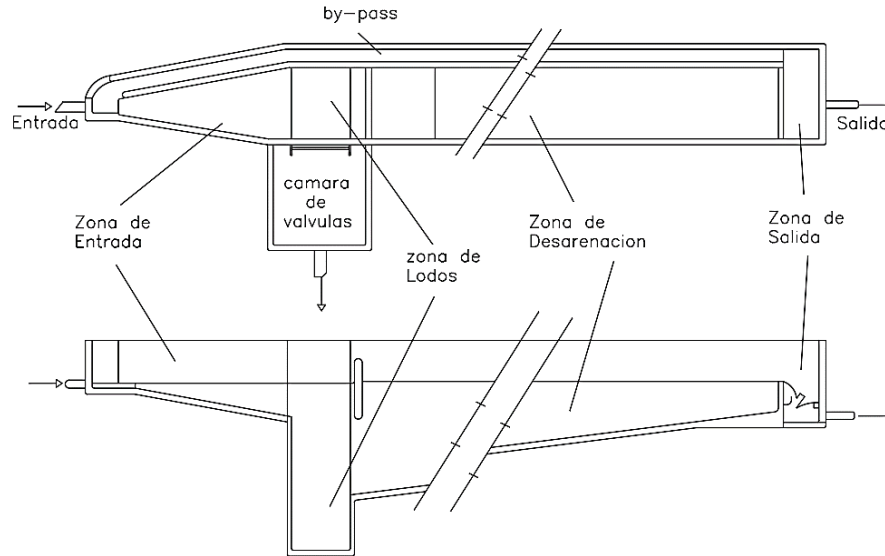


Figura 8: Modelo de desarenador. **Fuente:** Adaptado de [2].

Las unidades de acondicionamiento previo y pretratamiento son muy importantes para la definición del proyecto donde se especifican los siguientes:

- **Desarenador:** Tiene por objeto separar del agua cruda la arena y partículas en suspensión gruesa, con el fin de evitar que se produzcan depósitos sólidos (lodo) en las obras de conducción, proteger las bombas de la abrasión y evitar sobrecargas en los procesos posteriores de tratamiento. El desarenado se refiere normalmente a la remoción de las partículas superiores a 0,2 [mm] [2].
- **Sedimentador:** Similar objeto al desarenador, pero correspondiente a la remoción de partículas inferiores a 0,2 [mm] y superiores a 0,05 [mm] [2].

3.5. Características dimensionales del reservorio

Para el diseño de un reservorio adecuado, donde, cuyo objetivo es la acumulación de agua, ya sea para almacenamiento o como para regulación de los caudales de distribución en la red de riego, como se muestra en la Figura 9, utilizamos los indicadores de precipitación requerida del pasto en 1 día, de esta manera se puede calcular un volumen 67.5 [m³] y obtener las dimensiones del reservorio, para asegurar el flujo continuo de agua en el proceso de riego durante un tiempo determinado. La infraestructura se realizará de concreto armado, con una profundidad de dos metros [2]. El plano técnico constructivo se muestra en el Anexo I y la vista general de la disposición en el Anexo II.

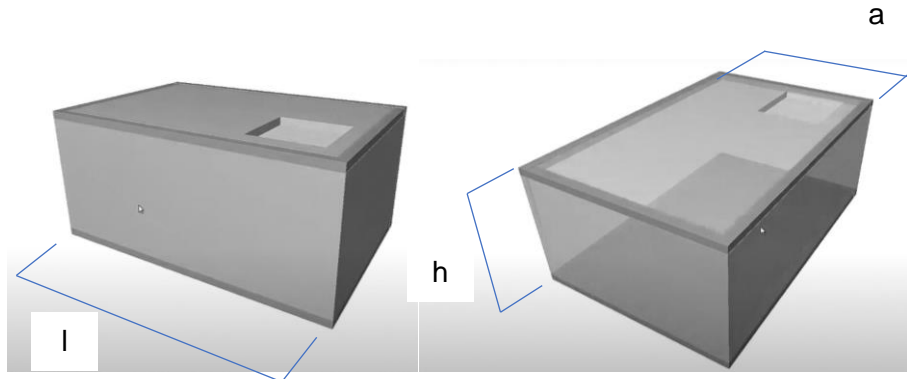


Figura 9: Esquema del reservorio. **Fuente:** Autor.

3.6. Condiciones para el diseño del desarenador

Relación entre diámetro de las partículas y velocidad de sedimentación. La descarga del flujo puede ser controlada a través de dispositivos como vertederos (sutro) o canales Parshall (garganta), se presenta en la Tabla 4, según [2]. En el Anexo I se puede observar detalles constructivos del desarenador y en el Anexo II se muestra su ubicación en el sistema general. [2]

Tabla 4: Relación entre diámetro de las partículas y velocidad de sedimentación.

Material	ϕ Límite de las partículas (cm)	Número de Reynolds	Vs	Régimen	Ley aplicable
Grava	>1.0	>10000	100	Turbulento	$V_s = 1.82 \sqrt{dg \left(\frac{\rho_a - \rho}{\rho} \right)}$ Newton
Arena Gruesa	0.100	1000	10.0	Transición	$V_s = 0.22 \left(\frac{\rho_a - \rho}{\rho} g \right)^{2/3} \left[\frac{d}{(\mu/\rho)^{1/3}} \right]$ Allen
	0.080	600	8.3		
	0.050	180	6.4		
	0.050	27	5.3		
	0.040	17	4.2		
	0.030	10	3.2		
	0.020	4	2.1		
	0.015	2	1.5		

Arena Fina	0.010	0.8	0.8	Laminar	$V_s = \frac{1}{18}g \left(\frac{\rho_a - \rho}{\mu} \right) d^2$
	0.008	0.5	0.6		
	0.006	0.24	0.4	Stokes	
	0.005	1.0	0.3		
	0.004	1.0	0.2		
	0.003	1.0	0.13		
	0.002	1.0	0.06		
	0.001	1.0	0.015		

Fuente: Adaptado de [2].

Si el flujo es controlado por un vertedero sutro tenemos la relación:

$$Q = 2.74\sqrt{ab} \left(H - \frac{a}{3} \right) \quad (1.1)$$

donde:

a : altura mínima (m)

b : ancho de la base (m)

H : altura del agua (m)

A continuación, se adjunta el esquema del vertedero, (Figura 10) que está dada por:

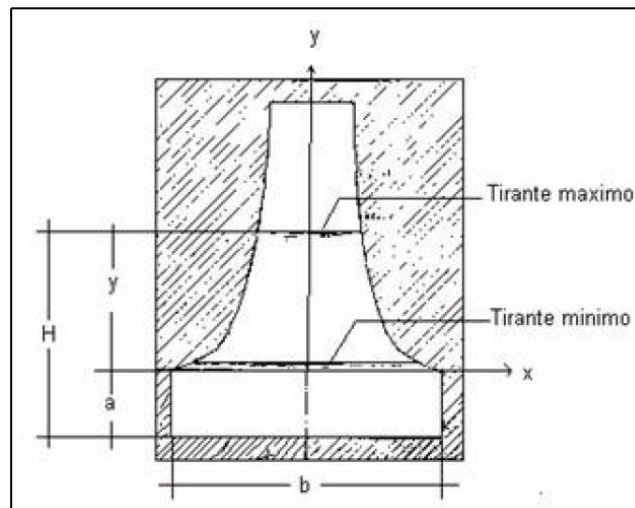


Figura 10: Vertedero dimensiones principales. **Fuente:** Tomado de [2].

La forma de las paredes del vertedero es dada por:

$$\frac{x}{b} = 1 - \frac{2}{\pi} \arctg \sqrt{\frac{y}{a}} \quad (1.2)$$

Una alternativa de cálculo para este tipo de vertedero es partiendo de la ecuación:

$$Q = 1.841h^{3/2} \quad (1.3)$$

Dónde:

Q: Gasto sobre el vertedero (m³/s), *l*: Ancho del vertedero (m), *h*: Carga sobre el vertedero (m).

El periodo de diseño, teniendo en cuenta criterios económicos y técnicos es de 8 a 16 años. El número de unidades mínimas en paralelo es dos, para efectos de mantenimiento. En caso de caudales pequeños y turbiedades bajas se podrá contar con una sola unidad que debe contar con un canal de By-Pass para efectos de mantenimiento [2].

El período de operación es de 24 horas por día, debe existir una transición en la unión del canal o tubería de llegada al desarenador para asegurar la uniformidad de la velocidad en la zona de entrada [2].

3.6.1. Variables que afectan la sedimentación

- **Corrientes de densidad**

Son las corrientes que se producen dentro del tanque por efecto de las diferencias de densidad en la masa de agua y son ocasionadas por un cambio de temperatura (térmica) y/o por diferencias en la concentración de las partículas suspendidas en las distintas masas de agua [2].

- **Corrientes debidas al viento**

El viento puede producir corrientes de suficiente intensidad como para inducir cambios en la dirección del flujo [2].

- **Corrientes cinéticas**

Pueden ser debido al diseño impropio de la zona de entrada o de salida (velocidad de flujo excesiva, zonas muertas, turbulencias) o por obstrucciones en la zona de sedimentación [2].

3.6.2. Componentes del desarenador

Esta unidad se puede dividir en cuatro partes o zonas:

- **Zona de entrada**

Tiene como función el conseguir una distribución uniforme de las líneas de flujo dentro de la unidad, uniformizando a su vez la velocidad [2].

- **Zona de desarenación**

Parte de la estructura en la cual se realiza el proceso de depósito de partículas por acción de la gravedad [2].

- **Zona de salida**

Conformada por un vertedero de rebose diseñado para mantener una velocidad que no altere el reposo de la arena sedimentada [2].

- **Zona de depósito y eliminación de la arena sedimentada**

Constituida por una tolva con pendiente mínima de 10% que permita el deslizamiento de la arena hacia el canal de limpieza de los sedimentos [2].

3.6.3. Criterios de diseño

Para el dimensionamiento se debe considerar los siguientes criterios:

- A. El periodo de diseño, teniendo en cuenta criterios económicos y técnicos es de 8 a 16 años [2].
- B. El número de unidades mínimas en paralelo es de dos (2) para efectos de mantenimiento.
- C. El periodo de operación es de 24 horas por día.
- D. El tiempo de retención será entre 2 - 6 horas.
- E. La carga superficial será entre los valores de 2 - 10 m³ /m² /día.
- F. La profundidad del sedimentador será entre 1,5 – 2,5 m.
- G. La relación de las dimensiones de largo y ancho (L/B) será entre los valores de 3 - 6.

- H. La relación de las dimensiones de largo y profundidad (L/H) será entre los valores de 5 – 20 [2].
- I. El fondo de la unidad debe tener una pendiente entre 5 a 10% para facilitar el deslizamiento del sedimento.
- J. La velocidad en los orificios no debe ser mayor a 0,15 m/s para no crear perturbaciones dentro de la zona de sedimentación.
- K. Se debe aboquillar los orificios en un ángulo de 15° en el sentido del flujo.
- L. La descarga de lodos se debe ubicar en el primer tercio de la unidad, pues el 80% del volumen de los lodos se deposita en esa zona.
- M. Se debe efectuar experimentalmente la determinación del volumen máximo que se va a producir.
- N. El caudal por metro lineal de recolección en la zona de salida debe ser igual o inferior a 3 l/s.
- O. Se debe guardar la relación de las velocidades de flujo y las dimensiones de largo y altura [2].
- P. La ubicación de la pantalla difusora debe ser entre 0,7 a 1,00 m de distancia de la pared de entrada (Figura 11) [2].

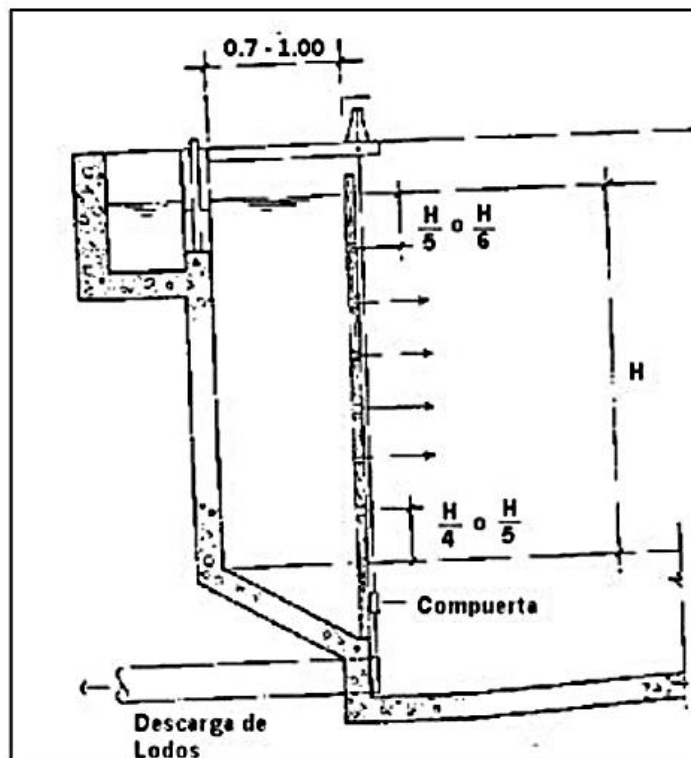


Figura 11. Relaciones para dimensionamiento de la zona de entrada y sedimentación. **Fuente:** Tomado de [2].

Q. Los orificios más altos de la pared difusora deben estar a $1/5$ o $1/6$ de la altura (H) a partir de la superficie del agua y los más bajos entre $1/4$ o $1/5$ de la altura (H) a partir de la superficie del fondo (Figura 12) [2].

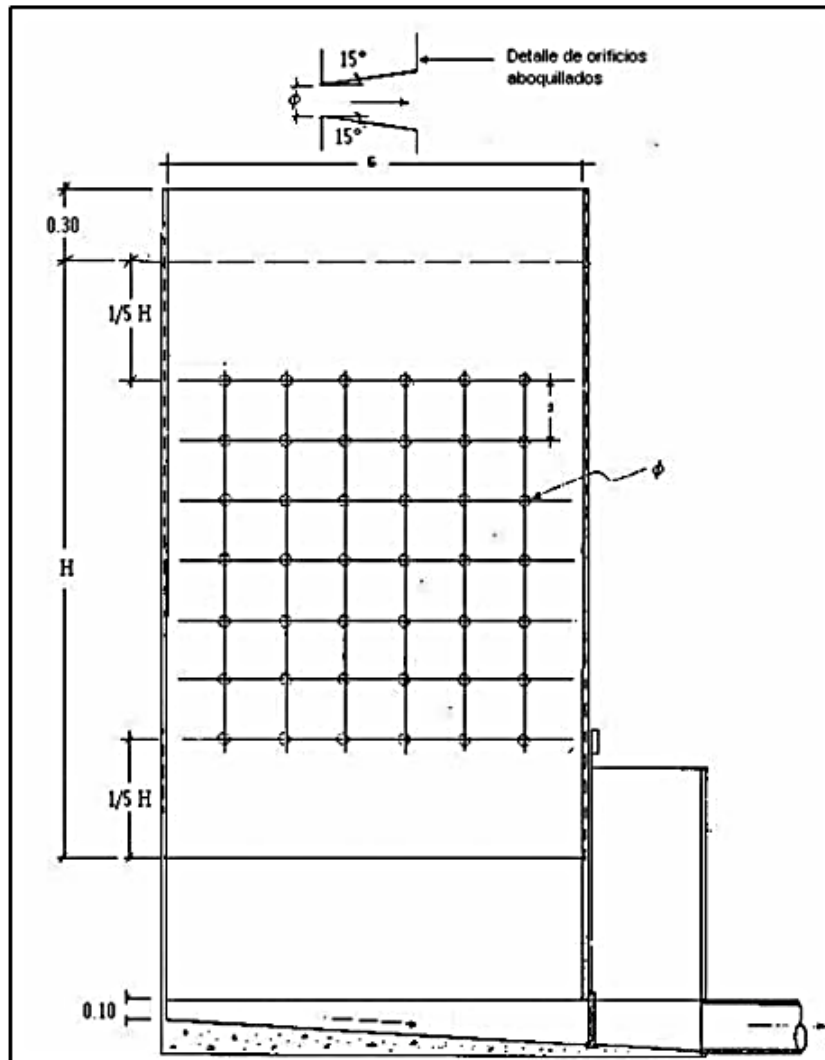


Figura 12. Detalle para dimensionamiento de partes del desarenador. **Fuente:** Tomado de [2].

3.6.4. Procedimiento para el dimensionamiento del desarenador

Para el sistema de desarenador se debe tomar en cuenta los siguientes parámetros, la mayoría de información es tomada de manuales para proyectos y construcciones en plantas

para tratamientos de aguas arriba, según ese modelo se indica el procedimiento de diseño [2].

- Caudal de Diseño: 30 [l/s]
- Densidad relativa de la arena: 2,65 (Información obtenida de estudio de suelos-Azuay)
- Diámetro de la partícula: 0,02 [cm]
- Temperatura del agua: 18 °C
- Viscosidad Cinemática (η) = 1.0105×10^{-2} [cm⁻² /sg]

Luego, de la fórmula:

$$V_s = \frac{1}{18} g \left(\frac{\rho_s - 1}{\eta} \right) d^2 \quad (1.4)$$

Se comprueba el número de Reynolds:

$$Re = \left(\frac{V_s * d}{\eta} \right) \quad (1.5)$$

Re= 7.02 > 0,5; por lo tanto, no se encuentra en la zona de la ley de Stokes.

Término del diámetro:

$$\left[\frac{g(\rho_s - 1)}{\eta^2} \right]^{1/3} d = 6.02 \quad (1.6)$$

Velocidad de sedimentación:

$$\frac{V_s}{[g(\rho_s - 1)\eta]^{1/3}} = 1 \quad (1.7)$$

Entonces se garantiza que se encuentra en la zona de transición (Ley de Allen) [41].

Por ende:

Se determina el coeficiente de arrastre [2].

$$C_D = \frac{24}{R} + \frac{3}{\sqrt{R}} + 0.34 \quad (1.8)$$

Entonces la Velocidad de sedimentación será:

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{g}{C_D} + (\rho_s - 1) * d} \quad (1.9)$$

Si se asume una eficiencia del 75%, se adopta un coeficiente de seguridad igual a 1.75 [2].

$$V_s' = \left(\frac{Q * \text{coeff } \textit{segur}}{A_s} \right) \quad (1.10)$$

Se determina las dimensiones de largo, ancho y profundidad respetando los criterios de diseño:

Largo: **I**, ancho: **B**, profundidad: **h**.

Luego la velocidad horizontal:

$$V_h = \frac{Q}{A_t} \quad (1.11)$$

Se determina el valor de rugosidad de la cámara mediante la ecuación siguiente:

$$R = \frac{4R_m * V_h}{\eta} \quad (1.12)$$

La Figura 13, presenta el valor del número de Reynolds de forma gráfica, se obtiene de manera analítica el valor de f, la tabla de resistencias para corrientes de flujos indica la línea de color rojo horizontal el valor ya definido de f y la línea perpendicular indica el valor del Reynolds.

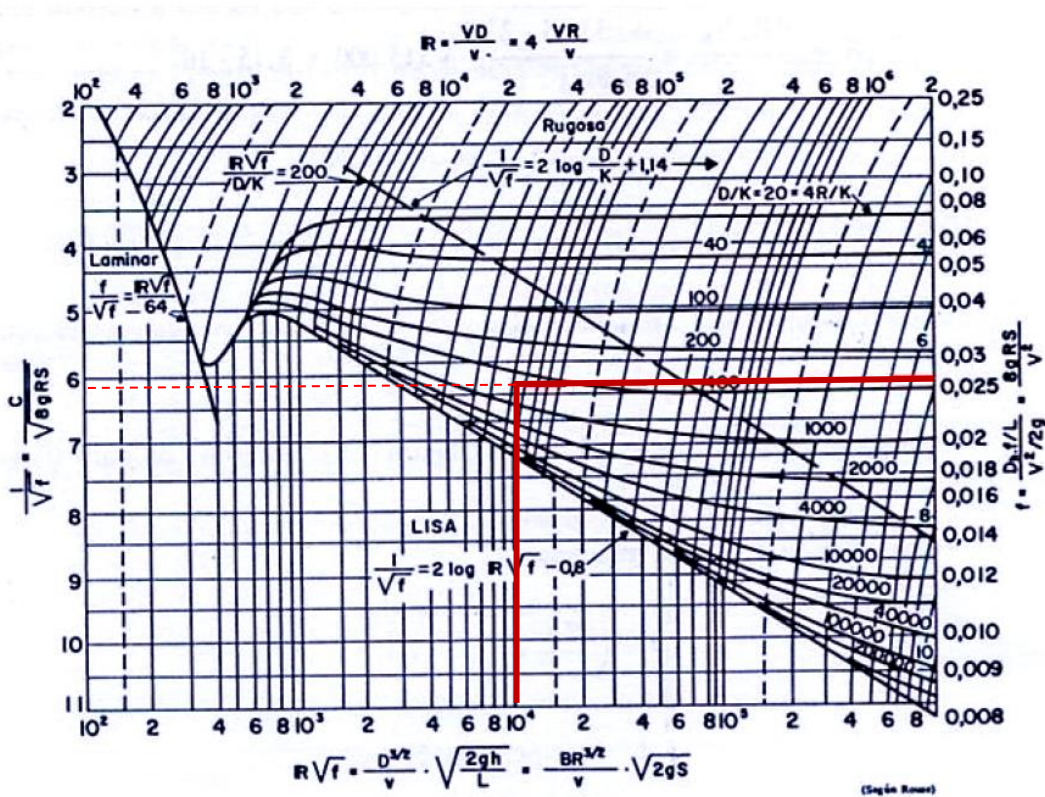


Figura 13: Diagrama de corrientes para flujos de Reynolds. Fuente: Tomado de [2].

3.7. Procedimiento de dimensionado de la red de tuberías del sistema de bombeo

Para el dimensionado de la red de tubería del sistema de bombeo se tomará en cuenta los accesorios y los diámetros respectivos de las tuberías.

En este sistema se emplea el método de Hardy Cross mismo que se describe a continuación, el agua puede alcanzar cualquier punto de la red como mínimo por dos caminos diferentes, consiguiéndose una garantía en el servicio considerable, la rotura de una tubería sólo afecta, mediante el cierre de válvulas oportunas, a una pequeña parte de la red, un tramo, además se obtiene un reparto de presiones más uniforme. El sentido de circulación del flujo en las tuberías de estas redes, como hemos referido en el literal 2, no es permanente, cambia con frecuencia, es necesario adoptar hipótesis simplificativas para abordar el problema real [44].

Es el procedimiento más utilizado para determinar los caudales circulantes en una red reticulada cuyos diámetros son conocidos, es necesario partir de diámetros supuestos y

comprobar posteriormente los caudales y presiones de servicio. Fue desarrollado por Cross en 1935, Para ello, se calcula un caudal corrector mediante un proceso iterativo, basándose en dos principios hidráulicos fundamentales, que tienen similitud con las famosas leyes de Kirchhoff en electricidad [44].

En un nudo, la suma algebraica de los caudales entrantes y salientes es igual a cero.

$$\sum Q_i = 0 \quad (1.13)$$

La suma algebraica de las pérdidas de carga en cada una de las líneas que componen la malla o retícula es nula.

$$\sum h_r = 0 \quad (1.14)$$

Cualquier expresión hidráulica para el cálculo de h_r puede expresarse en la forma $h_r = aQ^2$, $a = KL$ que viene expresada, si se emplea la fórmula de Chèzy – Kutter por:

$$h_r = \frac{64}{\pi^2 * c^2 * D^5} * l * Q^2 \quad (1.15)$$

$$h_r = K * l * Q^2 \quad (1.16)$$

donde:

$$K = \frac{64}{\pi^2 * c^2 * D^5} \quad (1.17)$$

En la malla representada en la Figura 7, el caudal Q es conocido llega al nudo 1, se divide en cada rama Q_1 y Q_2 , valores supuestos y que debemos de calcular. Establecemos un convenio de signos arbitrario para el recorrido de los caudales, positivo para los caudales que circulan en sentido de las agujas del reloj y negativo, al contrario [44], como se observa en la Figura 14.

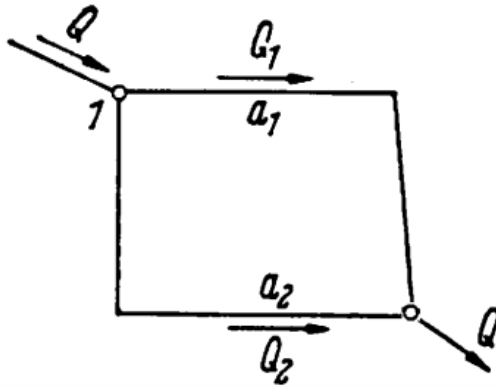


Figura 14: Método de Hardy Cross. Fuente: Tomado de [44].

Si los caudales supuestos Q_1 y Q_2 , hubieran sido los correctos, se hubiera verificado el principio b), la suma algebraica de hr_1 y hr_2 es cero, lo que supone $hr_1 - hr_2 = 0$. Si Q_1 y Q_2 no son los correctos, hay que corregirlos para que lo sean, sea ΔQ la corrección, se tendrá que verificar [44].

$$h_{r1} - h_{r2} = a_1(Q_1 + \Delta Q)^2 - a_2(Q_2 - \Delta Q)^2 = 0 \quad (1.18)$$

$$a_1(Q_1^2 + 2\Delta Q * Q_1 + \Delta Q^2) - a_2(Q_2^2 + 2\Delta Q * Q_2 + \Delta Q^2) = 0 \quad (1.19)$$

Despreciando ΔQ^2 , por representar un valor pequeño con respecto a Q_1 y Q_2 .

Tendremos:

$$a_1(Q_1^2 + 2\Delta Q * Q_1) - a_2(Q_2^2 + 2\Delta Q * Q_2) = 0 \quad (1.20)$$

$$a_1Q_1^2 + 2\Delta Q a_1Q_1 - a_2Q_2^2 + 2\Delta Q a_2Q_2 = 0 \quad (1.21)$$

$$a_1Q_1^2 - a_2Q_2^2 + 2\Delta Q(a_1Q_1 + a_2Q_2) = 0 \quad (1.22)$$

Despejando ΔQ , que representa el valor a corregir en los caudales supuestos:

$$\Delta Q = \frac{a_1Q_1^2 - a_2Q_2^2}{2(a_1Q_1 + a_2Q_2)} \quad (1.23)$$

Se detalla el procedimiento para el cálculo de las tuberías en el sistema de red.

- Suposición de caudales iniciales de la red.
- Todas las pérdidas menores se manejan estimando longitudes equivalentes y añadiéndolas a las longitudes reales de las tuberías.

- Se asigna una dirección de flujo positiva a cada elemento y, al igual que en la solución aritmética, se asigna un caudal estimado a cada elemento de tal manera que se satisfaga la continuidad de cada unión.
- La dirección del flujo positiva asignada a una bomba debe corresponder a la dirección de la operación normal de la bomba.
- Cualquier solución con flujo en reversa a través de una bomba es inválida.
- Se define un caudal de salida o un caudal de entrada en una unión durante la asignación de los caudales elementales iniciales.
- La suma algebraica de las caídas de presión alrededor de cada circuito debe ser 0.
- Se debe satisfacer la continuidad de los caudales en cada unión [44].

Se presenta los accesorios utilizados en el sistema de red, según se presenta en la Figura 15, para la estimación de los coeficientes de pérdidas de cargas en el cálculo de los tramos, según el criterio de *Hardy - Cross*.

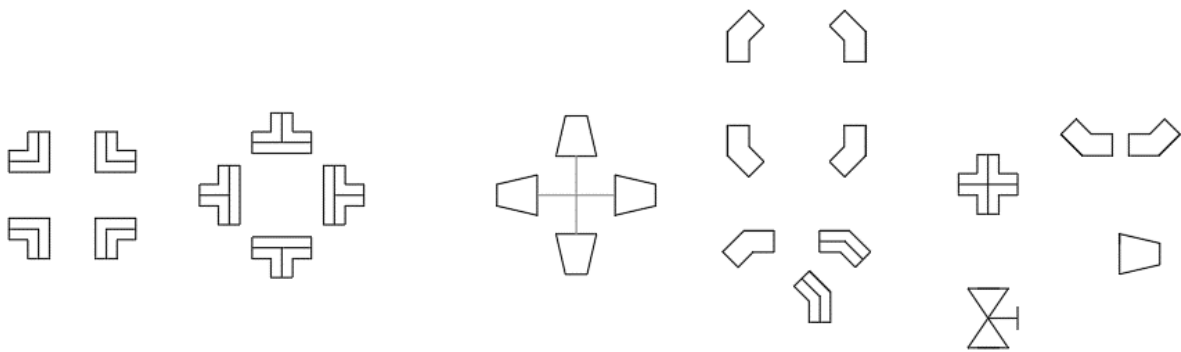


Figura 15: Fuente de accesorios del sistema de riego. **Fuente:** Autor.

3.7.1. Parámetros para el análisis de la red de riego

Para determinar los datos completos del sistema se aplica el diseño de red mediante el método de Hardy Cross, a continuación, se mostrará de forma resumida datos tomados del esquema general, que nos planteamos inicialmente de acuerdo con la topografía de nuestra superficie de riego, ya que este depende del número de iteraciones realizadas hasta que el caudal especificado tenga un cambio despreciable.

Velocidad	2	m/s	
Viscosidad	9,11E-04	Pa*s	
Densidad	997	Kg/m ³	Agua 24C
Rugosidad	0,0000015	m	

LONGITUDES DE TUBERÍA	
TRAMO	m
AB	1500
BC	482
CD	66
EJ - FI - GH	25
EF - FG	35
DE	17

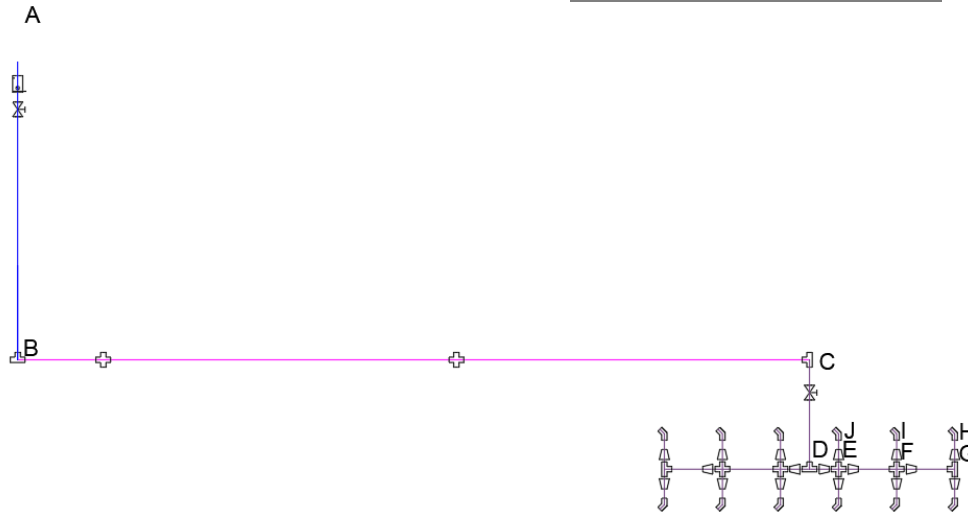


Figura 16: Configuración de red de tubería en la situación más desfavorable abajo y arriba se presenta la longitud de cada tramo de la tubería junto con parámetros del fluido y material. **Fuente:** Autor.

El estudio de una red (Figura 16) mallada o reticular consiste, bien en determinar los caudales que circulan por sus diferentes líneas y las alturas piezométricas en sus nudos o conociendo los caudales y presiones de servicio para determinar los diámetros de las conducciones.

3.7.2. Condición para la eficiencia del sistema de riego por aspersión

La lamina neta de riego (L_n), es la aportación de humedad al suelo para satisfacer las necesidades del cultivo suele expresarse en [mm] de lámina de agua. La lamina bruta (L_b), se aplica cuando el agua queda almacenada en la zona del suelo explorada por las raíces, la dosis bruta se puede determinar por la siguiente ecuación (1.24) [27].

$$L_b = \frac{L_n}{E_a} \quad (1.24)$$

Dónde:

$L_b =$ Lamina bruta [mm].







$L_n =$ Lamina neta [mm].

$E_a =$ Eficiencia de aplicación.

3.8. Tipos de aspersores recomendados para riego

Se presenta un resumen acerca de la clasificación de los aspersores de acuerdo con los principales parámetros de funcionamiento, al mismo tiempo con cada grupo, se presenta en la Tabla 5, los aspersores adecuados para el riego sobre pastizales como lo especifica el manual [45].

Tabla 5: Clasificación de los aspersores tipo HS.

Aspersores Senninger (Plastigama)							
Figura	Aspersores	Modelo	0,50 M	Caudal (Gpm)	Presión (Psi)	Alcance (M)	Costo Unitario
	A1: Aspersor de giro lento.	(2014 HS - 1) (3012 - 1)	22,89 26,25	2,37 3,97	50	4 a 7	6.99
	A2: ángulo normal, ángulo 23°	2023 HD - 1-1/2* M	25.33	3.98	50	12	8.65
	A3: Ángulo aspersion 23°	2023 HD - 3/4 M	29.01	5.98	50	18	11.5
	A4: Doble boquilla 25°	(3023-2) (4023-2) (5023-2)	(27,47) (32,96) (37,23)	(4,95) (9,88) (16,90)	60	7 a 12	19.81
	A5: mini cañones 25°	7025 RD - 2 - 1	47.3	27.7	70	18 a 30	41.5
	A6: gran cañón/doble boquilla	HIDRA RH 1 1/2"	72.01	140.8	85	25 a 70	185.01

Fuente: Tomado de [45].

A continuación, se indica en la Tabla 6, las observaciones técnicas para el uso y aplicación de los aspersores en niveles de asignatura [An], algunas de estas son tomadas en cuenta para el correcto diseño del sistema de riego.

Tabla 6: Observaciones para el uso de aspersores.

Aspersores	Observaciones
A1	Que no permite daño al racimo de la fruta, fácil de mantenimiento.
A2	Que permite un mayor alcance de conexión rosca macho de ½". Dispone de varios accesorios para hacer más seguro su aspersor, como un nuevo acople rápido.
A3	El difusor en el brazo de aspersor imita el rendimiento de la doble boquilla, pero sin la posibilidad de taponamiento que tiene a menudo las boquillas secundarias más pequeñas.
A4	Las series 30, 40 y 50 de círculo completo son los aspersores de impacto. Alta tasa de aplicación y mayor alcance.
A5	Menor costo que los aspersores metálicos, Grandes volúmenes y diámetro de mojado, Su Doble boquilla incrementa la distribución y mejora la uniformidad. Conexión a rosca macho de 1".
A6	Mecanismo de retorno lento que asegura una operación libre de problemas. Tornillo difusor principal y secundario ajustable permite la rotura del chorro de agua en excelente precipitación y distribución.

Fuente: Tomado de [46].

Aclarado la aplicación, ventajas y desventajas de los sistemas de aspersión, se realizará una discretización para el correcto empleo de sistemas en el diseño de riego.

3.9. Bombas para el riego

Las bombas centrífugas y los sistemas relativos de líquidos están presentes en la industria de productos químicos; a continuación, se detalla el rendimiento de las bombas, capacidades de succión, efectos de la viscosidad, operación en condiciones fuera de servicio y conservación de energía. El proceso de selección de una bomba para riego consta de varias etapas que van desde la determinación de los parámetros de instalación, hasta la selección definitiva y especificación del modelo seleccionado [47].

Los parámetros relativos a la instalación a determinar son: caudal, presión y el NPSH disponible, en base a la necesidad del proyecto. Los parámetros relativos a la bomba son los que caracterizan a la misma y se obtienen mediante ensayos de laboratorio realizados

por los fabricantes. A partir de este punto se está en una situación de elegir el tipo de bomba (centrífuga - axial). Con el tipo de bomba elegido se realiza una preselección de la misma en base a las características presentadas en catálogos por los diferentes fabricantes [48].

3.10. Bombas hidráulicas

Las bombas hidráulicas son máquinas, que reciben el trabajo mecánico dado por una fuente de accionamiento y lo transforma en energía de presión y velocidad, permitiendo la captación y elevación del agua desde una fuente de abastecimiento (*Río Fermín*) y su conducción hasta el punto de descarga de acuerdo con las necesidades (*caudal*) y las características topográficas (*desnivel geométrico y distancia desde la bomba*) del área a ser regada [29].

3.10.1. Tipos de accionamiento de bombas hidráulicas

Dispositivos que tienen la capacidad para desocupar piscinas (aguas limpias), pozos sépticos (aguas sucias), regar cultivos y abastecer de agua un sitio sin acceso a ella, entre otros

Las bombas tienen una diversidad de sistemas de alimentación, pero nos centraremos en las que tienen alimentación a base de [29]:

- Electricidad con voltaje alterno o continuo (electrobombas).
- Combustible sea este diésel o gasolina (motobombas).

El panel de control de una bomba es el dispositivo que permite accionar la bomba y puede contener interruptores o botones para encendido, detención, mientras que el motor es el componente fundamental que permite el movimiento del eje que a su vez es el impulsor [29].

El funcionamiento de estas bombas es similar por lo que podemos decir que el agua es aspirada por el tubo de entrada para ser impulsada por un motor que utiliza bobinas e imanes para crear un campo magnético y así lograr que el impulsor gire de una manera continua, mientras el rotor este girando el líquido se moverá. Existen diferentes clases de rotores o impulsores, que permiten al fluido pasar muy rápidamente de la entrada o admisión, a su escape o salida, estas hacen que la fuerza centrífuga sea tan fuerte por la compresión del fluido, que genera una presión haciendo que el fluido salga con rapidez y gran caudal [29].

3.10.2. Selección de bombas hidráulicas

La clave para hacer la selección correcta de la bomba radica en el conocimiento del sistema en que trabajara la bomba. El ingeniero que especifica una bomba puede hacer una selección errónea por no haber investigado los requisitos totales del sistema ni determinar cuál debe ser el rendimiento de la bomba, además, cuando la responsabilidad de la elección de la bomba está en manos del representante del proveedor, puede serle difícil o imposible determinar los requisitos totales de la operación, así lo mencionan los autores que realizaron el diseño de un banco de pruebas para bombas en serie y paralelo [49]. Por ello, si la primera regla para la selección de la bomba es conocer el sistema completo.

En la industria de procesos químicos, el punto de partida son las hojas de flujo del proceso y los diagramas de tubería e instrumentos. Cuando las bombas tienen la succión en recipientes, tanques o domos y con altura variable encima de la bomba, el ingeniero en bombas debe encontrar la altura óptima y coordinar los requisitos para la bomba, en cooperación con otros ingenieros encargados del diseño de los recipientes o cimentaciones. Si la bomba se va a instalar en un sumidero o en una fosa, los requisitos de flujo cuando el líquido se aproxima a la bomba y la ubicación en ella en la fosa, con espaciadores y placas desviadoras adecuadas, si se requieren [50].

Cuando la pérdida por fricción en la tubería es muy grande, la carga total se ve afectada, a menudo cuando se trata de ahorrar en el costo inicial, el diseñador de la tubería puede proyectarla de un tamaño que produzcan gran caída de presión. Esto requerirá una bomba de mucha más potencia que la requerida para una tubería más grande. La potencia consumida por una carga más elevada se debe evaluar con cuidado, porque representara siempre costos más altos en toda la duración de la bomba. Durante la selección de bombas, desde el punto de vista hidráulico, se tiene las siguientes etapas: determinación de los parámetros de instalación y de la bomba, tipo de bomba, preselección, verificación del funcionamiento sin cavitación, selección, mantenimiento y especificación del modelo a realizar la compra [51] [52] [53].

Se presenta la metodología para la selección de la bomba y sus parámetros a controlar en la Figura 17.

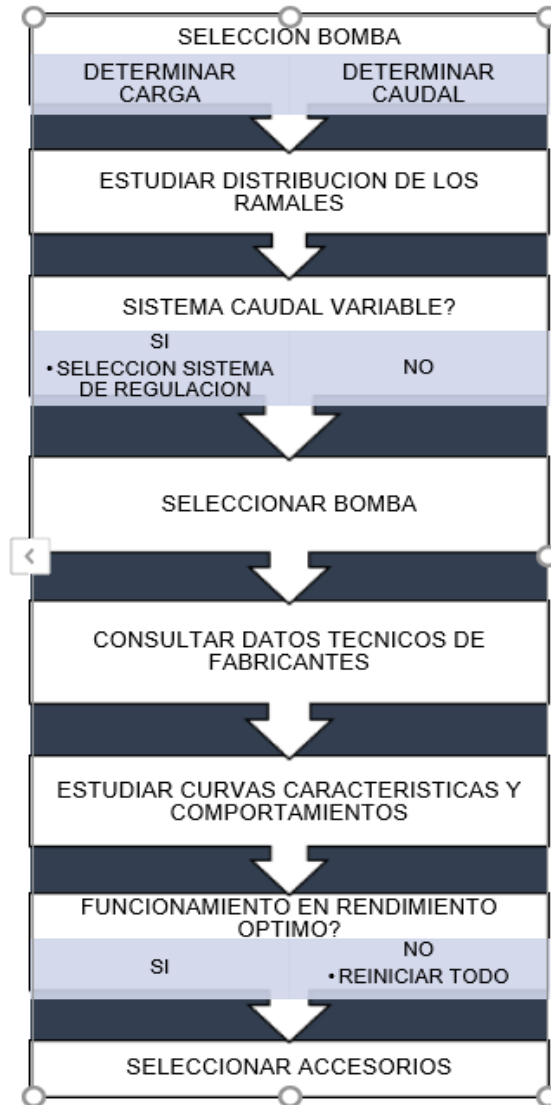


Figura 17: Algoritmo para la selección de la bomba centrífuga. **Fuente:** Adaptado de [54].

3.10.3. Procedimiento de diseño con velocidad específica como guía

En el (*Hydraulic Institute Handbook*), y otros manuales bien conocidos aparece el número adimensional, velocidad específica (N_s), me presenta las ecuaciones (1.25) y (1.26):

$$N_s = \frac{N\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad (1.25)$$

$$D_s = \frac{D H^{1/4}}{\sqrt{Q}} \quad (1.26)$$

donde:

$N_s =$ Velocidad específica

$N =$ Velocidad de rotación [rev/min]

$Q =$ Capacidad [Flujo, gpm]

$H =$ Carga (Columna) [Carga/ft]

$D =$ Diámetro [in]

Esto ayuda a determinar la capacidad de todas las bombas centrífugas generalmente estas indican velocidades y diámetros específicos para la selección en el cual se indica el diagrama de selección de diámetros de flujo axial mediante la formulación ya descrita en la ecuación 1.25, para el valor adimensional de velocidad específica, por ende, se realizará la discretización del diámetro y la eficiencia, según se presenta en la Figura 45, Anexo V.

3.11. Identificación del punto característico del sistema de bombeo

Una vez seleccionada la bomba se debe garantizar los puntos de operación y los puntos característicos de la bomba y del sistema característico, es fundamental indicar los pasos para indicar la información propia del caso [54], así se presenta en la Figura 18.

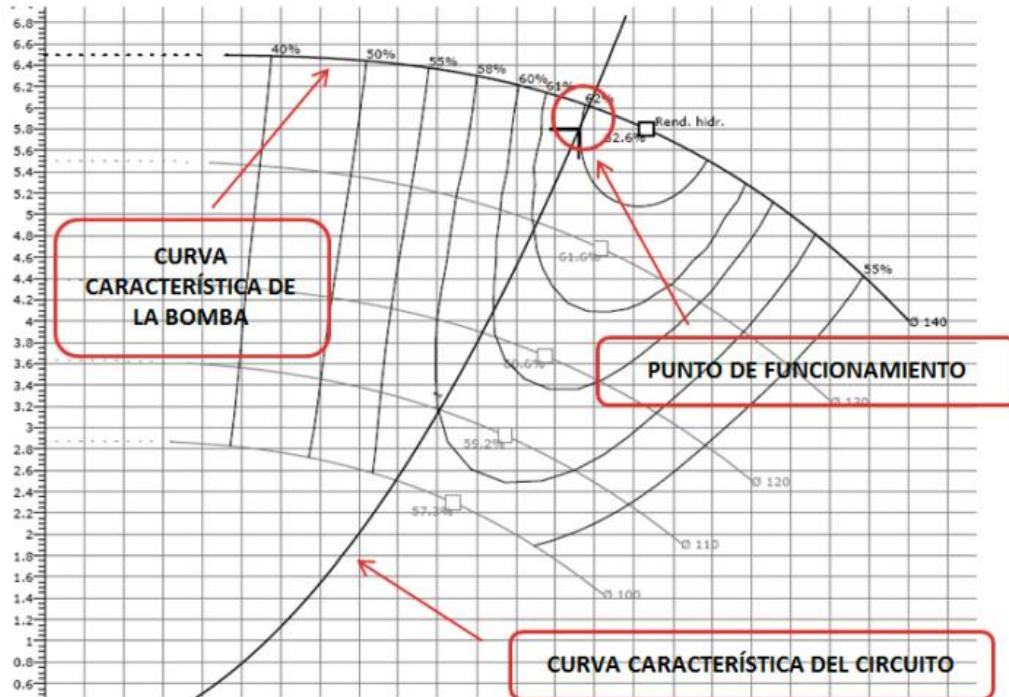


Figura 18: Gráfica de la curva característica. **Fuente:** Tomado de [54].

En los sistemas de riego localizados para mover el agua de un punto inicial a otro a través de las tuberías se necesita una bomba, estas habitualmente funcionan a base de electricidad y/o combustible fósil produciendo la energía suficiente para que se realice el riego uniforme. Existen diversas formas de realizar los riegos la forma rudimentaria de hacerlo implica utilizar la gravedad y la pendiente del terreno, sin embargo estas no satisfacen las demandas de agua porque no se produce la energía necesaria para mover el líquido, por lo que se tienen que hacer modificaciones en el terreno lo que genera mayores costos y a la larga decremento de ganancias, por ello es que en la actualidad se utilizan bombas que optimizan los sistemas de riego las más utilizadas son las centrifugas [54].

3.11.1. Desarrollo de la curva característica del sistema

La curva característica de la bomba describe la relación entre la altura manométrica (caída de presión) y el caudal, información que permiten seleccionar la bomba adecuada para la instalación. La altura manométrica de la bomba es una magnitud, expresable también como presión, que permite valorar la energía suministrada al fluido, es decir, se trata de la caída de presión que debe de vencer la bomba para que el fluido circule bajo las condiciones de diseño, según la Figura 19 [54].

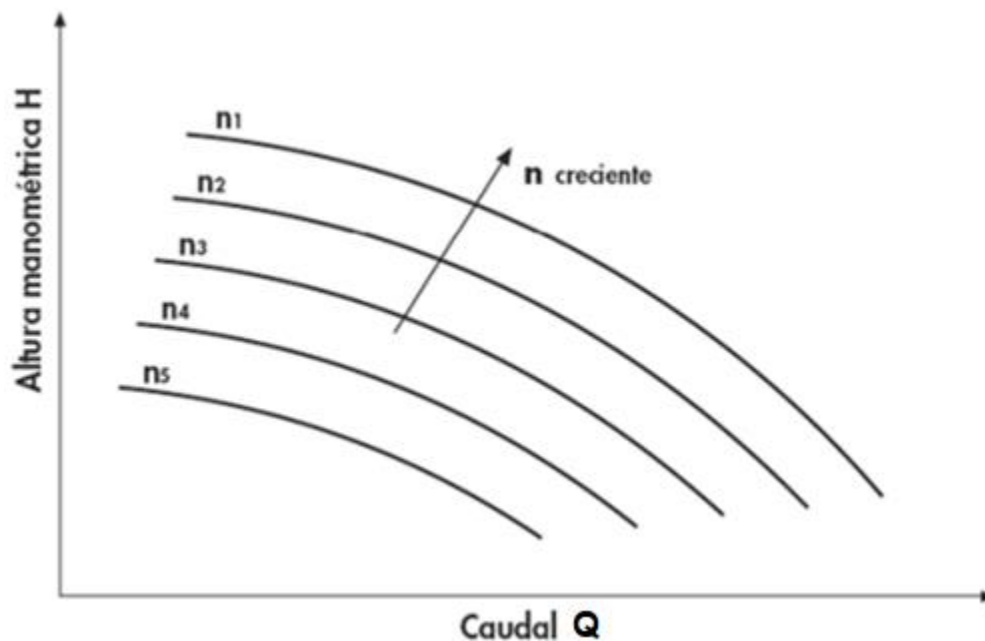


Figura 19: Curva característica de una bomba. **Fuente:** Tomado de [54].

Como se observa en la Figura 19, para cada velocidad de rotación n , hay una curva característica. Nótese también que, si la velocidad se reduce, también disminuye la altura manométrica máxima y el caudal máximo [54].

3.12. Selección para mayor eficiencia

La mayoría de las bombas de proceso en uso son centrífugas, la eficiencia de la bomba tiene un lugar prominente entre los factores que se deben considerar. En un esfuerzo por reducir el costo inicial, a menudo se seleccionan bombas que no representan el diseño más eficiente para un servicio dado ¿Se debe dejar la elección de la eficiencia al fabricante de la bomba? Desde luego, el usuario le debe dar alguna orientación respecto a los costos de energía y métodos para recuperación de la inversión [55].

Una bomba típica para alimentación, que tiene la succión en un tanque, bombea a través de un intercambiador de calor y de una válvula de control hacia un reactor o recipiente para proceso. Supóngase una temperatura ambiente normal, líquido limpio que no sea volátil ni tóxico, una amplia carga neta positiva de succión (del inglés *Net Positive Suction Head*, *NPSH*), ningún contenido de sólidos, viscosidad más o menos como la del agua; en otras palabras, un sistema lo más sencillo que sea posible [56].

En teoría, se podría empezar con el supuesto de un motor de 60 [Hz], con velocidad de 3550 [rpm] y hallar la velocidad específica 981 [rpm], el diámetro específico D [mm] y la eficiencia calculada 72 %, con lo que se obtendrían una bomba centrífuga de una etapa o paso, de 3550 [rpm], con impulsor de 8.53 [in], de diámetro y una eficiencia total de 72 % [56].

3.12.1. Diagnóstico de problemas en las bombas centrífugas

Las fallas de las bombas las ocasionan con mucha frecuencia los ingenieros y operadores de la planta que no conocen las limitaciones inherentes de capacidad en las bombas centrífugas. Cuando se opera una bomba en un punto que no sea el de flujo de máxima eficiencia BEP (del inglés: *Best Efficiency Point*), se producen anomalías hidráulicas en la carcasa y el impulsor [56]. Estas anomalías, que ocurren en todas las bombas centrífugas, pueden ocasionar aspereza hidráulica, impulsos de vibración, flexiones del eje y menor duración de cojinetes y sellos mecánicos, así como mayor desgaste. En la Figura 20, se presentan patrones típicos de flujo que pueden ocurrir en el impulsor cuando no funciona a

su *BEP*, el líquido que pasa por el impulsor solo produce ángulos ideales de flujo cuando la bomba funciona a su mejor punto de eficiencia [58].

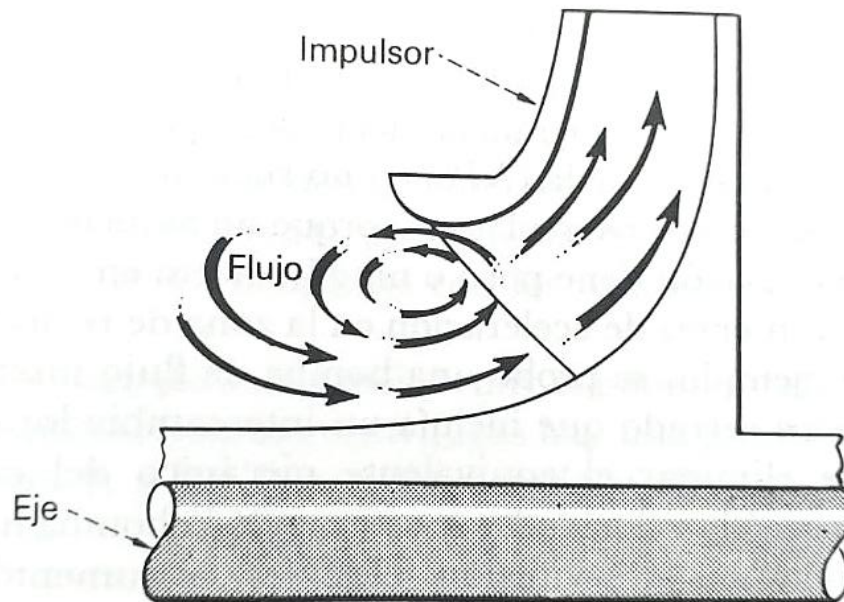


Figura 20: Patrones de flujo en el impulsor en condiciones que no son de máxima eficiencia.

Fuente: Tomado de [58].

Si el ángulo se desvía de lo ideal, la turbulencia adicional resultante de la separación del ángulo de las fases de flujo requiere que la bomba produzca mayor energía por volumen unitario para mover el líquido [59]. Esta es la razón principal por la cual la eficiencia de la bomba se reduce en cualquier lado de su flujo con máxima eficiencia [59].

3.12.2. Inversiones de flujo en bombas centrífugas

En muchos casos puede haber una inversión de flujo, cuando una parte del fluido vuelve a entrar al impulsor detrás de los álabes. Este fluido seguirá al álabe hasta que se una al fluido que pasa desde el ojo del impulsor. En ese lugar hay un cambio muy abrupto en el sentido; esta inversión brusca del flujo y la gran aceleración pueden ocasionar cavitación, por lo general en el lado trasero del álabe del impulsor [60], como se observa en la Figura 21.

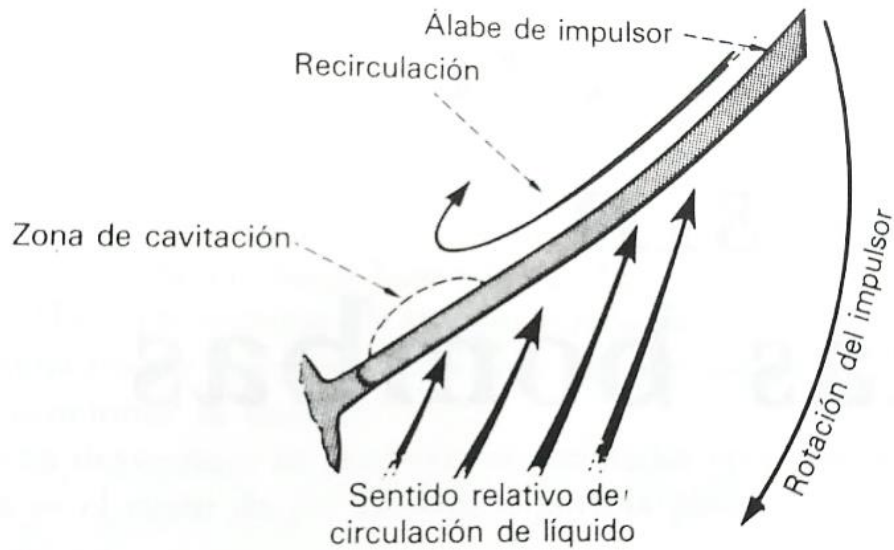


Figura 21: La recirculación puede ocasionar cavitación. **Fuente:** Tomado de [60].

Las implosiones de burbujas y ondas de choque por la cavitación gastarán y picarán la parte trasera del álabe hasta que se formen agujeros y el impulsor deje de funcionar. A veces, este tipo de desgaste se confunde con ataque corrosivo y no se reconoce que la causa real es la cavitación [61].

3.12.3. Recomendaciones para bombas de proceso

Cuando se tiene una bomba centrífuga para un proceso químico que funciona en un punto muy bajo de su curva de rendimiento, el flujo mínimo debe ser, cuando menos, 25 % del [BEP]. Esto reducirá la amplitud de las anomalías hidráulicas y prolongará la duración útil. Para mantener el flujo mínimo se instala, de preferencia, un tubo de derivación (*Bypass*) en el tubo de succión de la bomba. Cuando el sistema de control puede permitir cero flujos de avance, hay que enfriar el tubo de derivación a la succión de la bomba. También se puede lograr enfriamiento de bajo costo con las (*Tees*), para tubo del tipo de intercambiador de calor con un tubo dentro del otro tubo. A continuación, se presenta, en la Figura 22, la curva típica de rendimiento de una bomba centrífuga vertical [59].

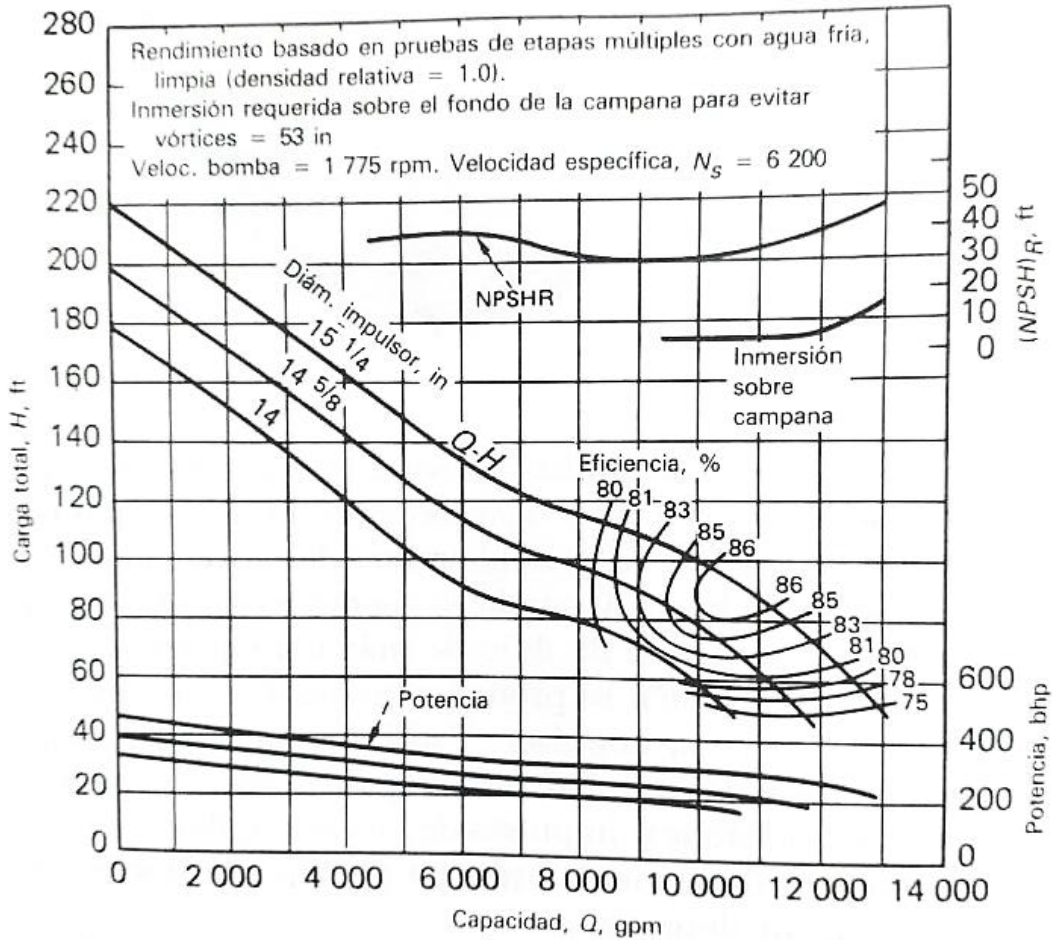


Figura 22: Datos de rendimiento para bomba centrífuga vertical de turbina. **Fuente:** Tomado de [59].

3.13. Carga neta positiva de succión requerida

¿Qué significa la curva de carga neta positiva de succión requerida ($NPSH_R$) en los datos de rendimiento del fabricante de una bomba centrífuga? Hay que definir e interpretar la curva antes de que su información sea útil [62].

Los fabricantes de bombas en muchos países las prueban de acuerdo con las normas del *Hydraulic Institute (HI)* y los fabricantes pueden indicar una serie de puntos en la curva de ($NPSH_R$) en los cuales la carga ha bajado 3% conforme se reducen las condiciones en la succión. Esta curva, entonces, indica el punto en el cual ya hay cavitación en la bomba. Por tanto, los puntos de demarcación en la curva de ($NPSH_R$) entre cero cavitación y caída de carga de 3 % están muy cercanos en las bombas pequeñas de baja velocidad específica. Sin embargo, la diferencia entre la ($NPSH_R$) publicada para el punto cero de cavitación y la

caída de carga de 3 % puede ser hasta 15 a 20 [ff] mayor en una bomba grande, de gran capacidad y de alta velocidad específica. En esta bomba, el mayor volumen de líquido que maneja a menudo arrastrará al líquido que produce por cavitación a lo largo de la carcasa con una caída mínima en la carga total. Esto significa que la bomba puede estar sufriendo daños por cavitación interna sin que haya un ruido apreciable. El rendimiento no se perjudicará hasta que hayan ocurrido serios daños [63], en la Figura 23, se presenta el punto de cavitación incipiente.

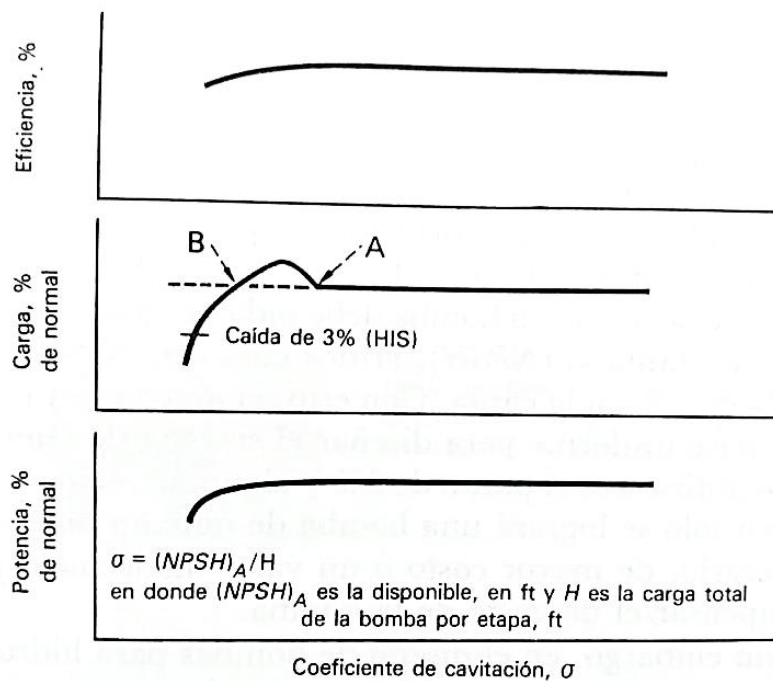


Figura 23: El punto de cavitación incipiente influye en las condiciones de succión de la bomba.

Fuente: Tomado de [63].

3.13.1. Diseño de tuberías para condiciones de succión

Las bombas centrífugas requieren flujo de líquidos libre de vapores en el tubo de succión en la entrada a los alabes del impulsor para funcionar de modo satisfactorio. Las bombas recíprocas requieren ese flujo después de la válvula de entrada [64]. Una bomba centrífuga no puede mover mezclas de líquidos y vapor. La bomba de desplazamiento positivo puede bombear líquido con vapor, pero con gran reducción en su eficiencia volumétrica, aunque el porcentaje por peso de vapor sea una proporción muy pequeña del flujo total. La gradiente de presión a lo largo de la trayectoria del líquido en la bomba tiene características similares a las de una válvula y orificio de control. Entonces, en lugar de que

haya pérdida de presión, la presión corriente abajo será mucho mayor que la presión de succión [64].

Tanto en el tubo de succión como en la bomba la presión mínima no debe caer a menos de la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo. Este principio esencial se debe cumplir con el diseño del sistema y con los planos para diseño de tubería [64].

3.13.2. Especificaciones para evitar la cavitación

La Figura 23, ha sido adaptada del *HI* [63]. Se ha agregado el punto A para indicar la ($NPSH_R$) crítica y el autor lo define como el punto inicial en el cual no ocurre cambio o menoscabo en el funcionamiento cuando se suprime la succión de la bomba. Además, se la puede definir como el punto en el cual la bomba puede funcionar por tiempo indefinido sin que ocurra cavitación incipiente con los cambios en la succión [63].

Esto se hace para diferenciar entre el punto A y el punto B, en muchas bombas centrífugas hay una joroba entre los puntos A y B, y la carga generada vuelve a su valor original en el punto B cuando cambian las condiciones de succión [65]. Salvo que las especificaciones de la bomba mencionen el grado permisible de supresión para cero cavitaciones, el fabricante puede utilizar el punto B como valor crítico de ($NPSH$); esto sería incorrecto, porque la bomba ya tiene cavitación en el punto B [63].

3.13.3. Mantenimiento y problemas con las bombas centrífugas

La distribución típica de presión en la voluta, basada en pruebas hechas en Ingersoll Rand, como se muestra en la Figura 24.

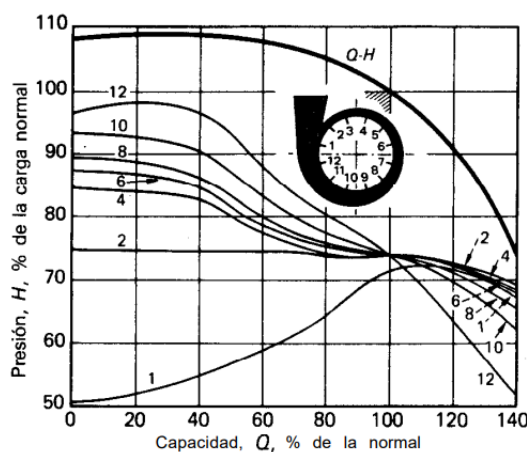


Figura 24: Las presiones en la voluta de la bomba varían según la posición de la voluta y el flujo.

Fuente Tomado de [65].

La magnitud de las mediciones de empuje radial hechas en una bomba de voluta sencilla de 4 [in], se verá que el empuje es mayor con cero flujos así lo menciona, casi cero al *BEP* o cerca de él y que invierte su sentido, pero otra vez aumenta en magnitud con flujos que están a la derecha, o sea, son mayores que el *BEP* [65], así se observa en la Figura 25.

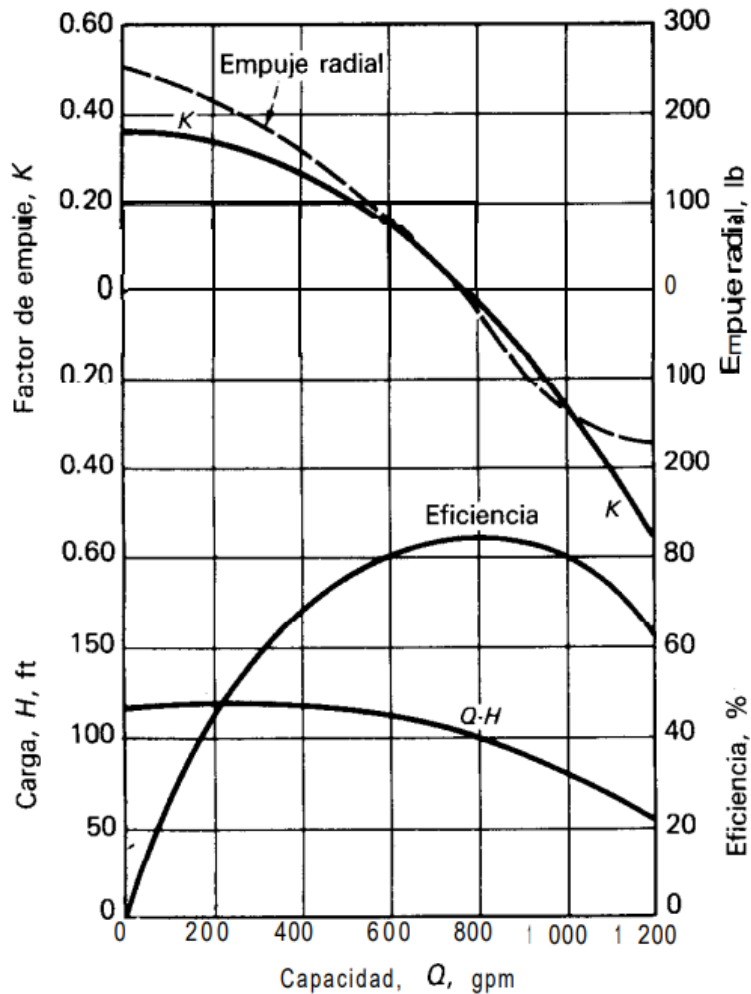


Figura 25: Magnitud del empuje radial con diversos flujos. **Fuente:** Tomado de [65].

3.13.4. Características o elementos constituidos de la casa de máquinas

El funcionamiento de la instalación de una bomba es el caudal del sistema (Q), la altura manométrica total (H_m) y el NPSH disponible. En la Figura 26, se muestra el esquema de una instalación de bombeo para riego [35].

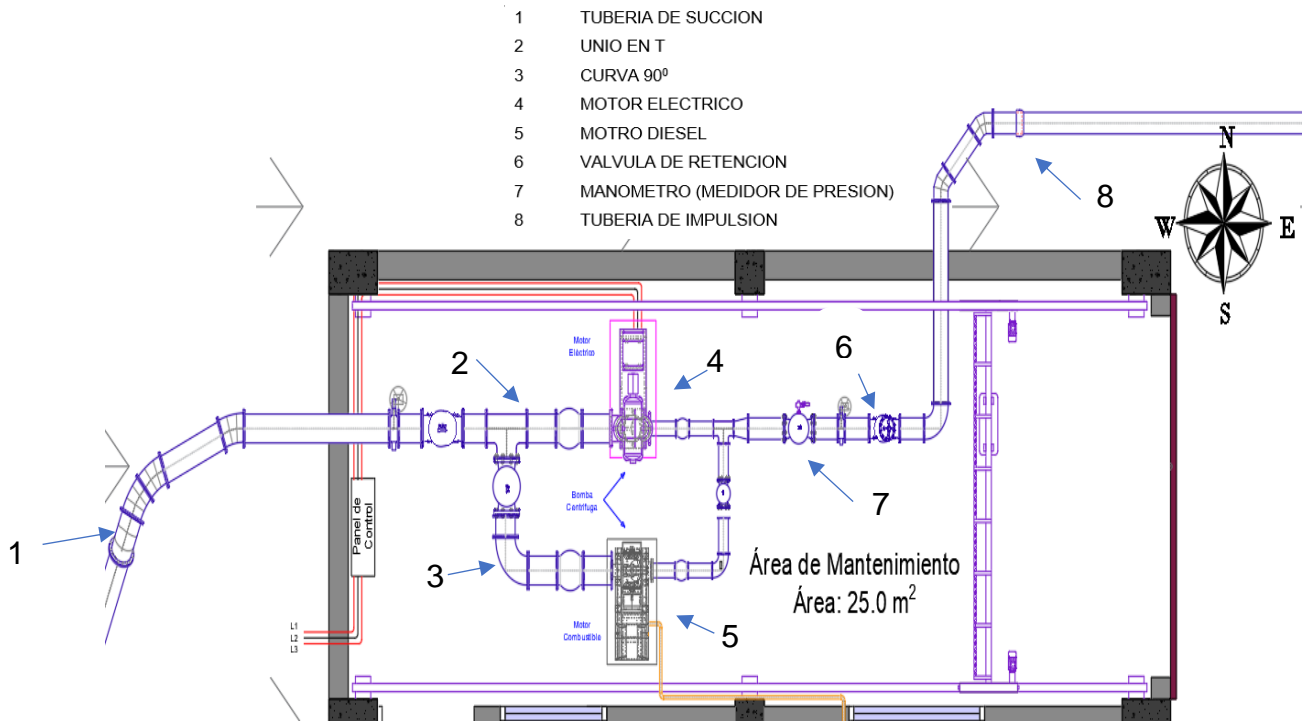


Figura 26: Esquema de una instalación de bombeo. **Fuente:** Autor.

La captación se realiza a partir del *Río Fermín*, entonces el sistema de adaptación se realizará hasta la casa de máquinas, donde la infraestructura debe ser planeada para sistema adaptativos a vibración, la cual deberá ser diseñada a partir de las características de frecuencia de la bomba, deberá cumplir los espacios mínimos para la eliminación de químicos en el caso de utilizar el medio de alimentación por combustibles o energía eléctrica, los comandos de mando y fuerza deben respetar la normativa de instalaciones industriales en maquinaria de gran potencia [35].

3.14. Equipamiento complementario de los sistemas de bombeo

Se establece algunos criterios para la selección, mantenimiento y uso de los equipos de movilización de las bombas hidráulicas ya que su peso es considerable para poner en marcha y ubicarlas en la parte de cimentación adecuada.

3.14.1. Parámetros a considerar antes de operar

Inspección inicial del polipasto según fabricante (ABUS Grúas). Antes de la puesta en marcha inicial del polipasto se debe realizar una comprobación de la recepción, la cual es responsabilidad del cliente [54].

- a. Comprobación del estado en general. Los componentes de la instalación no deben estar dañados u oxidados.
- b. Comprobar el estado de la estructura portante. No debe estar dañada.
- c. Comprobar el correcto montaje y conexión.
- d. Comprobar los motores de elevación, los de traslación del carro y los accionamientos de traslación.
- e. Comprobar los frenos de los motores de elevación, accionamientos de traslación del carro.
- f. Comprobar el interruptor fin de carrera de elevación.
- g. Comprobar el interruptor de fin de desplazamiento.
- h. Comprobar interruptor de fin de recorrido.
- i. Comprobar que todos los tornillos estén apretados y asegurados. De lo contrario, apretar los tornillos con el par correspondiente y asegurarlos.
- j. Realizar una comprobación estática de la capacidad máxima de carga. Esta se debe realizar con una carga de ensayo equivalente a 1,25 veces la capacidad máxima de carga [54].

3.14.2. Esquema del sistema de monta carga polipasto

Se presenta el sistema principal de transporte y manejo de las bombas a través de un polipasto de riel ubicado en el techo de la casa de máquinas, tal como vemos en la Figura 27. En los planos técnicos de la casa de máquinas en el Anexo I podemos observar cómo se ubica el polipasto.

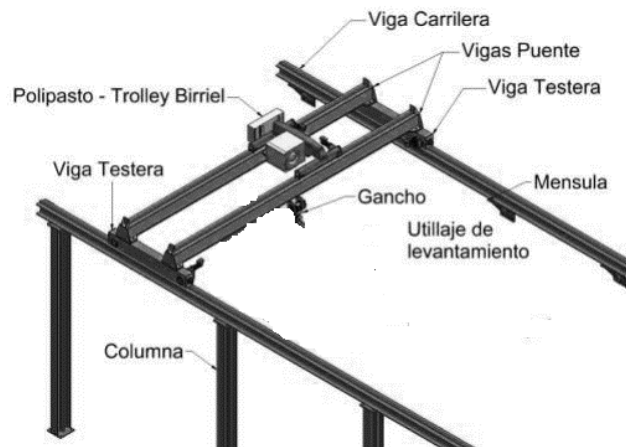


Figura 27: Vista 3D del sistema de polipasto en el rail de carga. **Fuente:** Tomado de [54].

Se inicia el funcionamiento del polipasto en vista frontal para el posicionamiento de la bomba en la casa de máquinas, el polipasto tiene una capacidad de 1.5 Ton, lo sufriente para realizar las maniobras internas en casa, una vez dirigido el polipasto, se indica el posicionamiento de los accesorios para el bombeo, según la Figura 28.

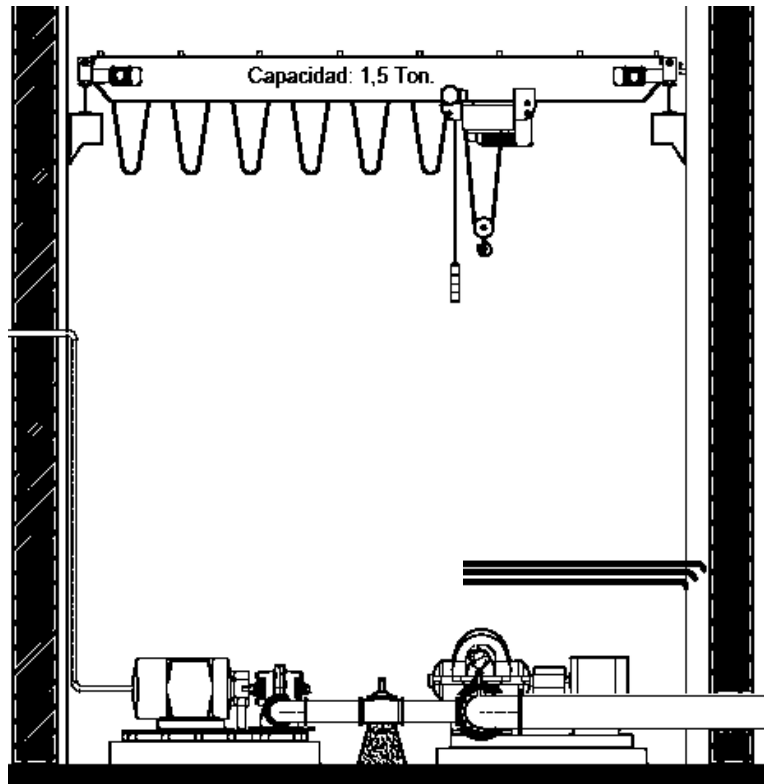


Figura 28: Vista frontal de la ubicación de la bomba en CM. **Fuente:** Autor.

3.15. Efecto de la implementación de riego en la calidad de los pastizales

El agua de riego como principal requerimiento, de alimentación del ganado, este constituye entre el 55 y 65 % del peso vivo, además un litro de leche contiene un 88 % de agua así lo indican investigaciones realizadas por [66].

A continuación, se presenta los resultados de producción de leche de dos grupos de ganado vacuno sometidos a dos tratamientos durante 12 semanas evaluando el volumen de leche obtenido de cada grupo semanalmente (Figura 29).

Resumen de casos		
Media		
Tratamiento	Número de Semana	Litros
Pasto + Riego	S1	4.9000
	S2	4.7125
	S3	5.7875
	S4	4.7125
	S5	4.3200
	S6	3.2150
	S7	3.6450
	S8	3.4650
	S9	3.2500
	S10	3.2875
	S11	3.3225
	S12	3.3200
	Total	3.9948
Pasto / Tempora	S1	4.4875
	S2	4.1450
	S3	4.7875
	S4	4.1775
	S5	3.8225
	S6	2.3925
	S7	2.8925
	S8	2.7500
	S9	2.8925
	S10	2.8200
	S11	2.3925
	S12	2.7500
	Total	3.3592



Figura 29: Comparación de leche en base a dos sistemas de producción. **Fuente:** Tomado de [66].

Se observa en la Figura 29, que el grupo en el tratamiento 1 (consiste en pasto con un sistema de riego), inició en la primera semana con un alto peso en la leche y culminó en la semana 12 con un alto peso en comparación con el tratamiento 2 (consiste en pasto sin un sistema de riego), obteniendo rangos altos desde la sexta semana a la semana nueve, obteniéndose un equilibrio del volumen de leche en la semana cinco y diez, mientras se van acoplando a cada tratamiento. Por lo tanto, al aplicar al pasto consumido por un grupo de vacas productoras de leche el tratamiento 1, que consiste en la implementación de un sistema de riego se obtiene un 63 % más de volumen de leche al cabo de 3 meses, que si se aplicara el tratamiento 2.

Por ende, se mencionó que la La Hacienda San Alfonso cuenta con una extensión de aproximadamente **404 [ha]** de las cuales el **96,04 %** son pastos cultivados dedicados al consumo de ganado vacuno de doble propósito y el **3,96 %** es destinado al **cultivo de cacao**. El tipo de ganado vacuno que cría la hacienda corresponde a la **raza Brahman**, también se cría en menor porcentaje ganado de **raza Caballar**.

El peso que tiene el ganado de dicha *raza Brahman*, entre los machos está en los **800 - 1.000 [kg]**, mientras que las hembras tienen un peso que oscilan entre los **500 - 700 [kg]**, un bovino consume de **40 - 100 [l/día]** de agua, dependiendo de su edad y estado fisiológico; una vaca que produzca más de 8 litros de leche [l/día] consumirá más agua que otra que produzca sólo 3 litros [l/día], entonces a partir de esta data el sistema de riego conjuntamente con los alimentadores de agua tienen tendencia a elevarse, en un factor de incremento en producción masiva de litros en cada cabeza, al propietario le cuesta producir un litro de leche, \$ 0,31 y este valor se incrementa por bonificaciones por calidad y lo comercializan al productor en \$ 0,36, obteniendo una rentabilidad de \$ 0,05 por litro de leche, así lo indica el ministerio de agricultura, ganadería, acuacultura y pesca (MAGAP).

El estudio [67], demuestra que el riego continuo rotacional dio como resultado en el control de peso en el ganado **3.9 [kg/ha/día]**, conjuntamente con la producción de leche y carne de 11.9 a 13.7 %, por ende, respalda el uso del proyecto a ejecutarse del sistema de riego, esto asegura la potencialidad de la hacienda. En la producción de carne la misma identidad presenta el costo de liba de carne en vacas y terneras en \$ 0.64 y en toros – toretes en \$ 0.83, en estudios realizados por [68], analizan los indicadores de crecimiento porcentual de masa muscular en ganado, verifican los costos de producción del litro de leche y carne en un sistema de lechería de doble propósito, donde obtuvieron que el porcentaje de ganancia aumento un 13.1%. Se pretende que “Hacienda San Alfonso”, tenga los mismos indicadores bajo ciertos requerimientos y controles de los grupos de ganado.

4. DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO

En este capítulo se procede a aplicar la información establecida de los capítulos anteriores, para definir los diámetros de las tuberías, el tipo de aspersor, los planos arquitectónicos, el material de la tubería, la selección de la bomba y sus parámetros de funcionamiento y accesorios complementarios al correcto desempeño del sistema de riego, estableciendo el área y tiempo de trabajo.

Se determinó los parámetros iniciales con base en las precipitaciones anuales recomendadas para el crecimiento normal conservando su aporte nutricional tanto en el período de sequía como el invierno del pasto saboya para luego analizar mediante una tabla ponderativa la selección del sistema de riego más conveniente. El agua destinada para riego de pastizales debería ser superior a precipitaciones de 2,73 [mm/día], lo cual significa que por cada [m²] de terreno se necesitan 2,73 [l] de agua diariamente para mantener su aporte nutricional tanto en el período lluvioso como seco, es decir, 1 [m²] de pasto requiere 3,1709 * 10⁻⁸ [m³/s].

Datos:

$$D_n = 2,73 \text{ [mm/día]}$$

$$E_a = 70 \% \text{ [Riego por aspersión]}$$

Dosis total de agua ecuación (1.26):

$$Dt = \frac{D_n}{E_a} = \frac{2,73 \text{ [mm/día]}}{0,7} = 3,90 \text{ [mm/día]} \quad (1.27)$$

Volumen de agua por día en una hectárea ecuación (1.27):

$$V = 10000 \text{ [m}^2\text{]} * 3,90 \text{ [mm/día]} * \left(\frac{0,001 \text{ m}}{1 \text{ mm}}\right) = 39 \text{ [m}^3\text{/día]} = 0,00045139 \text{ [m}^3\text{/s]} \quad (1.28)$$

Este volumen de agua se estima regar en máximo 4 [horas], por tal razón se calcula un caudal por hectárea mediante la ecuación (1.29):

$$Q = \frac{39 \text{ m}^3}{4 \text{ h}} \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right) = 0,00067708 \text{ [m}^3\text{/s]} \quad (1.29)$$

Para el diseño también nos basamos en el caudal requerido por los aspersores comerciales preseleccionados en la Tabla 5 y se establece de acuerdo con las características

topográficas y climáticas del terreno, configuración de red de tubería que involucra alcance y distribución del equipo de aspersión, donde se realiza un esquema del sistema completo.

4.1. Características del esquema general

Se presenta el modelo de planta, donde se visualiza la distribución de la red de tuberías desde la captación hacia los aspersores, quedando así distribuido el sistema de tuberías en el área a cubrir para el riego de la hacienda en la Figura 30 y Figura 31. El plano técnico general del sistema de riego se encuentra en el Anexo IV.

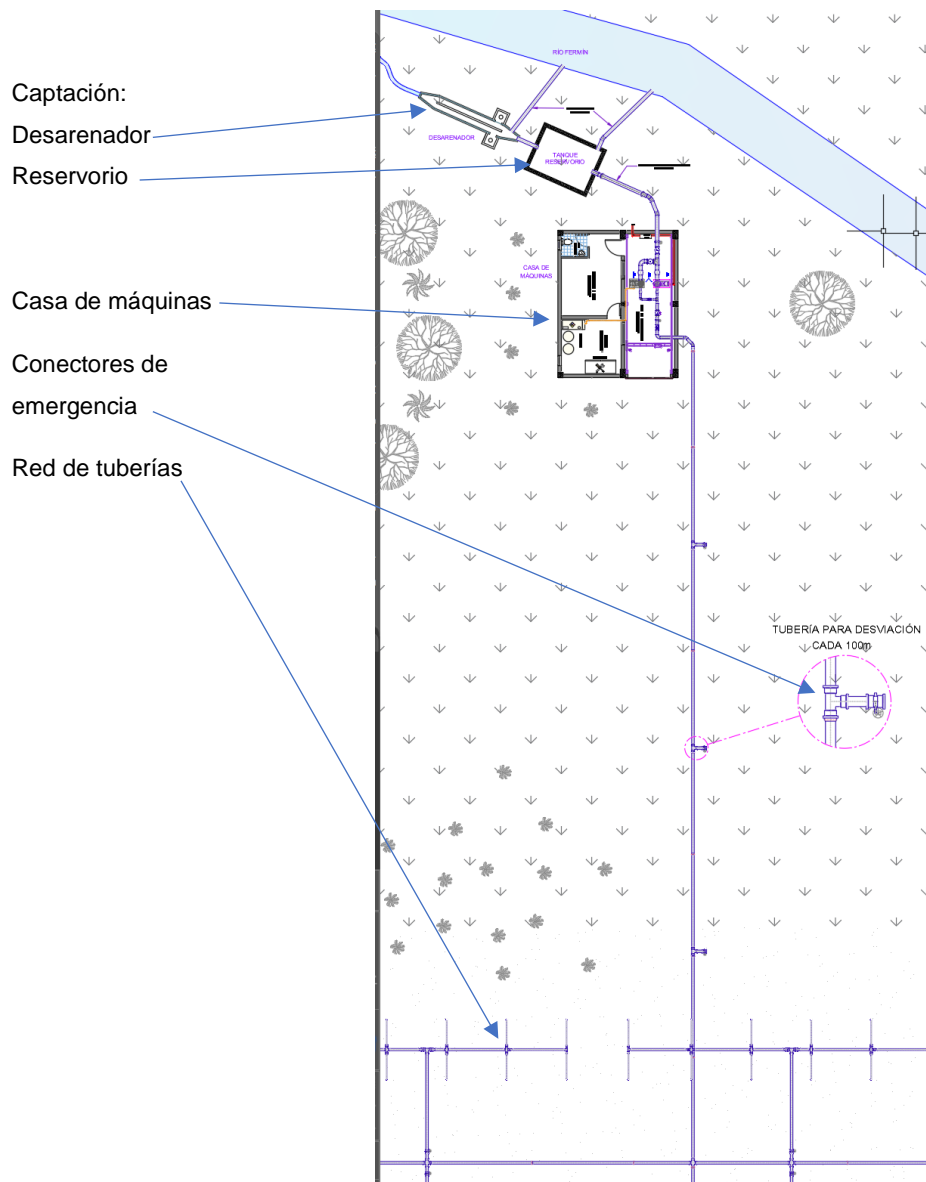


Figura 30. Esquema general del sistema de riego. **Fuente:** Autor.

Análisis en la situación más desfavorable

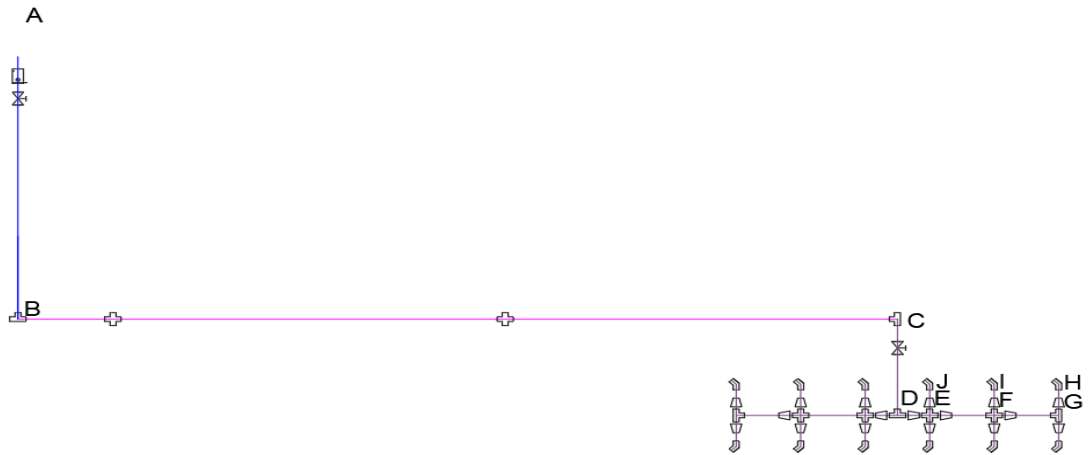


Figura 31: Red de tuberías considerada para el análisis por Hardy-Cross en la situación más desfavorable. **Fuente:** Autor.

En la Figura 32 se presenta longitudes y alturas de las partes del sistema de riego, que se muestra en el plano técnico del Anexo II.

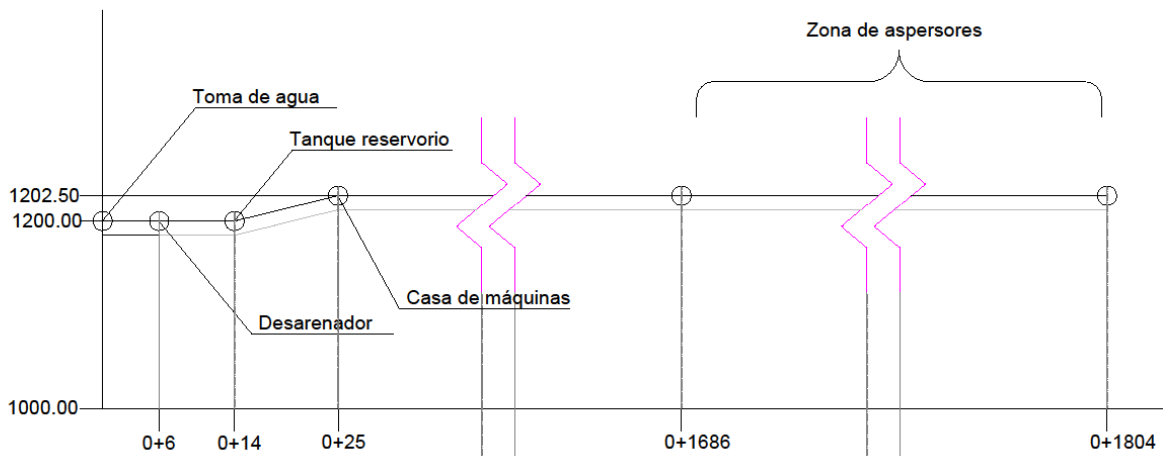


Figura 32. Detalle constructivo de alturas y longitudes del sistema de riego. **Fuente:** Autor.

Se presenta los diámetros de las tuberías del sistema de distribución en la Tabla 7 y los tramos con sus ramificaciones.

Tabla 7: Diámetro óptimo calculado.

Tramo	Dop [in]
AB	7
BC	7
CD	7
DE	5
EF	5
FG	4
GH	1
FI	1
EJ	1

Fuente: Autor.

4.2. Selección del sistema de riego

Por medio de un sistema de ponderación, como se observa en la Tabla 8, se evalúa criterios más relevantes al momento de elegir un sistema de riego apropiado a los cuales se asigna un valor de importancia a cada uno, para asignarle una calificación, siendo 5 el valor más alto y 1 el valor más bajo.

De esta manera, mediante la multiplicación del peso por la calificación se obtiene un valor el cual se va a ir sumando al del siguiente criterio hasta obtener la sumatoria de cada tipo de sistema de riego.

De acuerdo a los resultados de la ponderación, con un total de 3.735 puntos, el sistema de riego por aspersión, es el más conveniente para el cultivo de pastizales en la Hacienda San Alfonso, considerando que es prioridad dar más peso al sistema que se adapte al cultivo de pastizales (12 %), junto con una alta eficiencia (11 %) y una buena adaptación al terreno (7.25 %) considerando siempre el costo de diseño e implementación (9 %), así se presenta en la Tabla 8 [69].

Tabla 8: Ponderaciones para la selección del sistema de riego conveniente.

Ponderaciones para la selección del sistema de riego							
Opción	Peso o ponderación	Gravedad	Subtotal Gravedad	Aspersión	Subtotal Aspersión	Goteo	Subtotal Goteo
Costo	9 %	2	0.18	4	0.36	5	0.45
Eficiencia global	11 %	4	0.44	4	0.44	5	0.55
Escalabilidad	7 %	5	0.35	4	0.28	3	0.21
Facilidad de uso	1 %	1	0.01	3	0.03	5	0.05
Infraestructura	9 %	2	0.18	5	0.45	5	0.45
Automatización	6.5 %	1	0.065	5	0.325	5	0.325
Vida útil	5.5 %	5	0.275	4	0.22	4	0.22
Distancia de riego	7 %	4	0.28	5	0.35	4	0.28
Riego en pastizales	12 %	5	0.6	5	0.6	1	0.12
Actividades simultáneas	2.5 %	5	0.125	1	0.025	4	0.1
Requerimientos energéticos	8.5 %	2	0.17	5	0.425	4	0.34
Exceso de humedad	6 %	5	0.3	3	0.18	3	0.18
Adición de fertilizantes	5 %	5	0.25	1	0.05	5	0.25
Total	100 %		3.225		3.735		3.525

Fuente: Autor [34].

Ante todos los datos expuestos a partir de la situación geográfica y la necesidad de un sistema de riego apto para el tipo de campo (aspersión) y ante las recomendaciones generales a usar en la implementación del sistema de riego, donde establece de manera correcta, que todos los datos se manejaron bajo condiciones controladas. Se asignan los datos iniciales para el diseño del sistema riego, estos se presentan, en la Tabla 9.

Tabla 9: Datos de diseño iniciales para el sistema de riego.

Datos de partida para el diseño del sistema de riego por aspersión	
Caudal de diseño	0.03025 [m^3/s]
Área total de riego	136 [ha]
Precipitación del pasto por ha	27300 [$mm/día$]

Cantidad de potreros	11
Período de crecimiento del pasto	5 - 7 [semanas]
Largo L	1166 m
Ancho A	1033 m
Superficie S	1360000 m ²

Fuente: Autor [34].

4.2.1. Parámetros del sistema de riego

Se presenta el diseño de captación de agua del *Río Fermín*, con un desarenador para luego establecer un reservorio y se diseña la red de tuberías juntamente con el sistema de bombeo. Además, se hace una selección de equipo complementario y de impulsión de la bomba. Se diseña un cuarto de máquinas con protecciones eléctricas y finalizando con los planos técnicos constructivos del sistema [34].

Tabla 10: Parámetros de diseño.

Parámetros de ambientación	
Parámetros	Descripción
Ubicación	Cantón Ponce Enríquez
Clima	Verano: escasa probabilidad de lluvia
Tipo de suelo	Franco limoso
Tipo de cultivo	Pastizales
Forma del terreno	Rectangular
Superficie del terreno	Plana
Sistema de riego a implementar	Por aspersión
Área promedio de potreros	10 [ha]
Disponibilidad de energía	Si por combustión o eléctrica
Fuente de agua	Río Fermín

Fuente: Autor [34].

A continuación, procedemos a realizar el diseño de un sistema de riego tecnificado por aspersión de pastizales para la crianza de ganado vacuno en la *Hacienda San Alfonso* en el Cantón Ponce Enríquez, con base en las investigaciones previamente realizadas; para

lo cual hemos tomado en cuenta todos los parámetros disponibles y requeridos del sistema, estos se presentan en la Tabla 10.

4.3. Condiciones para el dimensionamiento del desarenador

Para el diseño del desarenador se calcula las longitudes del sedimentador, el resto de dimensiones de cada zona se obtiene aplicando los criterios de diseño mencionadas en el marco teórico.

Se presenta el modelo del desarenador en el tanque, el sistema de adaptación y el su funcionamiento completo una vez ya realizado el cálculo se lo implementa de manera completa, en el Anexo I y II, el modelo ya establecido de forma general.

A continuación, se presenta los parámetros iniciales para el dimensionado:

- Caudal de Diseño: 30 [l/s].
- Densidad relativa de la arena: 2,65 (Información obtenida de estudio de suelos-Azuay).
- Diámetro de la partícula: 0,02 [cm].
- Temperatura del agua: 18 °C.
- Viscosidad Cinemática (η) = 1.0105×10^{-2} [cm⁻² /s].

Se tiene velocidad de sedimentación con la fórmula (1.4). (V_s) = 3.04 [cm/s].

Se comprueba el número de Reynolds con la fórmula (1.5), $Re = 5.03$.

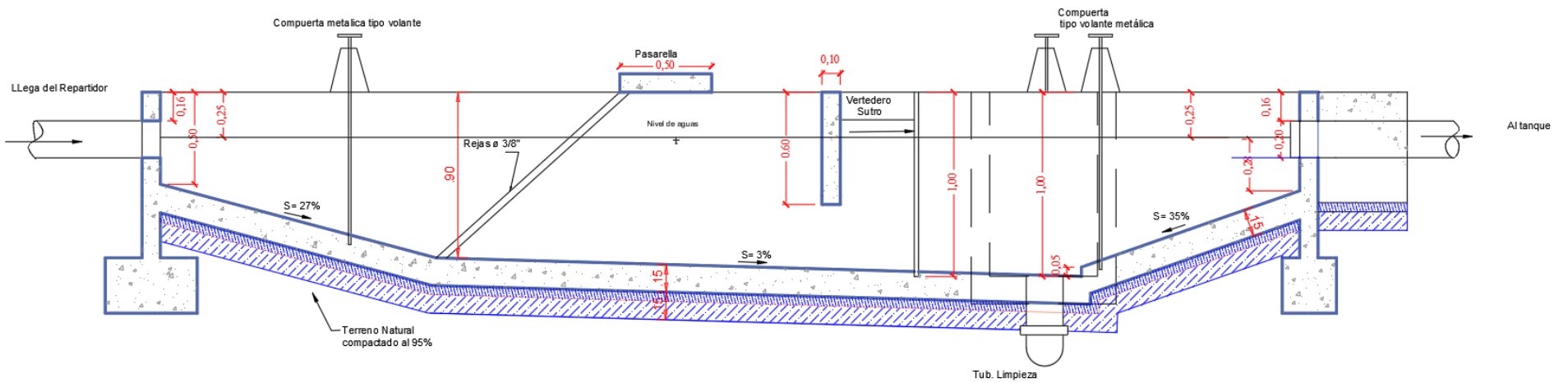
Se determina la velocidad de sedimentación con la fórmula (1.9), $V_s = 3.58$ [cm/s].

Se asume una eficiencia del 75%. Se calcula $V_h = 10$ [cm/s].

Se determina las dimensiones de largo, ancho y profundidad respetando los criterios de diseño de acuerdo a la relación que establece proporcionalidad directa entre las velocidades y las longitudes fórmula (1.11):

$$\text{Largo: } \mathbf{L} = 6.40 \text{ [m]}; \text{ ancho: } \mathbf{B} = 2.30 \text{ [m]}; \text{ profundidad: } \mathbf{h} = 1.20 \text{ [m]}$$

Los datos obtenidos se reemplazan según las relaciones establecidas en el tema criterios de diseño para obtener el plano mostrado en la Figura 33.



SECCION A -A

Figura 33: Vista interna del desarenador y dimensiones. **Fuente:** Adaptado de [2].

4.4. Selección del aspersor a utilizar

Para la elección del aspersor se realizó mediante una tabla de ponderaciones, consideramos como base principal la gama disponible en el mercado, ya que existen diversas marcas que nos ofrecen una amplia variedad de aspersores de acuerdo con nuestra necesidad y dimensiones del terreno, se presenta en a Tabla 11, la ponderación bajo cada criterio de aspersor [70].

Tabla 11: Ponderaciones para la selección del aspersor.

Ponderaciones para selección de aspersor							
Criterio	Costo	Caudal	Alcance	Mecanismo	Presión	Boquillas	
				Giro			
PESO	29 %	16 %	30 %	8 %	14 %	3 %	100 %
A1	5	2	1	3	5	3	
TOTAL	1.45	0.32	0.3	0.24	0.7	0.09	3.1
A2	4	2	2	3	5	3	
TOTAL	1.16	0.32	0.6	0.24	0.7	0.09	3.11
A3	3	2	3	3	4	3	
TOTAL	0.87	0.32	0.9	0.24	0.56	0.09	2.98
A4	2	4	4	3	3	3	
TOTAL	0.58	0.64	1.2	0.24	0.42	0.09	3.17
A5	1	5	5	3	2	3	
TOTAL	0.29	0.8	1.5	0.24	0.28	0.09	3.2
A6	1	5	5	3	1	3	
TOTAL	0.29	0.8	1.5	0.24	0.14	0.09	3.06

Por lo tanto, se presenta las características de los aspersores tipo mini cañón:



A5: mini cañones	7025	RD - 2 - 25°	47.3	27.7	70	18 a 30	41.5
------------------	------	--------------	------	------	----	---------	------

Fuente: Autor [70].

De acuerdo con la ficha técnica de cada aspersor se priorizó los siguientes criterios en orden de importancia: alcance, costo, caudal, presión, mecanismo de giro y si es posible adaptar una boquilla extra. De lo anterior, se obtiene un máximo valor de 3.2 para el aspersor A5 que corresponde a los mini cañones.

Las boquillas del aspersor serán tipo chorro recto. Para asegurar la pulverización del chorro de agua a lo largo de los 25 [m] de alcance, dependeremos del mecanismo de giro tipo impacto y de que la presión de trabajo se mantenga constante, esto es importante porque nos garantiza una correcta distribución del agua sobre el pasto. La torre de aspersión se eleva 1,5 [m] por encima del suelo.

4.5. Disposición general de la casa de máquinas

De manera resumida se presenta el detalle de la tubería de agua a la bomba centrífuga que se encuentra en la casa de máquinas con un desnivel de suelo de 2.7 m de altura y una longitud de 11 m; la distribución de sección para destinar la casa de máquinas se visualiza el área de mantenimiento y funcionamiento de la bomba y sistemas eléctricos, estos serán instalados y tendrán su funcionamiento permanente, en las otras secciones se aprecia vestidores y lugares de temporal permanencia. El sistema de cimentaciones se dialoga directamente con el profesional civil, donde se deberá garantizar su adecuado funcionamiento ante cargas dinámicas y estáticas para que este no vaya a presentar fallas más adelante por exceso de vibraciones, así se especifica en la Figura 34. El plano técnico con detalles constructivos de la casa de máquinas se muestra en el Anexo III.

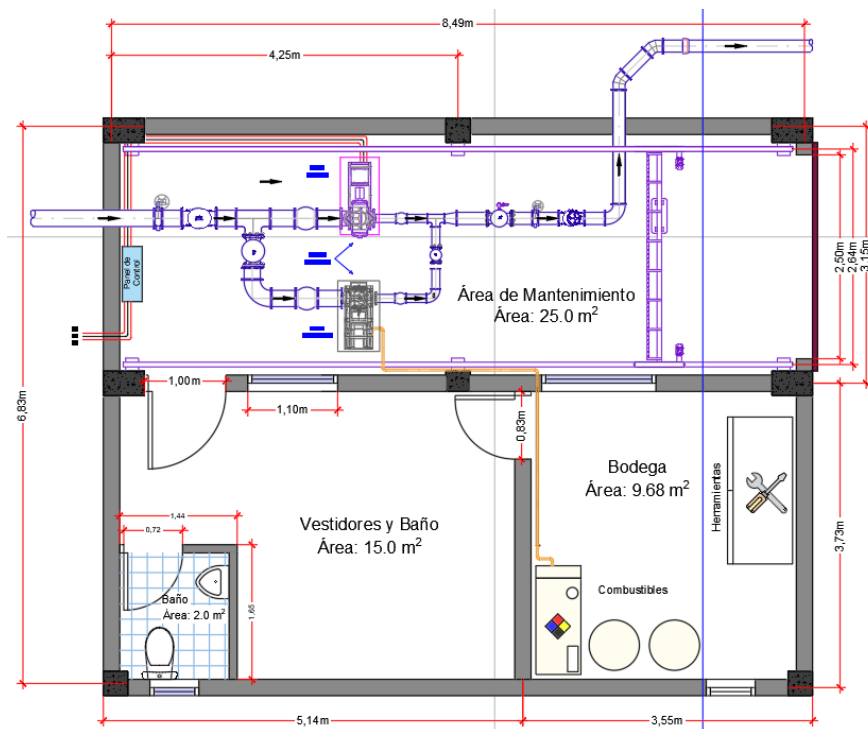


Figura 34: Plano arquitectónico de la distribución en casa de máquinas. **Fuente:** Autor.

Una vez con el lugar se verifica a destinar estos al uso de alguna maquinaria o talleres que servirán para el buen funcionamiento del proyecto, esto es ideal ya que cada sección tendrá su evaluación debido a las cargas actuantes. Por ende, se presenta los destinos a ser usados en cada uno, se puede caracterizar mediante la siguiente en Figura 35.

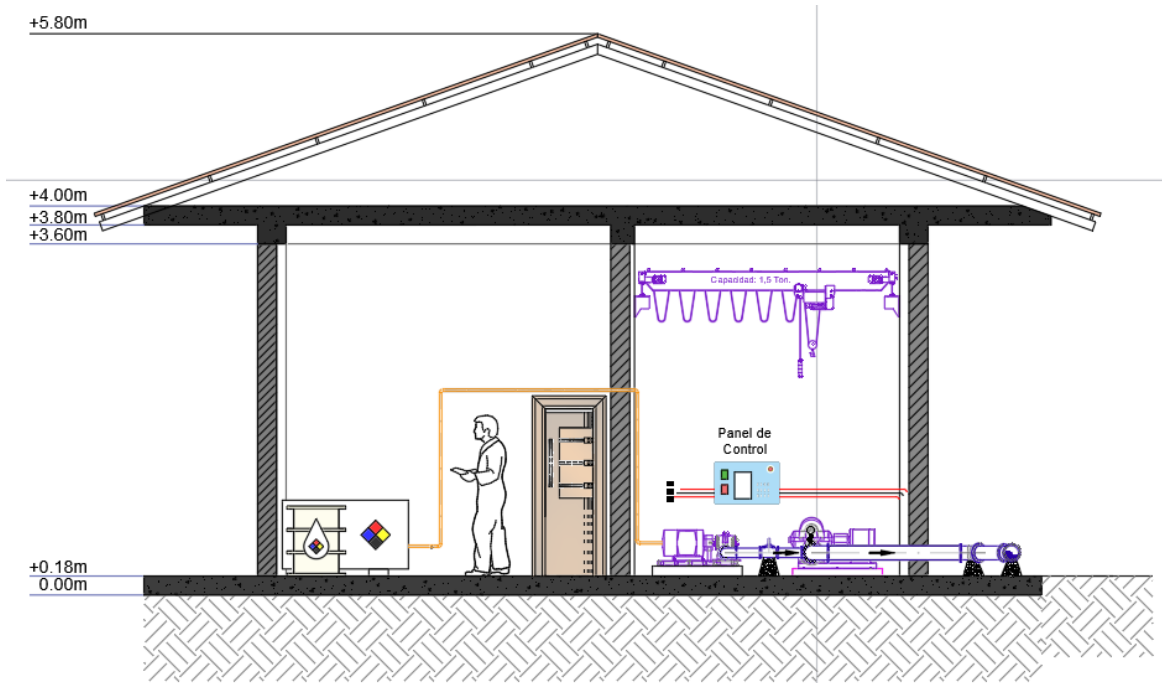


Figura 35: Organización de la casa de máquinas. **Fuente:** Autor.

4.6. Selección del material para la tubería

En esta sección se procede a plantear una tabla de ponderaciones acerca de los principales materiales para tuberías de riego disponibles en el mercado que son el PVC o PE basándonos en determinar la mejor alternativa de riego en pastizales.

En la Tabla 12, el material que resulta más adecuado es el PE con 4.15, para el caso de riego se utiliza mangueras de LDPE; en contraste los tubos de PVC para nuestra aplicación en particular y considerando el costo como el principal factor de influencia con un peso del 30% sobre la decisión final, obtuvo un valor de 3.65.

Tabla 12: Ponderaciones de materiales para tubería.

Selección del material						
Criterio	Peso	PVC	Subtotal	LDPE	Subtotal	
			PVC		LDPE	
Costo	40%	4	1.6	5	2	
Resistencia intemperie	25%	4	1	3	0.75	
Flexibilidad	10%	3	0.3	4	0.4	
Transporte	5%	3	0.15	4	0.2	
Fragilidad	20%	3	0.6	4	0.8	
Total	100%		3.65		4.15	

Fuente: Autor.

4.7. Cálculo del diámetro económico

Para la selección del diámetro económico se puede basar en la siguiente ecuación tomada de [12] [71], donde para este caso (tubería lisa) es:

$$D_{op} = 0.34G^{0.45}\rho^{-0.317} = 0.34Q^{0.45}\rho^{0.133} \quad (2.1)$$

Estimación de caudal en cada sección de tubería, cálculo de diámetro de tubería y su equivalente comercial. Donde se recomienda tener velocidad de entre 1.5 y 3 [m/s]; para efectos del cálculo se considera una velocidad media de 2 [m/s]. Como factor de seguridad se incrementa un 20% al caudal necesario. Donde: $V_d = 2 \left[\frac{m}{s} \right]$:

$$Q_T = 12 * 33.3 [gpm] * 1.2 * 0.0000630833 = 0.03025 \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad (2.2)$$

En la Tabla 13, se presenta una tabla resumen con diámetro comercial seleccionado para realizar los cálculos. En el Anexo V se presenta el programa realizado a través de tablas donde se muestra de manera detallada los cálculos iterativos necesarios para obtener los resultados presentados a continuación:

Tabla 13: Diámetro comercial seleccionado.

Tramo	Dcom [in]
AB	6
BC	6
CD	6
DE	5
EF	4
FG	3
GH	1
FI	1
EJ	1

Fuente: Autor.

4.8. Cálculo de caudal por tramo en las tuberías

Se establece los resultados del cálculo de Hardy Cross, el cual se muestra de forma completa en el apartado de marco teórico su interacción para su desarrollo y las tablas de iteraciones. Una vez realizado el cálculo se verifica los diámetros calculados y los comerciales según el procedimiento indicado por [12], que vemos en la Tabla 14.

- Cálculo de la velocidad con D_{com} y del número de Reynolds.

$$V = \frac{4Q}{D^2\pi} \quad (2.3)$$

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{VD}{\nu} = \frac{4Q}{\pi D\nu} \quad (2.4)$$

- Cálculo del coeficiente fricción de Darcy con la ecuación de Colebrook & White.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2\log\left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.5}{Re\sqrt{f}}\right) \quad (2.5)$$

- Cálculo de la pérdida de carga mediante la ecuación de Darcy & Weisbach.

$$L_e = k \frac{D}{f} \quad (2.6)$$

$$h_f = f \frac{L_T V}{D 2g} \quad (2.7)$$

- Corrección de caudales con la ecuación de Hardy Cross.

$$\Delta Q = \frac{\sum h_f}{n \sum \frac{h_f}{Q}} \quad (2.8)$$

Tabla 14: Caudales iniciales y diámetros de tuberías comerciales.

Tramo	Caudal	Repeticiones	Dc [mm]	Dcom [mm]	Dcom [in]
AB	0,030228	1	0,139	0,1524	6
BC	0,030228	1	0,139	0,1524	6
CD	0,030228	1	0,139	0,1524	6
DE	0,015114	2	0,098	0,127	5
EF	0,010076	2	0,080	0,1016	4
FG	0,005038	2	0,057	0,0762	3
GH	0,002519	4	0,040	0,0254	1
FI	0,002519	4	0,040	0,0254	1
EJ	0,002519	4	0,040	0,0254	1

Fuente: Autor.

En la Tabla 15 se presenta los resultados del método iterativo realizado en una tabla de Excel.

Tabla 15. Resultados del Método Hardy-Cross.

Tramo	Q (m ³ /s)	L (m)	Dcalcu (m)	Dcom (m)	Decon (m)	Dcalcu (in)	Decon (in)
AB	0,0320	1501	0,1426	0,1524	0,18086246	7	6
BC	0,0320	482	0,1426	0,1524	0,18086246	7	6
CD	0,0320	67	0,1426	0,1524	0,18086246	7	6
DE	0,0168	18	0,1035	0,1270	0,13556778	5	5
EF	0,0118	35	0,0867	0,1016	0,11552446	5	4
FG	0,0068	35	0,0656	0,0762	0,08992161	4	3
GH	0,0008	27	0,0225	0,0254	0,03431024	1	1
HI	0,0008	27	0,0225	0,0254	0,03431024	1	1
EJ	0,0008	27	0,0225	0,0254	0,03431024	1	1

Fuente: Autor.

4.9. Selección de la bomba centrífuga

Para la selección de la bomba se debe conocer los siguientes datos: caudal, altura manométrica a vencer por la bomba o pérdida de presión del circuito, valor de NPSH. A

continuación, se presenta en la Figura 36, el diagrama de flujo para la selección de la bomba, también se analiza la velocidad específica conforme la Figura 45 en el Anexo V.

Mientras que los datos iniciales del sistema por el método de Hardy Cross son:

$$H_f = 38.9765 \text{ [mca]} \approx 39 \text{ [mca]}$$

$$Q = 0.030228 \left[\frac{m^3}{s} \right] = 108.82 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

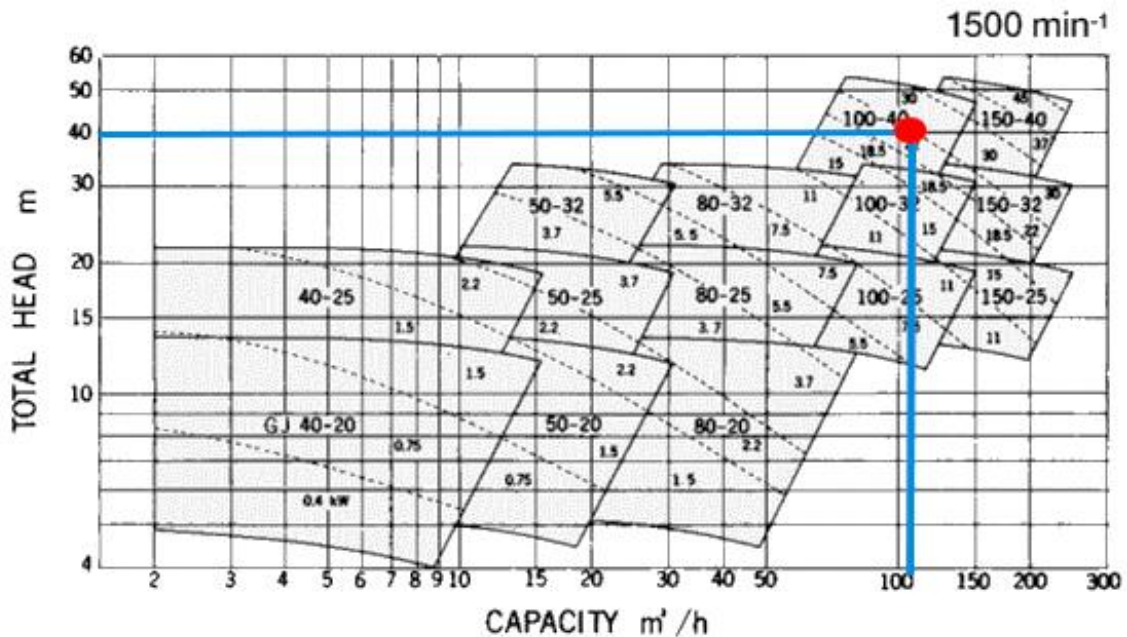


Figura 36: Selección de bomba del catálogo marca comercial (SHINKO). **Fuente:** SHINKO.

De manera que, con el catálogo de la marca SHINKO (Figura 39) y los datos obtenidos el modelo que se obtiene es el GJ 100-40 1500 (rpm). En este caso la bomba por seguridad o pérdidas de cargas inesperadas proporcionará el caudal adecuado a los aspersores con las siguientes características.

$$D_{suc} = 200 \text{ [mm]} = 0.2 \text{ [m]}$$

$$D_{desc} = 150 \text{ [mm]} = 0.15 \text{ [m]}$$

$$Potencia = 22 \text{ [kW]} = 30 \text{ HP}$$

4.9.1. Ecuación de la curva resistente

La energía necesaria que ha de recibir el líquido al pasar por la bomba será la correspondiente a la altura geométrica H_g y la pérdida de carga H_r :

$$H = H_g + H_r \quad (2.9)$$

Sustituyendo en la expresión anterior H_r en función de la resistencia hidráulica (ecuación de Darcy-Weissbach),

$$H_r = (f \cdot \frac{L}{D} + \sum K) \cdot 0.0827 \cdot \frac{Q^2}{D^4} \quad (2.10)$$

esta sería la curva característica de la tubería, o curva resistente, donde f se obtiene a partir de la fórmula de Colebrook y K representa las pérdidas en accesorios.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log_{10} \left(\frac{\frac{\varepsilon}{D}}{3.7} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right) \quad (2.11)$$

Para obtener el número de Reynolds Re se aplica la fórmula:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \quad (2.12)$$

donde:

$$\rho = 997 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$\mu = 0.891 \times 10^{-3}$$

Reemplazando en la ecuación:

$$Re = 172608$$

$$f = 0.0161$$

$$H_r = 45983.2 Q^2$$

$$H = 3 + 45983.2 Q^2$$

$$H = 3 + 45983.2 \cdot 0.03025^2$$

La curva resistente del sistema presente en la Figura 37, es la del sistema implementado en el cálculo del sistema de riego, donde se incluyen todos los accesorios de la red, además esta curva es la que trabajar con concordancia de la curva de la bomba hidráulica. Por tanto, se realizará el cálculo e identificación del punto de operación del sistema haciendo entrecruzar las dos curvas bomba – sistema de red.

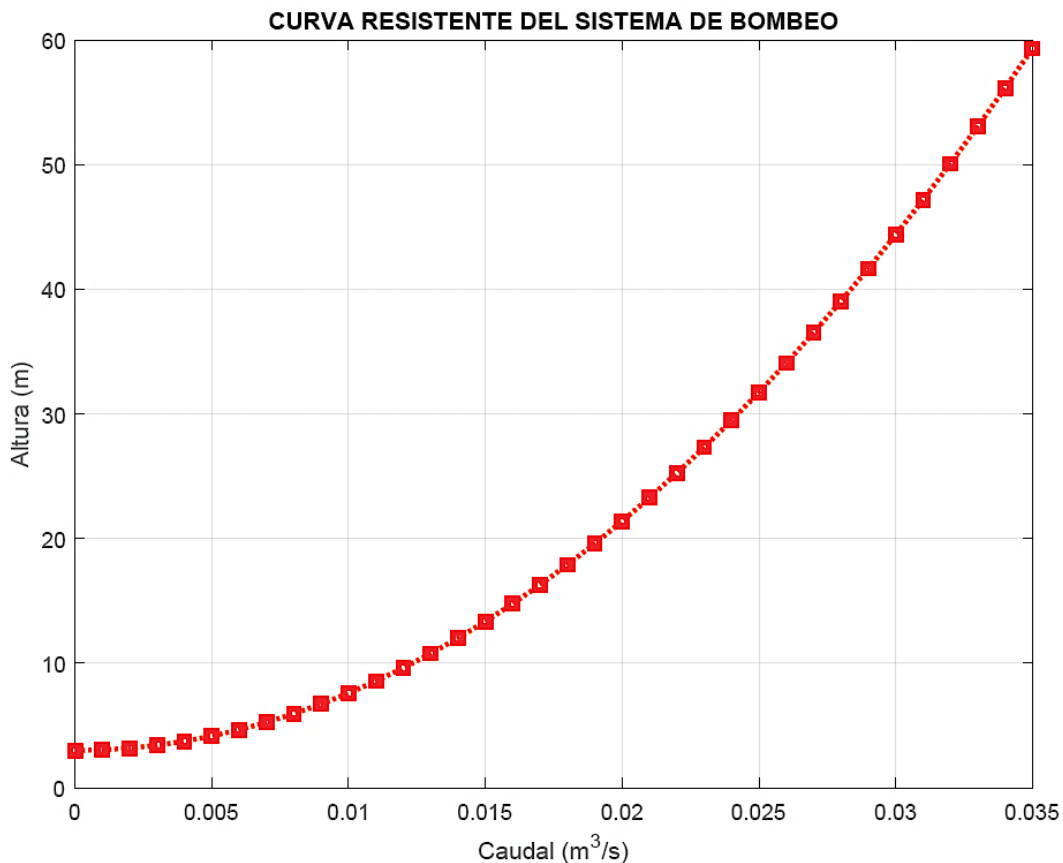


Figura 37. Curva resistente del sistema. **Fuente:** Autor.

4.9.2. Cálculo del NPSH

Para evitar la cavitación, hace falta mantener la presión, por encima de la presión de vapor, en la entrada de la bomba. El valor necesario es calculado por el fabricante como NPSHr (del inglés: *Net Positive Suction Head required*) Figura 38. Desde el punto de vista de la utilización, hay que asegurar que el NPSHd (del inglés: *Net Positive Suction Head available*) en el sistema sea superior al NPSHr.

$$NPSH_A = H_D - \frac{P_v}{\gamma} \quad (2.13)$$

$$\frac{P_A - P_{atm}}{\gamma} + \frac{V_A^2 - V_0^2}{2g} + Z_A - Z_0 = h_f - H_D \quad (2.14)$$

$$H_D = \frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} = \frac{P_{atm}}{\gamma} - h_A - h_f$$

$$NPSH_A = \frac{P_{atm}}{\gamma} - h_A - h_f - \frac{P_v}{\gamma}$$

$$h_f = f \frac{L \cdot V^2}{2g D s u c} + \sum k_i \frac{V^2}{2g} \quad (2.15)$$

k_i : Codo a 90 y filtro 0.7+0.8=1.5

$$h_f = 0.1557 \frac{9 \cdot 0.962^2}{2g \cdot 0.2} + 1.5 \frac{0.962^2}{2g} \quad (2.16)$$

$$h_f = 0.01557 \frac{9 \cdot 0.962^2}{2g \cdot 0.2} + 0.1038 \frac{0.962^2}{2g} = 0.1038 [mca]$$

$$NPSH_A = \frac{101325}{997 \cdot 9.81} - 4 - 0.0661 - \frac{2.9858 \times 10^3}{997 \cdot 9.81} = 5.95075 [mca]$$

$$NPSH_R = 1.5 [mca]$$

$$NPSH_A \geq NPSH_R \rightarrow 5.95 \geq 1.5 \text{ Cumple}$$

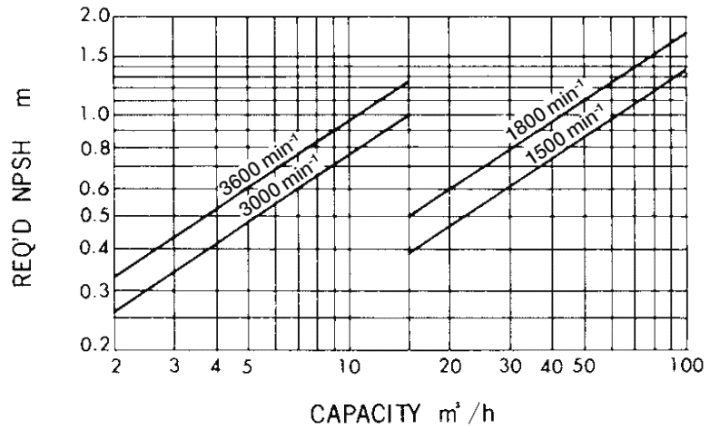


Figura 38. Catálogo de la marca comercial – Req NPSH (SHINKO). Fuente: SHINKO.

Potencia eléctrica consumida:

$$P = \frac{\Delta P Q}{\eta} = \frac{39 \cdot 997 \cdot 9.81 \cdot 0.030228}{0.7} = 16471.81 [W] \approx 17 [kW] \quad (2.17)$$

4.10. Punto de operación por la curva de la bomba y sistema

La curva de la bomba es única para cada bomba, ya que esta es entregada por el fabricante, la cual se limita por temperatura del fluido, presión de la bomba, caudal, etc. Ahora el sistema de bombeo debe interrelacionarse con el sistema de tuberías, ya que ambos funcionan juntos, por tanto, el sistema conjunto trabajara en la intersección de estas dos curvas, se presenta en la Figura 39 que en función de la ecuación mostrada en el capítulo 3 se obtiene.

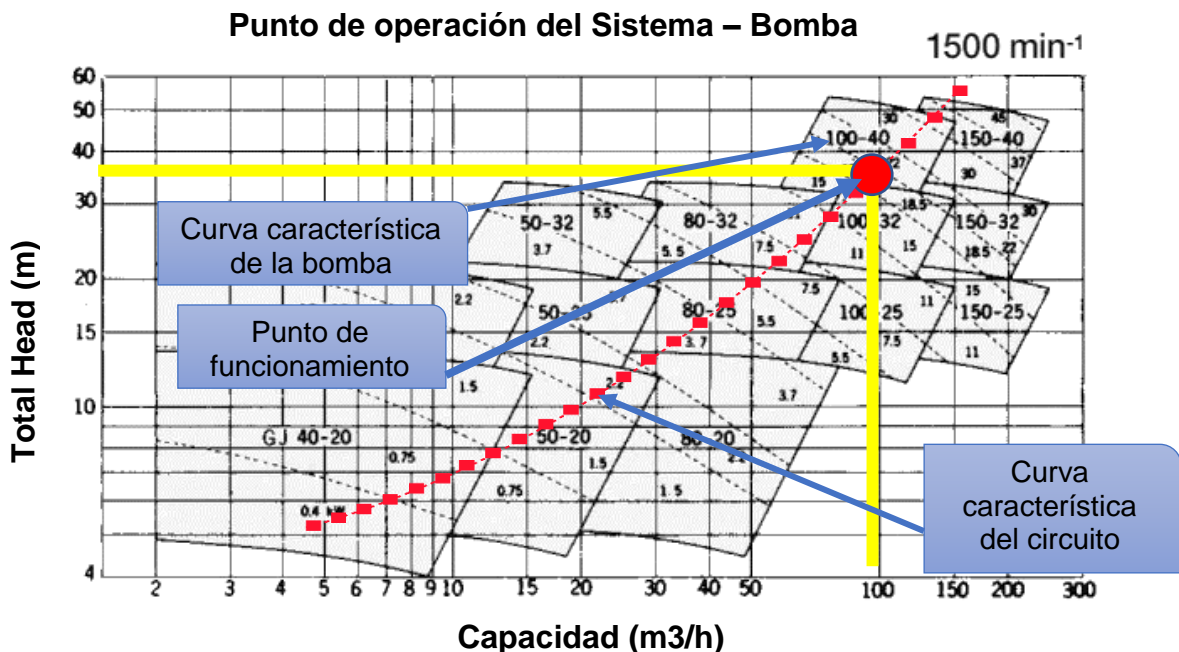
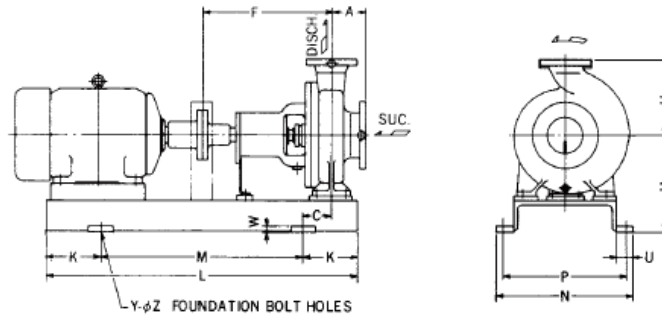


Figura 39. Punto de operación sistema-bomba. Fuente: SHINKO.

A lo largo de cada curva característica de una bomba centrífuga, se observa la intersección de la curva de resistencia del sistema sienta el total head aproximadamente de 37 [m] y el caudal máximo de 100 [m³/h], destacándose (como en el caso de a bomba característica de GJ 100-40), la adecuada, pero aun así el comprador adopta por usar la de siguiente característica por ámbitos de ampliación del proyecto y seguridad.

4.11. Características de la bomba hidráulica seleccionada

Se especifica las características de la bomba a usar en el sistema de riego sobredimensionando la bomba, el modelo a instalar es el GJ 100-40 accionada por motor eléctrico; por cuestiones de escalabilidad y seguridad en el proyecto, se indica en la Figura 40 las dimensiones y datos técnicos de la bomba.



Model	Bore		Motor frame NO.	A	C	F	H ₁	H ₂	K	L	M	N	P	U	W	Y	Z
	Suc.	Dis.															
GJ 40-20	50	40	90L	100	55	385	265	180	115	700	470	335	295	42.5	20	4	19
			160M	100	90	385	265	180	150	910	610	385	345	42.5	20	4	19
40-25	50	40	90L	100	57.5	390	285	225	130	710	450	385	345	42.5	20	4	19
			160L	100	97.5	390	285	225	170	970	630	385	345	42.5	20	4	19
50-20	80	50	90L	100	55	385	265	200	115	700	470	335	295	42.5	20	4	19
			160L	100	90	385	265	200	150	950	650	385	345	42.5	20	4	19
50-25	80	50	132S	125	77.5	390	285	225	150	810	510	385	345	42.5	20	4	19
			180L	125	117.5	390	285	225	190	1040	660	385	345	42.5	20	4	19
50-32	80	50	132M	125	77.5	434	330	280	150	890	590	385	345	42.5	20	4	19
			225S	125	117.5	434	340	280	190	1130	750	485	440	52.5	20	4	24
			112M	125	57.5	405	285	250	130	780	520	385	345	42.5	20	4	19
80-20	100	80	180L	125	117.5	405	285	250	190	1060	680	385	345	42.5	20	4	19
			132M	125	60	434	340	280	150	910	610	465	425	42.5	20	4	19
80-25	100	80	160L	125	80	434	340	280	170	1040	700	465	425	42.5	20	4	19
			132M	125	80	434	365	315	170	910	570	465	425	42.5	20	4	19
80-32	100	80	180M	125	100	434	365	315	190	1040	690	465	425	42.5	20	4	19
			132M	140	80	482	340	280	170	960	620	465	425	42.5	20	4	19
100-25	150	100	180M	140	100	482	340	280	190	1090	710	465	425	42.5	20	4	19
			180M	140	100	482	365	315	190	1090	710	465	425	42.5	20	4	19
100-32	150	100	200L	140	110	482	365	315	200	1200	800	485	440	52.5	20	4	24
			180M	140	80	487	410	355	190	1110	730	470	430	50	20	4	19
100-40	150	100	250S	140	120	487	430	355	230	1300	840	500	450	65	25	4	28
			132M	140	80	487	365	355	170	960	620	465	425	42.5	20	4	19
150-25	200	150	180L	140	110	487	365	355	200	1200	800	485	440	52.5	20	4	24
			180M	140	80	487	410	355	190	1110	730	470	430	50	20	4	19
150-32	200	150	225S	140	90	487	410	355	200	1220	820	470	430	50	20	4	24
			180M	140	80	487	445	400	190	1110	730	470	430	50	20	4	19
150-40	200	150	250M	140	120	487	465	400	230	1330	870	500	450	65	25	4	28

SHINKO IND. LTD.

Figura 40: Datos técnicos de la bomba centrífuga. Fuente: SHINKO.

Las dimensiones de la bomba se utilizarán para el diseño de la base de cimentación y poder realizar la instalación de la casa de máquinas.

4.12. Accesorios para la instalación de la bomba

Para la implementación del sistema de bombeo se tomarán en consideración algunos accesorios que se deberán instalar, con el fin de obtener el mejor desempeño de este, la Figura 41, consta del servicio de sistema de válvulas y accesorios que luego se seleccionarán con respecto a la entrada y salida de la succión y descarga de la bomba además del cálculo y selección de la red de tuberías.

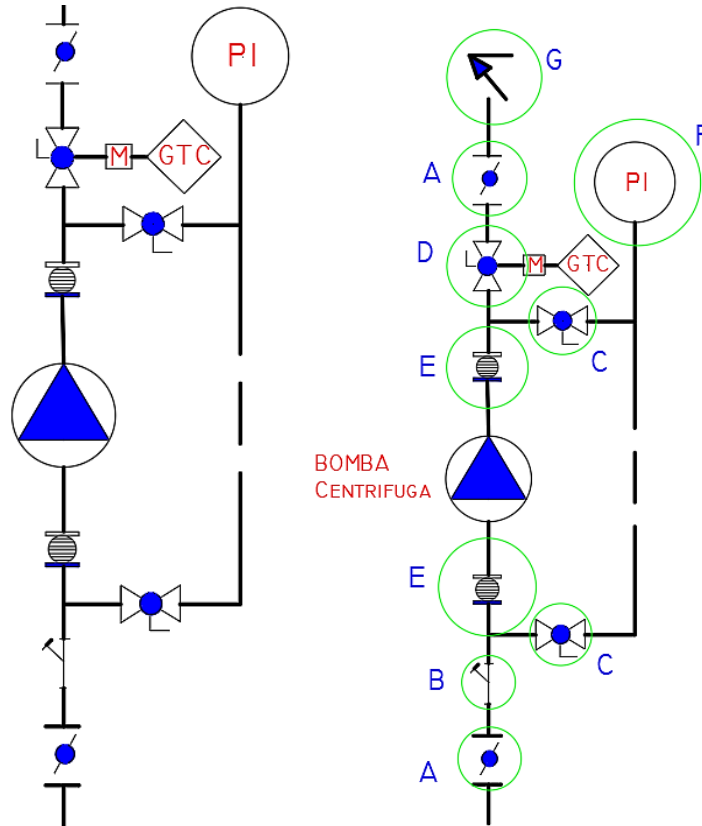


Figura 41: Accesorios para el sistema de instalación. **Fuente:** Adaptado de [54].

Se describe cada uno de los accesorios del sistema de instalación:

- A. Válvula de mariposa** – Se utiliza para poder aislar el circuito de la bomba en caso de necesidad de reparación o mantenimiento, tanto de la bomba como de cualquier otro elemento perteneciente al circuito.
- B. Filtro** - Para evitar que cualquier tipo de impureza entre a la bomba y la dañe.
- C. Válvula de bola.** - Para aislar únicamente la bomba, también en caso de necesidad de reparación o mantenimiento de esta.

- D. Válvula de bola motorizada.** - Primera válvula en cerrar, por eso se encuentra accionada mediante un motor.
- E. Manguitos anti vibratorios.** - Evitan que, durante el funcionamiento de la bomba, las vibraciones afecten a la tubería.
- F. Manómetro.** - Lleva el control de la presión de la bomba, en caso de sobrepasar ciertos límites puede provocar la parada de la bomba.
- G. Válvula de retención.** - Situada siempre a la salida de la bomba, evita la inversión del flujo, situación bastante común en bombas al superarse ciertos valores de presión.

4.13. Sistema de combustible y eléctrico

Los sistemas de combustible motor debe contar con ventilación, evacuación de gases y enfriamiento, además en almacenamiento exterior, la capacidad dependera de los suministros, como se observa en la Figura 42, la brida o boca para conectar el sistema móvil.

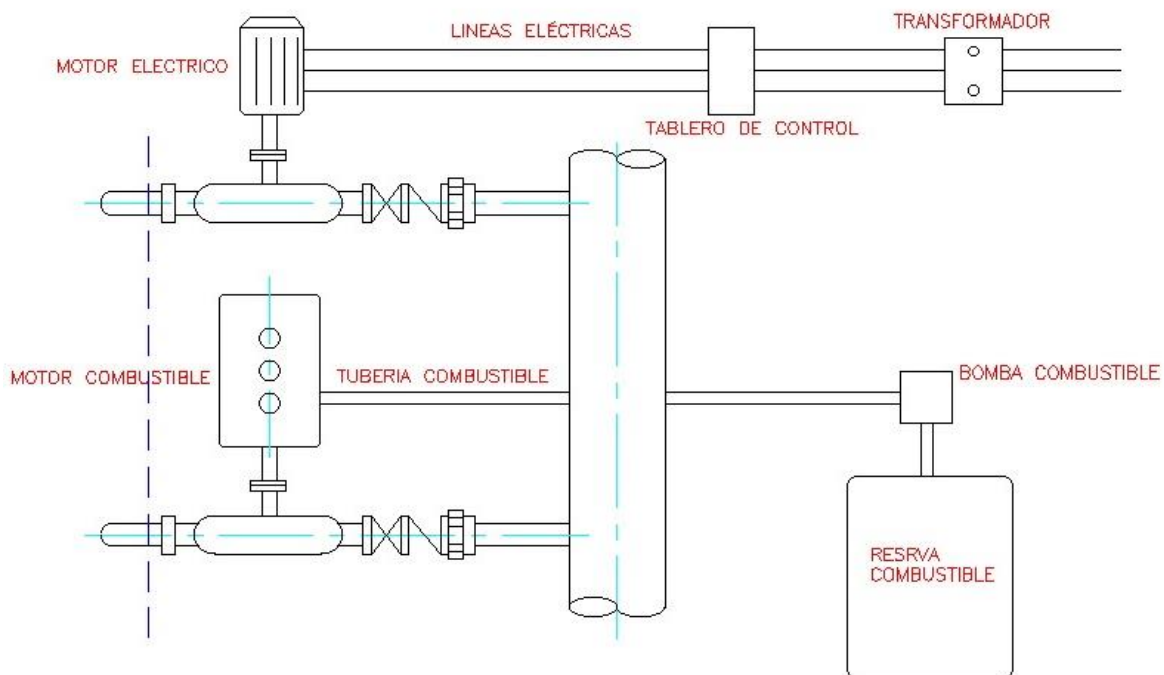


Figura 42: Sistema de combustible fósil y eléctrico. **Fuente:** Adaptado de [54].

4.14. Sistema de bombas en paralelo para fines de mantenimiento y auxiliar

Se implementa un sistema de bomba en paralelo para el mantenimiento del sistema de distribución, si el caudal de una sola bomba no fuese suficiente, puede aumentarse conectando varias bombas en paralelo. El esquema se muestra en la Figura 42. Se entiende como bombeo en paralelo a un sistema hidráulico constituido por dos o más bombas operando simultáneamente y con sus descargas conectadas a una línea común.

Estos sistemas implementados ayudaran a sobre abastecer de bombeo al sistema de riego en el caso de alguna falla mecánica de la bomba o ya sea por alguna razón en la cual deban de dar de baja al sistema de la bomba uno.

4.14.1. Regulación por estrangulamiento con válvulas en paralelo

El sistema trata de una regulación simple mediante válvula instalada en derivación, de este modo una parte del caudal bombeado recircula sin recorrer el circuito. Mediante este sistema se consigue evitar las sobrepresiones que se producen con las válvulas dispuestas en serie, pero a cambio se derrocha inútilmente una energía para bombear un caudal para luego recircularlo por la bomba, se presenta en la Figura 43.

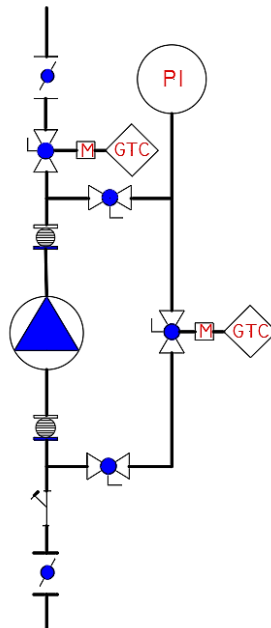


Figura 43: Sistemas de estrangulamiento para válvulas en paralelo. **Fuente:** Adaptado de [54].

4.14.2. Selección para estación de bombeo auxiliar al sistema en marcha

Para el sistema de reemplazo se prevé en stock tener dos bombas para el rápido reemplazo en el caso que unas de las ya empleadas fallen, para este sistema solo se tendrá la propuesta del modelo y capacidades máximas, como son el caudal y altura total de descarga, los modelos tienen que ser de accionamiento eléctrico y por combustible.

La distribución del sistema se identificará a partir de la Figura 44, donde se ubica el tipo de bomba y su accionamiento, la bomba accionada por motor eléctrico como sistema de bombeo principal y una bomba con motor a diésel como sistema de bombeo auxiliar.

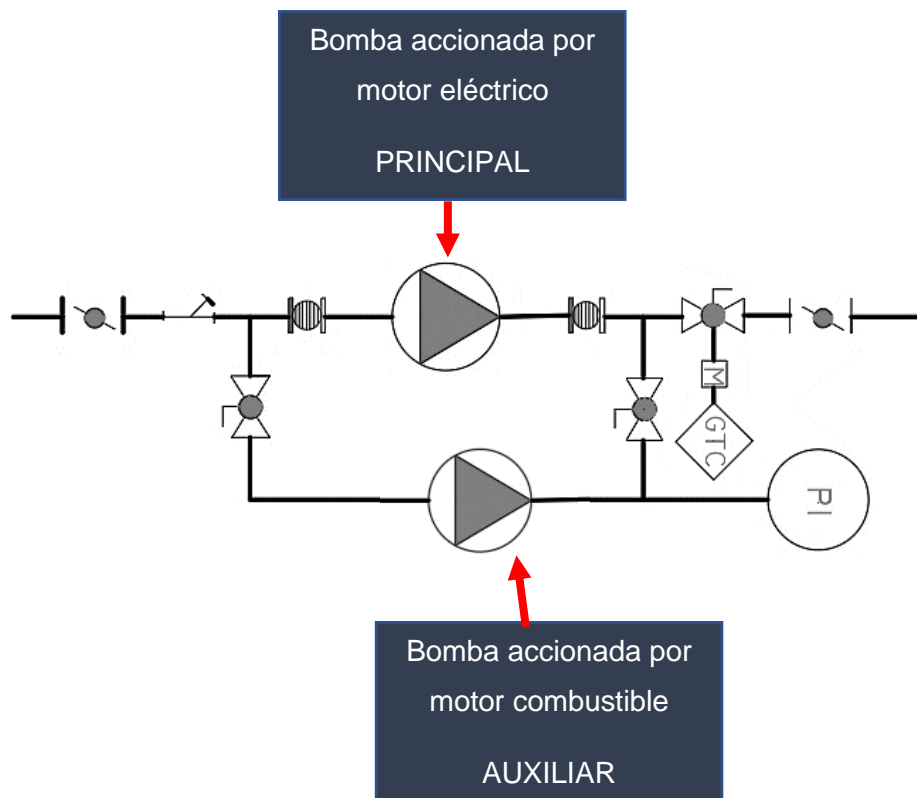


Figura 44: Sistema auxiliar para bombas en paralelo. **Fuente:** Adaptado de [54].

Las bombas expuestas para este funcionamiento son de la marca *Bunny Power* procedencia China, los cuales tiene un amplio stock en sistemas de accionamiento eléctrico y de combustible con motores adaptados y cajas de circuito y mando incorporadas.

4.15. Discusión de resultados

En el estudio del sistema de riego se presentó las bases de concepción del circuito de bombeo desde la captación de agua en el río, hasta la casa de máquinas, la cual también se distribuyó de manera eficiente para las máquinas y áreas de mantenimiento.

Se realizó la distribución del sistema de tuberías en el terreno a realizar el riego, mediante ramificaciones distribuidas en sección perpendicular al río, teniendo en cuenta el nivel de accesorios que llegaría a ocupar esta magnitud de proyecto, además el estudio de los caudales mediante el método reconocido para sistemas de tuberías Hardy – Cross, llegando a realizar un cálculo por iteraciones llegando a obtener aproximadamente 25 iteraciones llegando a una convergencia del caudal en los nodos de salida, además obteniendo los diámetros calculados y los comerciales a través de formulaciones certificadas y optimizadas, con el caudal y altura estática del sistema se realizó la selección del sistema de bombeo, llegando a ocupar las bombas comerciales SHINKO, obteniendo la bomba 100-40 a 1500 [rpm], pero por cuestiones de seguridad se sobredimensiona.

El cálculo del NPSH requerido se realizó para poder comprobar si el sistema cavita o no, por ende, realizó el cálculo de la curva resistente del sistema, llegando a obtenerse el punto de operación, acorde al sistema en configuración, siendo este el punto operable. Es importante acotar sobre la potencia de la bomba al ser sistemas de estación, se deben pensar en el sistema de alimentación si es por energía eléctrica o combustible, y la potencia que debe tener el motor para realizar el trabajo, pensar en un sistema de conexión triángulo estrella, para la evitar los picos de energía y en un sistema de protección eléctrica.

El sistema de riego funcionará con una ramificación de 12 aspersores regando 2 [ha] cada 1.37 [h] con lo cual se garantiza satisfacer las necesidades hídricas del pasto Saboya diariamente. Se estima regar cada potrero constituido por un promedio aproximado de 10 [ha] en un día laboral completo de 8 [h], en 6 [h] y 51 [min].

Los nuevos avances tecnológicos en sistemas de riegos permiten al profesional hacer el uso de paquetes matemáticos como son softwares de diseño de redes de alimentación en riegos y agua potable, sería ideal comprobar mediante estos paquetes la eficacia y optimización más rápida en los cálculos, llegando en cualquier momento cambiar alguna variable de entrada, en el proyecto, existen softwares como Watercad, Severcad etc.

5. ESTUDIO PRESUPUESTARIO

La determinación del presupuesto implica sumar los costos de las actividades del proyecto a lo largo de toda la vida del mismo, de tal forma que se pueda disponer de información económica del costo del proyecto en su conjunto y también por fases. El resultado de este proceso dará lugar a la línea de costos, que servirá como punto de partida para controlar si la ejecución del proyecto se ajusta a esta previsión.

Este proceso es complejo por la suma de los costos en las actividades. Además, consisten en identificar, ordenar y sistematizar la información de carácter monetario, es decir, todos los ítems de inversiones, ingresos y egresos que puedan deducirse de los estudios previos, para elaborar los cuadros analíticos y datos adicionales con el fin de evaluar el proyecto y determinar su rentabilidad, el estudio presente pretende analizar además una viabilidad en una potencialización en minerales mejorando la alimentación, obteniendo productos como leche y carne del ganado involucrado en este proyecto, garantizando que estos valores nutricionales pueden ser aumentados considerablemente, siendo este factor importante como resultado de esta implementación en la hacienda.

5.1. Costos de construcción

El costo directo actúa como medida de costo crucial en el análisis operacional de este proyecto, se pretende que este motor principal (sistema riego) ofrezca importantes ventajas comparativas, en la explotación bovina es clave especificar que el sistema deberá actuar como una carga de valor nutritivo al Panicum Máximo. Los costos fijos son gastos de producción que no dependen del volumen de unidades producidas algunos ejemplos son el alquiler, el seguro y el uso de los equipos. Los costos fijos, como el almacenamiento y el uso del equipo de producción, se pueden administrar a través de contratos de alquiler a largo plazo.

Estos gastos tienen una división adicional en categorías específicas, tales como costos de mano de obra directa y costos de materiales directos. Los costos directos de mano de obra son los salarios pagados a quienes están directamente involucrados en la producción, mientras que los costos directos de materiales son el costo de los materiales comprados y utilizados en la producción.

La cotización adjunta en la Tabla 16, hace referencia a los accesorios para el montaje de la captación de agua en la hacienda y poder distribuirlos en las parcelas, acorde a la planificación y reacondicionamiento del pasto, con el fin de mejorar la eficiencia de utilización de las pasturas en términos biológicos, económicos y ecológicos. Se presenta la tabla de cotización suministrada por la Empresa Banariego S.A., con los modelos con sus respectivos códigos, descripción, cantidades, precios unitarios el descuento y total para poder ejecutar la compra de elementos fijos en el proyecto.

Gastos de personal: Los gastos de personal están reflejados directamente en el número de empleadores y obreros, personal encargado en el dirigir la obra, que en un principio son 3, de acuerdo al avance de la obra, se contempla la contratación de más personal cuando la planificación del trabajo sea de alguna complejidad alta, como es la construcción de tanques, alzado de la red de tuberías, soldadores e inspectores, lo cual esto representa un porcentaje de gastos previstos, que sería equivalente al valor por avance de obra o pago del día.

Gastos de equipamiento: Gastos de equipamiento durante la ejecución del proyecto como son grúas o herramienta pesada para el transporte de maquinaria, además el alquiler de alguna ejecución de trabajo como motobombas, aplanadoras, o herramientas para construcción, en un principio estos imprevistos están dentro de la planificación de trabajo y ciertas contrataciones como son los vehículos de trabajos, pues el pago es por horas, ya trabajen, para el proyecto se añadirá lo que es el alquiler de grúas de baja capacidad para el movimiento de las bombas principales.

Gastos de viajes: Es previsto que el transporte para la movilización de personal debe estar implementado en el proyecto, los gastos deben adjuntarse por dos usos, a la entrada del trabajo y la salida, al menos que los obreros y otros trabajadores sean de la misma zona, pero los costos deben visualizarse durante la media de ejecución del proyecto.

Gastos de oficinas: Para el funcionamiento de una oficina de trabajo, estación de emisión de planos y sitio para el adecuamiento de planos y reunión, pues se establece en el presupuesto estos materiales.

Tabla 16: Costos.

Cotización accesorios de sistema de red Banariego					
Código	Descripción	Cantidad	P. U	Descuento	Total (\$)
Materiales					
TBEC000182	Tubo 6" (160x0.50)	1661	34,99	8.717,77	49.400,62
CRUC000090	Cruz 6" (160)	24	27,66	165,96	497,88
TEES000462	T 6" (160)	12	29,12	52,40	297,04
TBEC000180	Tubo 5" (140x0.80)	330	49,16	2.433,20	13.789,60
TBEC000170	Tubo 4" (110x0.50)	660	16,55	1.638,45	9.284,55
TBEC000234	Tubo 3" (75x0.50)	660	8,75	866,25	4.908,75
TBEC000212	Tubo 1" (32x1.25)	2970	3,85	1.714,90	9.719,60
LLAV000136	Llave brida 6" (160)	56	175,84	1.477,00	8.370,04
	Filtro 3"	1	4,50	-	4,50
	Filtro 6"	1	15,50	-	15,50
REDU000431	Reducción 6' a 5' (160x140)	110	15,75	259,60	1.472,90
	Cruz 5" (140)	110	20,50	-	2.255,00
REDU000467	Reducción 5' a 4' (140x110)	110	10,70	176,55	1.000,45
CRUC000089	Cruz 4" (110)	110	10,05	276,65	828,85
REDU000392	Reducción 4' a 3' (110x75)	110	6,85	112,75	640,75
TEES000471	T 3' (75)	110	4,64	76,45	433,95
	Reducción 3' a 1'	440	5,10	-	2.244,00
	Reducción 4' a 1'	440	3,40	-	1.496,00
	Reducción 5' a 1'	440	10,70	-	4.708,00
CODO000213	Codo 1' (32x90°)	1320	0,77	152,90	863,50
AODO000205	Aspersor 1" (32)	12	22,45	10,35	259,05
	Bomba de agua centrífuga	1	15.670,5	-	15.670,54
BODO000113	multietapa de motor diésel de alta presión Industrial 22 HP		4		

BODO00102	Bomba auxiliar YAMAHA YP30C 7.77 hp 3 pulg admisión	1	385,00	-	385,00
MDDO00012	Shandong Weifang Motor Diesel Bomba de agua de riego agrícola	1	3.800,00	-	3.800,00
MTDO000013	Shandong Weifang Motor Eléctrico Bomba	1	4.100,00	-	4.100,00

**Costo Instalación
Materiales**

	JEFE DE OBRA	1	800,00	-	800,00
	AYUDANTES	2	400,00	-	800,00
	PERSONAL DE CONTRATACION PLANIFICADO EN CONSTRUCCIÓN PESADA	5	800,00		2000,00
	CUARTO DE MAQUINAS + RESERVORIO INSTALACIÓN	1	6.000,00	-	6.000,00
	TUBERIAS POSTES DE SOPORTE PARA LOS ASPERSORES	720	4.50		3.240.00
Costo de equipo	Grúa de 10 t Jornada de 8 hr	1	80		640.00

	Herramientas de oxicorte planchas Inox	1	40	320,00
Transporte de personal		1	20	20,00
	Transporte de personal interno			
	Personal	5		100,00
Gastos de oficina		2	1200,00	2400,00
	Computadoras			
	Papel paquetes	4	25,00	100,00
	Folder	10	2,50	25,00
	Útiles de oficina	1	50,00	50,00
	Impresoras	1	450,00	450,00
	Esferos Paquetes	5	10,00	50,00
	Sellos	2	60,00	120,00
Gastos Básicos/mes		1	350,00	350,00
	Combustible	1	45,00	450,00
	Teléfono	1	35,00	35,00
	Internet	1	38,00	38,00
	Agua	1	60,00	60,00
	Energía			
Total, del presupuesto en gastos directos				

TOTAL, UNIDADES	9689	SUBTOTAL	165.494,07 \$
		DESCUENT	15.366,23 \$
		O	
		NETO	150.127,84 \$
		BASE 0%	150.127,84 \$
		IVA	
		IMP. 0%	-
		IVA	
		TOTAL	150.127,84
			USD

Fuente: Autor.

Costo mensual en ejecución de obra: los costos representativos en el presupuesto para la ejecución de obra se especifican en la Tabla 16, de forma general, la importancia de desembolso para mano de obra mensual para los empleados y ejecutores del proyecto bordean alrededor de 2100.00 \$. Estos gastos representaran en un inicio para el proyecto, pero durante la ejecución del mismo este costo ira disminuyendo ante los avances del mismo, el proyecto costo esta generado para un tiempo de seis meses, el gasto justificado.

5.2. Discusión de los gastos directos

Los elementos de transporte de fluidos son los de mayor demanda tubos de 6" que representaron un mayor coste a diferencia de los accesorios para la modificación de direccionalidad del riego, las llaves bridas sistemas de filtros reducciones y aspersores de cañón, la bomba centrífuga a diésel que también tiene un coste representativo, está incluido es esta cotización que viene conjuntamente con la conceptualización del cuarto de máquinas para su mejor funcionamiento.

Dentro de la cotización Banariego se ha visto pertinente poner el costo de obra civil, que representa la presencia de un jefe de obra, ayudantes, considerando que estos deben residir dentro de la zona de proyecto para optimizar recursos, la ejecución del cuarto de máquinas, reservorio de agua (previo análisis realizado en el anterior apartado), se consideraría el aumento de contratación de peones como ayudantes para la plantación de tuberías a lo largo de las parcelas (esto dependerá del jefe contratante y de los tiempos de ejecución planificados). Llegando a si a un coste total de solo implementos para el proyecto en costos directos es de 150.127,84 \$.

5.3. Costos unitarios del sistema de bombeo

El costo unitario se generará de los costos variables y fijos incurridos por el proceso de puesta en marcha del sistema de riego, dividido entre el número de unidades producidas. El cálculo del costo unitario es:

$$\text{(Costos fijos totales + Costos variables totales) / Total de unidades producidas.}$$

El costo unitario debe disminuir a medida que aumenta el número de unidades producidas, principalmente porque los costos fijos totales se repartirán entre un número mayor de unidades. Por tanto, el costo unitario del sistema de captación de agua. A continuación, se presenta los costos unitarios para el sistema de captación de agua, donde se observan los gastos fijos y variables, como son fijos sueldos para el personal, gastos de servicios básicos, además los gastos variables para el movimiento de personal y alimentación se presentan en la Tabla 17.

Tabla 17: Costos unitarios de ejecutar el sistema de captación.

Gastos fijos	
SUELDO	3.600,00 \$
SERVICIO DE ENERGIA	120,00 \$
TOTAL, GASTOS FIJOS	3.720,00 \$
Gastos variables	
SUMINISTROS DE OFICINA	200,00 \$
ALIMENTACIÓN - TRANSPORTE	100,00 \$
GASTOS VARIOS	50,00 \$
TOTAL, GATOS VARIABLES	350,00 \$
Unidad	
UNIDAD PRODUCIDA	1
COSTO POR EL SERVICIO DE CAPTACIÓN	4.420,00 \$

Fuente: Autor.

Total, costos de producción de la unidad producida, donde se compila el valor de materiales, mano de obra en el proyecto para la unidad producida, ver Tabla 18.

Tabla 18: Mano de obra directa

Mano de obra directa		
1	DISEÑADOR MECANICO	800 \$
1	SOLDADOR	400 \$
2	AYUDANTES O AUXILIARES	800 \$
2	ALBAÑILES	800 \$
Mano de obra indirecta		
1	JEFE DE OBRA	800 \$
TOTAL, DE MANO DE OBRA		3600 \$

Fuente: Autor.

Cálculo del costo indirecto de las áreas destinadas a fabricación para el funcionamiento del sistema de riego, se presenta en la Tabla 19.

Tabla 19: CIF

Costos indirectos de fabricación	
CUARTO DE MAQUINAS + RESERVORIO	6.000,00 \$
INSTALACIÓN TUBERIAS	11.000,00 \$
TOTAL, CIF	17.000,00 \$

Fuente: Autor.

5.4. Gastos Indirectos

Los gastos indirectos van a la par con la administración, construcción, mantenimiento, suministro de electricidad, agua, gas etc.

- Alquiler del local.
- Amortizaciones de maquinaria.
- Intereses bancarios.
- Tributos.
- Coste por contratación de jefes de producción, supervisores, seguridad, etc.

- Material indirecto necesario para producir el producto: combustibles o lubricantes, por ejemplo.
- Factura de teléfono e internet.

En definitiva, los costes indirectos son aquellos gastos en los que incurrirán durante la actividad del proyecto, pero son de difícil asignación. En muchas ocasiones, se centra solo en los costes directos a la hora de ejecutar el proyecto. Además, los costes indirectos suelen ser constantes y están estrechamente relacionados con el nivel de actividad, este gasto se suele calcular como un 2.5 % al 6.5 %.

5.5. Egresos Anuales

Se presenta los gastos por egresos anuales por cuidados del pasto, los cuales se desglosa los tipos y la cantidad mensual, llegando al valor anual, según se presenta en la Tabla 20.

Tabla 20: Egresos

Cuidado pasto anual		Costo	
Herbicidas	Cantidad	Unitario	C. Total
Glisolat poma 20 Lt	10	63,25	632,5
Mazo 20 Lt	10	75,4	754
Subtotal 2	20	138,65	1386,5

Fuente: Autor.

5.6. Discusión de resultados

El estudio presupuestario indica por lo que la empresa va pasar, en él se verán los costos que sería ejecutar el proyecto, para poner en marcha el proyecto la condición de financiamiento para “Hacienda San Alfonso” del Cantón Ponce Enríquez.

La adquisición de los materiales para la puesta en marcha llegando a un coste total para el proyecto de 146.887,84 \$, al cual también esta sumado un porcentaje de imprevistos, y los costes totales de ejecución 15.600,00 \$, lo que presentaría un sub total de 17.4782,07 \$.

Se presenta los gastos totales directos e indirectos para la ejecución del proyecto, que se establecen como mínimo para la ejecución de un proyecto técnico, además en el estudio

financiero se presenta de manera detallada los precios unitarios de los accesorios para el sistema de distribución de riego.

6. CONCLUSIONES

El sector pecuario en Ecuador aporta un rubro importante en el desarrollo de las actividades productivas, debido a que involucra mano de obra rural y produce alimentos que forman parte de la dieta diaria de las personas como son los cárnicos, lácteos y otros bienes de materia prima, ya que también ocupa un importante espacio del territorio, según datos de la encuesta de superficies de producción agropecuaria continua (ESPAC) 2010, el área de pastos cultivados representa el 47 % de todas las tierras de uso agrícola en Ecuador.

En el cantón Ponce Enríquez, sólo las ganaderías pequeñas se dedican a la producción de leche, las medianas y grandes al doble propósito (leche y carne), esto da importancia al estudio de los sistemas de pastoreo y alimentación, pues la propuesta presentada indaga como motor fundamental para el crecimiento productivo en productos de alimentación diaria. El estudio de nuevos sistemas de abordaje industrial llevaría al crecimiento de producción en productos de carne ya que es el campo más ejercido para haciendas con grandes nuevo de cabeza de ganados, generalmente la producción de leche lo hacen para consumo propio.

Se determinó la eficiencia de riego para diferentes sistemas llegando a discretizarlos para un análisis de ponderación, siendo más conveniente el de 0.65 – 0.85 % de eficiencia para el sistema de aspersión.

Mediante el análisis de sistemas con ponderación se evaluó los criterios más relevantes al momento de elegir un sistema de riego apropiado a los cuales se les asigna un peso o valor de importancia a cada uno para luego frente a cada sistema calificarlo, siendo 5 el valor más alto y 1 el valor más bajo, así mediante la multiplicación del peso por la calificación se obtuvo el sistema por aspersión con un total de 3.735, siendo el más adecuado para la situación en la Hacienda San Alfonso, considerando que es prioridad dar más peso al sistema que se adapte al cultivo de pastizales (12 %), junto con una alta eficiencia (11 %) y una buena adaptación al terreno (7.25 %) considerando siempre el costo de diseño e implementación (9 %), teniendo como referencia los resultados obtenidos por el autor [68].

Se realizó el diseño hidráulico para el circuito de bombeo desde la captación de agua en el río, hasta la casa de máquinas (incluye fabricación de etapas como almacenamiento de agua sistemas de desarenador y filtros de limpieza), por siguiente se obtuvo la distribución del sistema de tuberías en el terreno a realizar el riego, mediante ramificaciones distribuidas en sección perpendicular al río, teniendo en cuenta el nivel de accesorios que llegaría a

ocupar esta magnitud de proyecto, aplicando el método reconocido para sistemas de tuberías Hardy – Cross, se realizó la selección del sistema de bombeo, llegando a ocupar la bomba comercial SHINKO, bomba hidráulica 150-40 a 1500 [rpm], alimentada por combustible, además se realizó el cálculo del NPSH requerido para poder el análisis de cavitación, se comprobó con el cálculo de la curva resistente del sistema, para obtener el punto de operación, acorde al sistema en configuración.

El sistema de riego funcionará con una ramificación de 12 aspersores suministrando 12,68 [gpm] cada uno distribuidos en un área de 2 [ha]. Según el cálculo de la intensidad pluviométrica en 1.37 [h] garantiza satisfacer las necesidades hídricas del pasto Saboya diariamente sobre el área antes mencionada. Se estima regar cada potrero constituido por un promedio aproximado de 10 [ha] en un día laboral completo de 8 [h], en 6 [h] y 51 [min].

Las ganancias en la producción de leche es una opción que se debe contemplar para haciendas San Alfonso, ya que en la actualidad se dedica a esta actividad para consumo propio, llegando a lograr así aumentar el ingreso y aprovechar el motor de producción implementado en los pastizales, también como la adquisición de mayor cabezas de ganado, el porcentaje de ganancia aumentaría en un 13.1 % tanto en leche como en carne, según la bibliografía indagada y los antecedentes reflejados en otros sistemas también incorporado por aspersión.

7. RECOMENDACIONES

Haciendas San Alfonso, deberá tomar una opción de estudio de sistemas de By-Pass para la venta de agua (para riego en los pastizales vecinos), ya que esta acción se realiza por temporadas, podría tener un plus de ingreso en esta actividad, ya que en el estudio financiero también se muestra el costo por unidad de producción, pudiendo de allí enlazar los costos por servicio de operación.

Realizar una muestra experimental, bajo condiciones controladas al de ganado y someterse a la dieta de interés es decir tomar datos de peso [Kg], cantidad de litros que produce al día de leche, controlando los alimentos por un tiempo máximo de 12 semanas, y luego transportarlos a los nuevos pastizales que tengan una integración ya de funcionamiento por lo mínimo de 3 meses, y hacer nuevamente la toma de datos, y así tener con mayor certeza los indicadores propios de la hacienda y aportar a la comunidad científica sus estudios para poder replicarlos con seguridad por otros socios pecuarios.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] L. Guiñansaca, Modelo de ganaderia sostenible como estrategia para reducir la presion sobre ecosistemas forentales andinos., Cuenca - Azuay, 2012.
- [2] S. Org, «GUÍA PARA EL DISEÑO DE DESARENADORES Y SEDIMENTADORES,» Lima - Peru, 2005.
- [3] M. L. Tejada, Análisis del desempleo y subempleo en el ecuador y su impacto en las condiciones de vida de la poblacion urbana, periodo 2000-2010., Quito - Pichincha, 2013.
- [4] F. M. G. Diana Alexandra Cuesta., Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo (ENEMDU), Quito, 2014.
- [5] F. L. L. Jennifer Valeria Cruz., Diagnostico de gestion productiva del sector carnico vacuno minorista del canton bolivar basado en el estudio de factores criticos de exito., Calceta , 2018.
- [6] I. -. Ecuador, Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua - ESPAC, Quito , 2019.
- [7] V. D. J. Ortega, Caracterización productiva de las ganaderías en los cantones occidentales de la provincia del Azuay, Cuenca - Azuay, 2017.
- [8] F. P. Farfán, Agrimatología del Ecuador, Quito-Ecuador: Editorial Universitaria Abya-Yala, 2018.
- [9] N. B. F. G. Ramiro León., Pastos y forrajes del Ecuador "Siembra y producción de pasturas', Quito - Pichincha: Editorial Universitaria Abya-Yala, 2018.
- [10] A. D. Arce Pindo., Estudio geométrico y estructural de la vía Shumiral – el mirador del cantón camilo Ponce Enríquez, provincia del Azuay, Cuenca - Azuay, 2015.
- [11] G. M. Earth, Indicación satelital del área y límites del Río San Fermin que desemboca en la Hacienda San Alfonso, La Ponce Enrique, 2021.

- [12] S. ´ca, «Economic optimization of pipe diameter for complete turbulenc,» 2012.
- [13] K. A. Derichs Basantes, «Evaluación de diferentes intervalos de corte sobre el rendimiento de materia de pasto saboya(Panicum maximum) y la composición químicacdel ensilaje,» Quito, 2017, pp. 11-12.
- [14] «<http://www.ganaderiaclimaticamenteinteligente.com/documentos/Metodolog%C3%ADa%20para%20Valoraci%C3%B3n%20Financiera%20y%20CostoBeneficio%20de%20Pr%C3%A1cticas%20Ganaderas.pdf>,» [En línea].
- [15] J. & M. D. G. Bernal Restrepo, Pastos para corte y pastoreo, 1997.
- [16] J. A. D. B. K. A. Mosquera Andrade., Evaluación de diferentes intervalos de corte sobre el rendimiento de materia seca de pasto Saboya (Panicum maximum) y la composición química del ensilaje, Quito - Pichincha, 2017.
- [17] V. L. M., Estudios industriales orientacion estrategica para la toma de decisiones., Quito , 2016.
- [18] J. M. Domínguez y S. Guamán, Análisis de sensibilidad del sector pecuario ecuatoriano: precios y esquema impositivo., Torreón, México: Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal, 2014.
- [19] A. L. N. Basantez, Impacto económico de la optimización del gasto público en el presupuesto general del estado ecuatoriano en Iso ejercicios fiscales 2016-2017-2018 y en la elaboracion de la proforma 2019., Quito - Pichincha, 2019.
- [20] C. E. A. Mendoza, Determinación de la productividad forrajera de un sistema tradicional de pastoreo con pasto miel frente a un sistema silvopastoril de pasto miel con aliso en nanegalito, Sangolqui, 2013.
- [21] C. Villanueva, M. Ibrahim, F. Casasola, N. Ríos y C. Sepúlveda, «Sistemas silvopastoriles-BioPasos,» 2018, p. 106.
- [22] M. I. Cristóbal Villanueva, Buenas prácticas agrícolas para la adaptación al cambio climático: Sistemas silvopastoriles: una herramienta para la adaptación al cambio climatico de las fincas ganaderas en America Central., 2018.

- [23] L. P. Rendón., Rehabilitación modernización y equipamiento de los distritos de riego., 2012.
- [24] V. S. S. C. Reinoso Ortiz, Cálculo y manejo en pastoreo controlado: Pastoreo rotativo y en franjas., Artigas - Uruguay, 2006.
- [25] F. Z. Reinoso Avecillas & N. G. Jara Cobos. «Analysis Of Projects Electricity Generation Using Geothermal Energy Sources Through The Methodology Of System Dynamics: Ecuador Case.,». Papel Papel presentado en XIV Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas, Medellín, Colombia., 2016.
- [26] M. M. Mendieta Yunga, Diseño de un plan de negocios para una empresa dedicada a la producción de ganado de doble propósito en el Cantón Pasaje, Cuenca - Azuay, 2010.
- [27] G. E. Ipurre Tovar, Mejoramiento del sistema de riego para el sector Llushcapampa Baja, distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, Región Cajamarca, 2017.
- [28] W. R. y. S. S. Y. García, Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso, Cuba: Republicana, CP 44280, Matanzas, Cuba, 2012.
- [29] C. Garcia, A. Dias Robaina, Calgaro y Marcelo., Selección de bombas para riego., 2003.
- [30] J. B. y. J. Calle, Caracterización de la conductividad hidraulica de los suelos de la subcuenca del Rio Tarqui., Cuenca - Ecuador, 2012.
- [31] C. C. Granda, Análisis de metodos de estimación de la conductividad hidraulica saturada en suelos degradados., Cuenca - Ecuador, 2005.
- [32] B. L. S. A. R. L. M. J. N. R. A. G. R. J. M. C. y. J. D. Ruiz Sinoga, Determinación de la conductividad hidraulica en laderas mediante el uso de infiltrometros de minidisco a lo largo de un gradiente pluviometrico., Málaga : Estudios de la Zona No Saturada del Suelo Vol. VI, 2003.

- [33] W. R. I. Pincay, Determinación del rendimiento forrajero y valor nutritivo del Pasto Saboya (*Panicum maximum* Jacq.) sujeto a cuatro frecuencias de corte durante la época seca en Quevedo., Guayaquil - Ecuador, 2015.
- [34] L. S. Pereira, El riego y sus tecnologías., Albacete - España, 2010.
- [35] A. J. J. Chesney, «Walter Injection - Pump Development,» New York, 1968.
- [36] Q. Rafael, II Seminario Latinoamericano sobrieriego por goteo., Buenos Aires - Argentina, 1977.
- [37] Q. P. Diego, «Instalación de un cabezal de riego para un sistema establecido que comprende un invernadero, umbraculo y patio de aclimatacion ubicados en el campus Juan Lunardi, Paute de la facultad de ciencias agropecuarias y ambientales.,» Paute - Ecuador , 2010.
- [38] E. Z. Martinez, Diseño y evaluación del riego a presión., Costarica, 2005.
- [39] E. M. S. Alberca, Diseño de sistema de riego para las comunidades la playa y nar pertenecientes al cantón cañar., Cuenca - Ecuador, 2015.
- [40] RedAgricola, La Revolución Circular del Riego, Chile, 2017.
- [41] L. A. d. I. Luz, Principios agroclimáticos básicos para la producción de plantas medicinales, Cuba: Rev Cubana Plant Med v.2003 n.1 Ciudad de la Habana ene.-abr. 2003, 2003.
- [42] C. S. C. J. M. C. Juan Manuel Benites Ramos., Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego., Lima - Perú, 2015.
- [43] G. R. Mijares, «Tratamiento de Aguas Residuales,» 1978.
- [44] D. M. Melia, «El Cálculo de la Red de Distribución: Diseño de Redes Malladas, DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN,» Valencia, 2012.
- [45] Julián Carrazón Alocén., Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego., Honduras : Impresiones Industriales, 2007.
- [46] L. J. Génova, Riego por aspersion, 2015.

- [47] C. García, A. Dias Robaina y M. Calgaro, Selección de bombas para riego, 2003.
- [48] C. García, A. Dias Robaina y M. Calgaro, «Selección de bombas para riego,» 2003, pp. 1-2.
- [49] W. J. Villareal Lopez., «Diseño de un banco para ensayos de bombas en serie y paralelo.,» Santiago de Cali, 2008, pp. 33-36.
- [50] N. J. H. P. C. Francisco G., «Selección de bombas uso y mantenimiento.,» de *Bombas* , Mexico , 1998, pp. 3-16.
- [51] C. García, A. Dias Robaina y M. Calgaro, «Hydraulic Institute Standards for Chemical, Rotary and Reciprocating Pumps.,» Cleveland Ohio, 13th ed, 1978, pp. 3-5.
- [52] R. M. P. C. Richard F. Neerken, «Selección de la bomba adecuada.,» de *Bombas seleccion uso y mantenimiento.*, Ohio, 13 th, 1978, pp. 3-7.
- [53] A. J. Stepanoff, «Pumps and Blowers; Two Phase Flow,» Wiley N.Y, 1965, pp. 8-10.
- [54] V. Carrier, «Manual para el diseño de una red hidráulica de climatización.,» *BOMBAS CENTRÍFUGAS*, vol. Marcombo Coixareu Editores, 1980.
- [55] I. J. a. K. W. Karassik, «Pumps Handbook,» New York , McGraw-Hill, 1976, pp. 5-6.
- [56] R. F. Neerken, «Pump Selection for the Chemical Process Industries,» de *Chem Eng*, 1974, pp. 104-115.
- [57] O. E. A. Baljo, «A Study on Design Criteria and Matching of Turbomachines,» *J Eng Power*, 1962.
- [58] W. Stanley Tinney, «Bombas Selección uso y mantenimiento.,» de *United Engineers & Contractors, Inc*, 1978.
- [59] M. Talwar, «Análisis de circuitos de bombas centrifugas,» de *Bombas seleccion uso y mantenimiento.*, 1983.

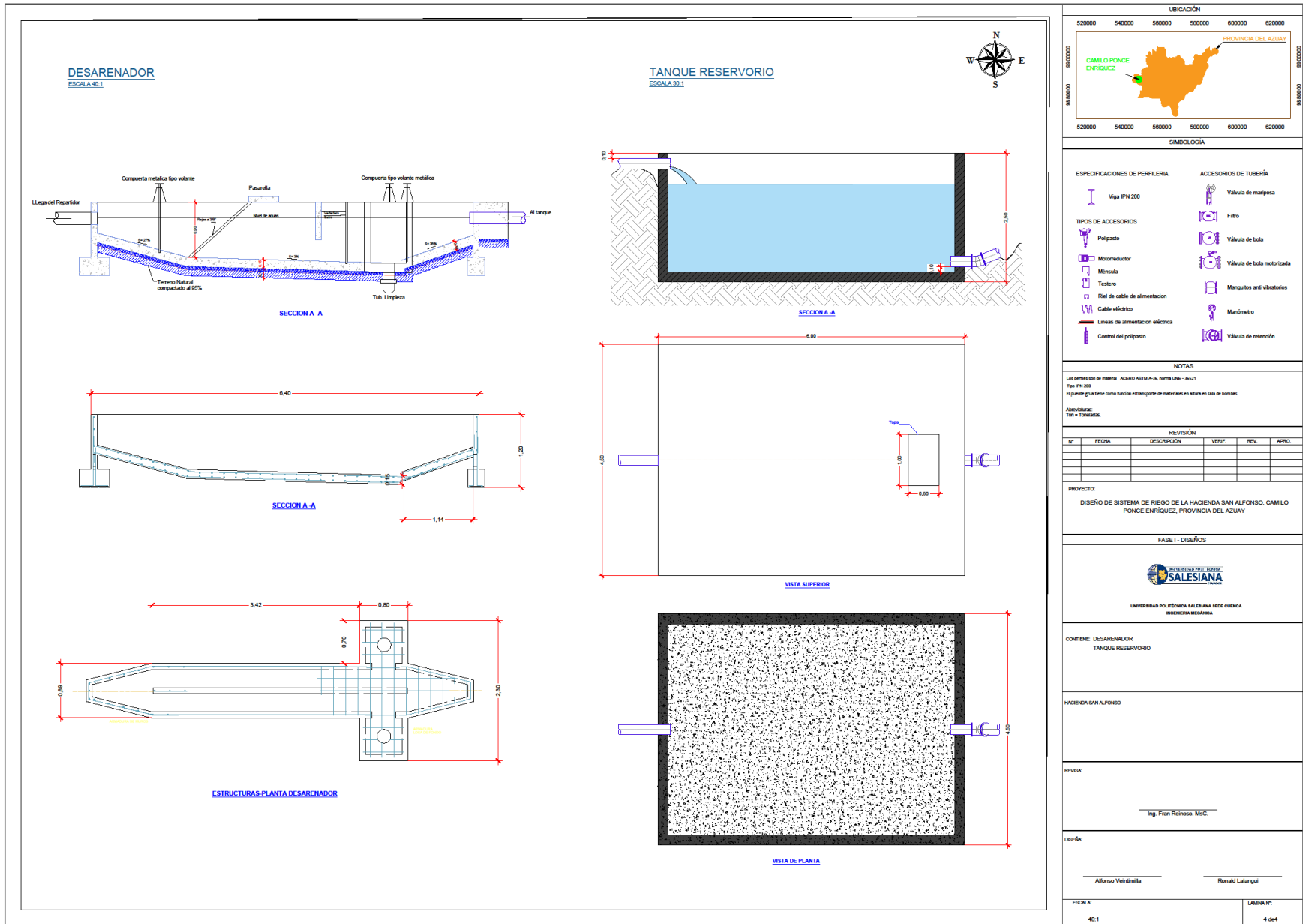
- [60] P. W. & P. F. A. Johnson, «A computer program for calculating capital and operating cost,» US. Bureau of Mines , 1976.
- [61] T. F.-C. Jorge Luisa Reyes-Cruz., «Bubbles implosion effect on cavitation wear of centrifugal pumps that transfer ammoniacal fluids,» *MinerÃa y GeologÃa*, 2019.
- [62] L. A. J. Hernandez, «Controlled-Volume Pumps,» *Chem Eng*, 1968.
- [63] J. Helfer, «Figure NSPH for Proportioning Pumps,» 1956.
- [64] R. S. R. F. I. MartÃn, «Impulsi3n de fluidos,» 200, p. 64.
- [65] A. D341-77, «Viscosity - Temperature Charts for liquid petroleum products,» 1977.
- [66] B. R. U. Y. Jos3, «Evaluaci3n de diferentes dietas en la alimentaci3n del ganado bovino lechero en el Rancho “San Antonio”, Piedra Pintada, Comalapa, Chontales II semestre 2015.,» 2016.
- [67] S. H. T. & H. M. V. Norberto Butendiceck, «Beef production from irrigated pastures evaluated with Overo Negro young bulls in the IX region,» *Agricultura tecnica*, vol. 52, n3 2, pp. 107-111, 1992.
- [68] L. Granados Zurita y J. Quiroz Valiente, «COSTO DE PRODUCCI3N DEL LITRO DE LECHE Y CARNE EN UN SISTEMA DE LECHERÍA DE DOBLE PROP3SITO,» 2011.
- [69] D. N.-R. A. H.-N. Y. D.-N. Alberto Medina-Le3nI, «Consideraciones y criterios para la selecci3n de procesos para la mejora: Procesos Diana,» *La Habana, Ing. Ind.* vol.33 no.3, 2012.
- [70] T. C. D. Fernando, «MANUAL DE DISEÑO DE SISTEMAS DE RIEGO TECNIFICADO,» Quito - Ecuador, 2014.
- [71] G. A. Ibarra y J. A. Palacios, «Criterios de diseño para un t3nel de agua de bajo costo,» de *Ingeniería y Competitividad*, Cali, Colombia, 2013, pp. pp. 139-149.

- [72] Paredes, «Valoración y Análisis Costo/Beneficio de Buenas Prácticas de Ganadería,» Quito, 2019, pp. 5-6.
- [73] D. Rivadeneira, D. Sandoval, D. Zambonino, A. Albán y C. Garcés, «Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo (ENEMDU),» 2018, p. 6.
- [74] D. Rivadeneira, D. Sandoval, D. Zambonino, A. Albán y C. Garcés, «Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo (ENEMDU),» 2018.
- [75] J. M. Domínguez y S. Guamán, «Análisis de sensibilidad del sector pecuario ecuatoriano: precios y esquema impositivo,» 2014, p. 3.
- [76] NEC, «Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2018,» 2019, pp. 27-29.
- [77] V. Ortega, J. Dután, L. Ayala, R. Rodas, P. Nieto, J. M. Vásquez, Y. Murillo, G. Calle y J. X. Samaniego, «Caracterización productiva de las ganaderías en los cantones occidentales de la provincia del Azuay,» 2017, pp. 145-146.
- [78] F. F. Portilla, «Agroclimatología del Ecuador,» 2018, pp. 79-81.
- [79] F. F. Portilla, «Agroclimatología del Ecuador,» 2018, pp. 79-81.
- [80] J. M. Domínguez y S. Guamán, «Análisis de sensibilidad del sector pecuario ecuatoriano: precios y esquema impositivo,» 2014, p. 656.
- [81] L. P. Rendón, «Rehabilitación, modernización y equipamiento de los distritos de riego,» de *Libro Blanco CONAGUA-02*, 2012.
- [82] M. Y. Mendieta, «Diseño de un plan de negocios para una empresa dedicada a la producción de ganado de doble propósito en el Cantón Pasaje,» Cuenca, 2010, p. 19.
- [83] W. P. Izurieta, «Determinación del rendimiento forrajero y valor nutritivo del Pasto Saboya (*Panicum maximum* Jacq.) sujeto a cuatro frecuencias de corte durante la época seca en Quevedo,» Guayaquil, 2015, p. 28.

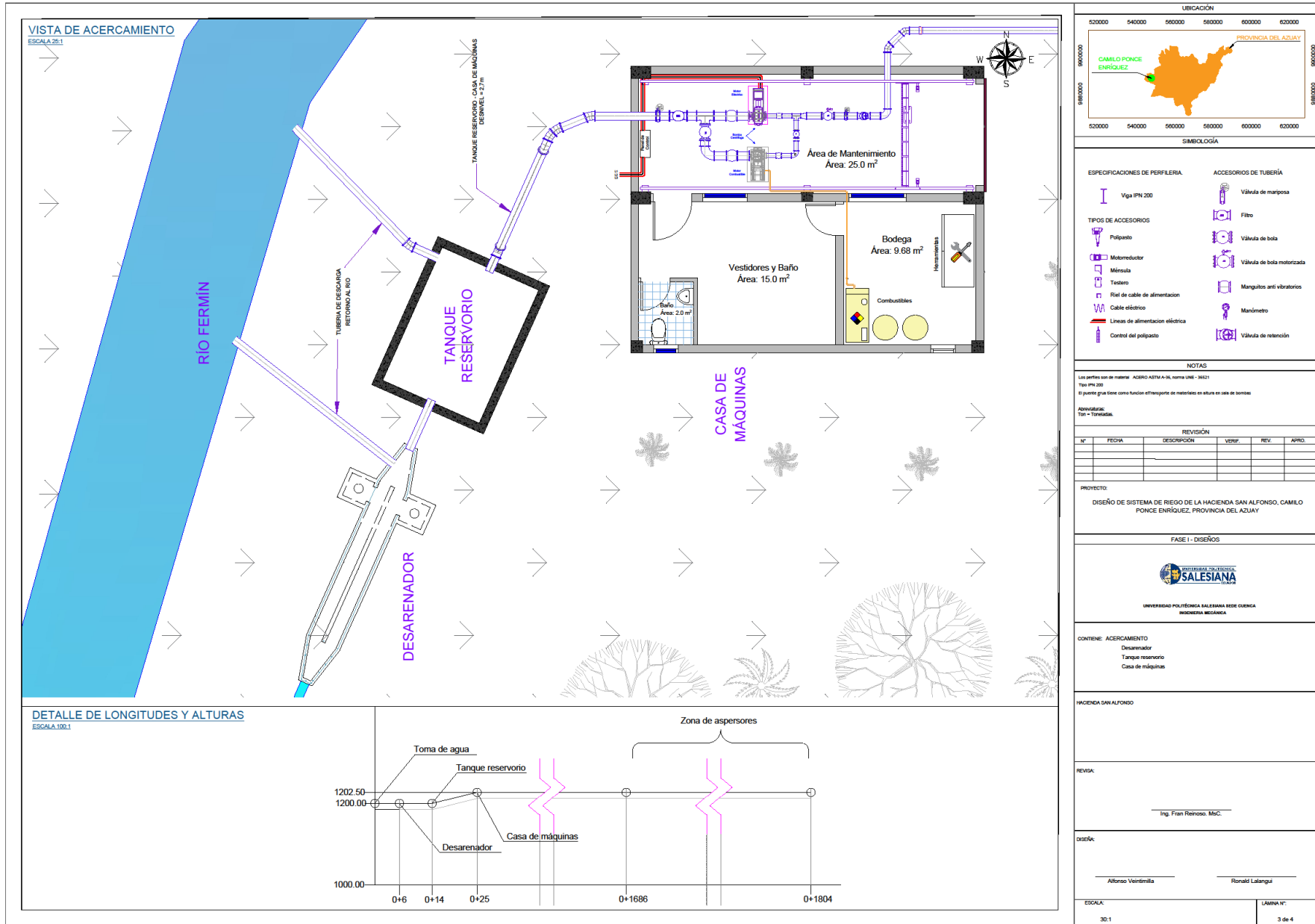
- [84] D. Gabriels, D. L. Lobo y M. M. Pulido, «Métodos para determinar la conductividad hidráulica saturada y no saturada,» 2006, pp. 1-9.
- [85] M. Acedo Plaza, «Estudios Industriales-Orientación estratégica para la toma de decisiones,» 2016, p. 1.
- [86] Ministerio de Economía y Finanzas, «Presupuesto general del estado Enero-Junio 2019,» 2019, p. 5.
- [87] R. Quintero, «II Seminario Latinoamericano sobreriego por goteo,» 1977, p. 1.
- [88] É. Zúñiga M., «Diseño y evaluación del riego a presión,» 2004, pp. 1-9.
- [89] W. J. Villareal Lopez, «Diseño de un banco para ensayo de bombas en serie y paralelo,» Santiago de Cali, 2008, p. 33.
- [90] D. Serrano, «Instalación y selección de bombas centrífugas para la industria petroquímica,» p. 10.
- [91] J. M. Jiménez T., «Manual para el diseño de sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario,» 2013, p. 17.
- [92] E. Charry N. y J. A. López L., 2017, pp. 32-44.
- [93] G. E. Ipurre T., «Mejoramiento del sistema de riego para el sector Llushcapampa Baja, Región Cajamarca,» Lima, 2017, pp. 6-7.
- [94] K. J. y Cuerpo de redactores de Chemical, «Selección, uso y mantenimiento,» de *Bombas*, 1998, pp. 3-335.
- [95] I. E. Roca, «ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES Y APLICACIONES INDUSTRIALES DEL POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (PEAD),» Guatemala, 2005.
- [96] M. R. Mete, «NET PRESENT VALUE AND INTERNAL RATE OF RETURN: ITS,» Instituto de Investigacion en Ciencias Económicas y Financieras, 2014.
- [97] R. d. P. Redondo, «Inversión de la Empresa en Formación, clave de la excelencia empresarial y análisis de su rentabilidad (predicción del ROI).,» 2011.

- [98] E. B. LÓPEZ, «ANÁLISIS DE RENTABILIDAD ECONÓMICA DE LOS NUEVOS ALOJAMIENTOS TURÍSTICOS REGULADOS POR EL MINISTERIO DE TURISMO EN EL AÑO 2015 PARA DETERMINAR EL PUNTO DE EQUILIBRIO EN PUERTO AYORA – GALÁPAGOS,» 2017.

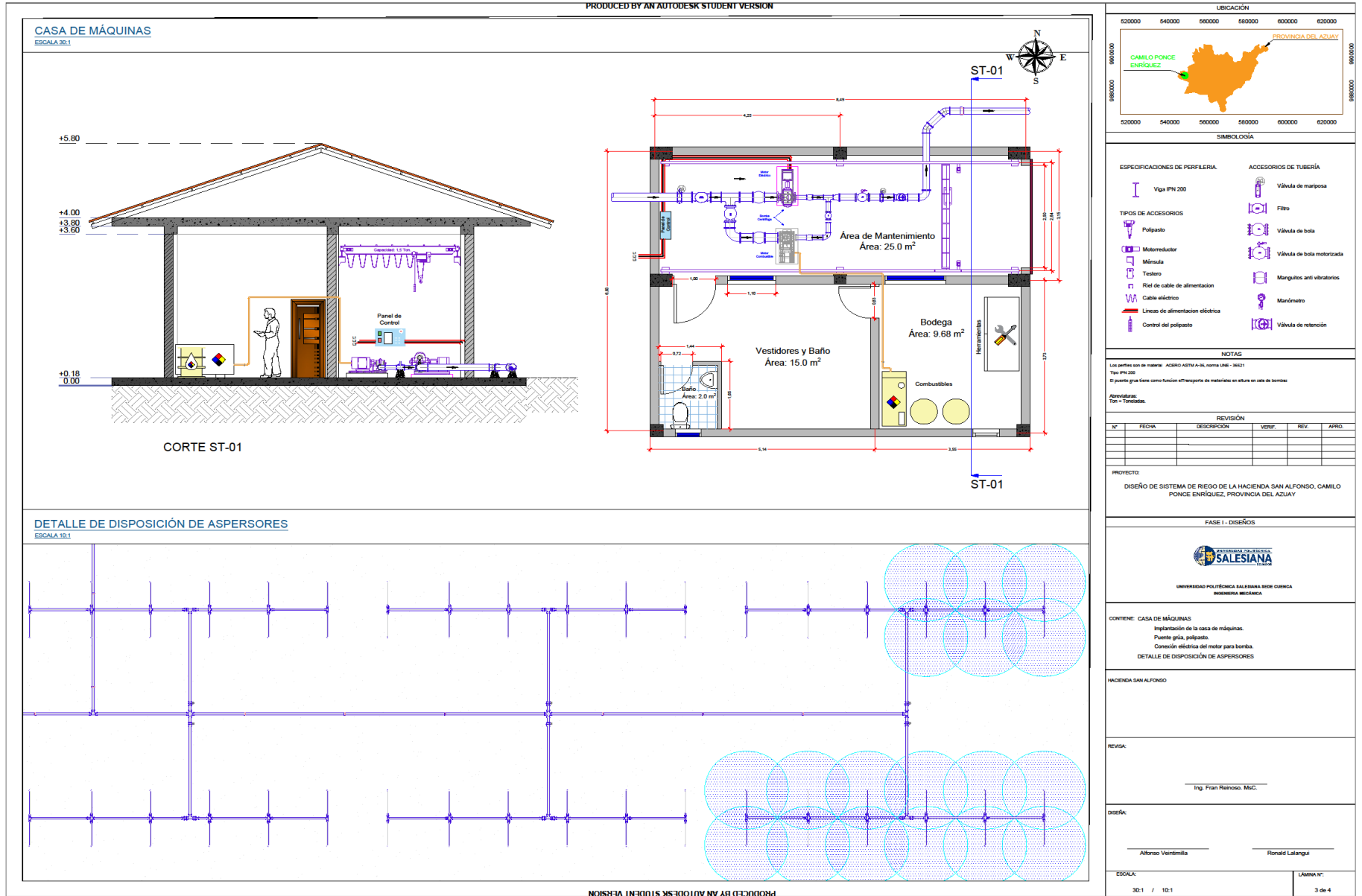
Anexo I. Plano técnico de la captación



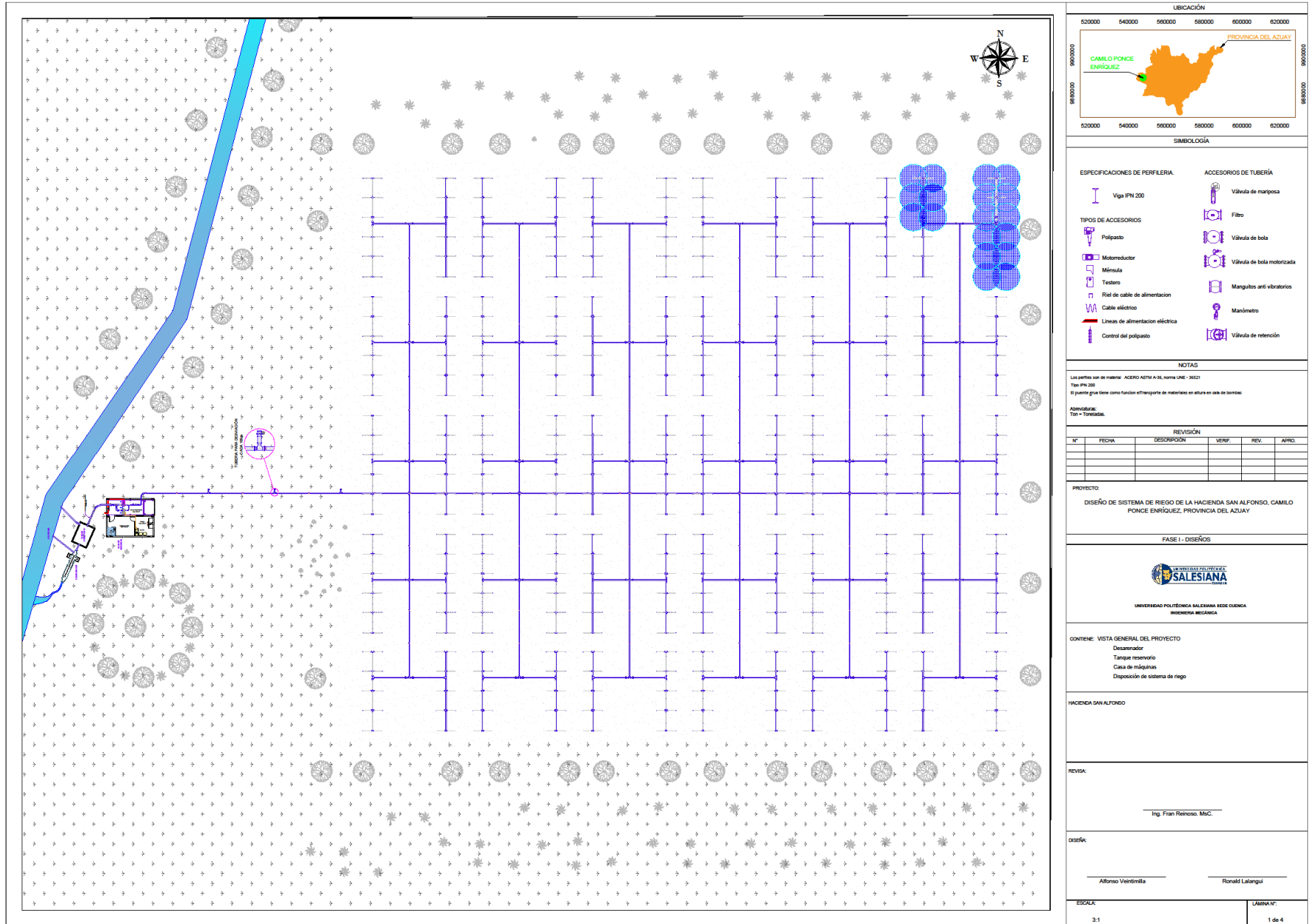
Anexo II. Plano técnico general de la captación, la casa de máquinas, longitudes y alturas de la tubería



Anexo III. Plano técnico de la casa de máquinas y la configuración de tuberías



Anexo IV. Plano técnico general del sistema de riego con todos sus componentes



UBICACIÓN

520000 540000 560000 580000 600000 620000

9600000

PROVINCIA DEL AZUAY

CAMILO PONCE ENRÍQUEZ

9600000

520000 540000 560000 580000 600000 620000

SIMBOLOGÍA

ESPECIFICACIONES DE PERFLERIA:

- Viga IPN 200

TIPOS DE ACCESORIOS:

- Polipasto
- Motoreductor
- Ménsula
- Testero
- Riel de cable de alimentación
- Cable eléctrico
- Lineas de alimentación eléctrica
- Control del polipasto

ACCESORIOS DE TUBERÍA:

- Válvula de mangosa
- Filtro
- Válvula de bola
- Válvula de bola motorizada
- Manguitos anti vibratorio
- Manómetro
- Válvula de retención

NOTAS

Los perfiles son de material ACERO ASTM A-36, norma UNE - 3621

Tipo IPN 200

El punto gran tiene como función el recoger de materiales en altura en caso de tormentas.

ADIVISORIA:

Tipo = Topografía.

REVISIÓN					
N°	FECHA	DESCRIPCIÓN	USUARI	REV.	APROB.

PROYECTO:

DISEÑO DE SISTEMA DE RIEGO DE LA HACIENDA SAN ALFONSO, CAMILO PONCE ENRÍQUEZ, PROVINCIA DEL AZUAY

FASE I - DISEÑOS

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

CONTIENE: VISTA GENERAL DEL PROYECTO

- Desarrollador
- Tanque reservorio
- Caja de mangueras
- Disposición de sistema de riego

HACIENDA SAN ALFONSO

REVISOR:

Ing. Fran Reinoso, M.C.

DISEÑADOR:

Alfonso Ventimilla Ronald Lalangui

ESCALA: 3:1 **LÁMINA IV:** 1 de 4

Anexo V. Método de Hardy Cross: programa en Microsoft Excel

El estudio de una red mallada o reticular consiste, bien en determinar los caudales que circulan por sus diferentes líneas y las alturas piezométricas en sus nudos o conociendo los caudales y presiones de servicio, determinar los diámetros de las conducciones. Para ello es necesario tener en cuenta la Tabla 21.

Tabla 21: Iteraciones de red mallada o reticular.

NUMERO		1											
Tramo	Q (m ³ /s)	L (m)	K	Le (KD/f)	Dcalcu (m)	Dcom (m)	V (m/s)	RE	f	Hf	Hf/Q	ΔQ1	Q nuevo
AB	0,03	1500,82	12,80	131,84	0,14	0,15	1,66	276563,16	0,01	22,18	733,68	0,00	0,03
BC	0,03	482,11	4,20	43,26	0,14	0,15	1,66	276563,16	0,01	7,14	236,09	0,00	0,03
CD	0,03	67,00	10,50	108,15	0,14	0,15	1,66	276563,16	0,01	2,38	78,71	0,00	0,03
DE	0,02	18,00	0,78	6,06	0,10	0,13	1,19	165937,89	0,02	0,22	14,85	0,00	0,02
DE	0,02	18,00	0,78	6,06	0,10	0,13	1,19	165937,89	0,02	0,22	14,85	0,00	0,02
EF	0,01	35,00	0,72	4,32	0,08	0,10	1,24	138281,58	0,02	0,52	51,24	0,00	0,01
EF	0,01	35,00	0,72	4,32	0,08	0,10	1,24	138281,58	0,02	0,52	51,24	0,00	0,01
FG	0,01	35,00	0,78	3,22	0,06	0,08	1,10	92187,72	0,02	0,58	114,14	0,00	0,01
FG	0,01	35,00	0,78	3,22	0,06	0,08	1,10	92187,72	0,02	0,58	114,14	0,00	0,01
GH	0,00	27,00	2,64	3,93	0,04	0,03	4,97	138281,58	0,02	-26,18	10391,54	0,00	0,00
GH	0,00	27,00	2,64	3,93	0,04	0,03	4,97	138281,58	0,02	-26,18	10391,54	0,00	0,00
GH	0,00	27,00	2,64	3,93	0,04	0,03	4,97	138281,58	0,02	-26,18	10391,54	0,00	0,00
GH	0,00	27,00	2,64	3,93	0,04	0,03	4,97	138281,58	0,02	-26,18	10391,54	0,00	0,00
HI	0,00	27,00	2,84	4,23	0,04	0,03	4,97	138281,58	0,02	-26,43	10491,52	0,00	0,00
HI	0,00	27,00	2,84	4,23	0,04	0,03	4,97	138281,58	0,02	-26,43	10491,52	0,00	0,00
HI	0,00	27,00	2,84	4,23	0,04	0,03	4,97	138281,58	0,02	-26,43	10491,52	0,00	0,00
HI	0,00	27,00	2,84	4,23	0,04	0,03	4,97	138281,58	0,02	-26,43	10491,52	0,00	0,00
EJ	0,00	27,00	2,86	4,26	0,04	0,03	4,97	138281,58	0,02	-26,45	10501,51	0,00	0,00
EJ	0,00	27,00	2,86	4,26	0,04	0,03	4,97	138281,58	0,02	-26,45	10501,51	0,00	0,00
EJ	0,00	27,00	2,86	4,26	0,04	0,03	4,97	138281,58	0,02	-26,45	10501,51	0,00	0,00
EJ	0,00	27,00	2,86	4,26	0,04	0,03	4,97	138281,58	0,02	-26,45	10501,51	0,00	0,00
							1,105			-281,91	126947,20		

NUMERO	2
--------	---

Tramo	Q (m ³ /s)	L (m)	K	Le (KD/f)	Dcalcu (m)	Dcom (m)	V (m/s)	RE	f	Hf	Hf/Q	ΔQ1	Q nuevo
AB	0,03	1500,82	12,80	132,74	0,14	0,15	1,72	286721,80	0,01	23,69	755,91	0,00	0,03
BC	0,03	482,11	4,20	43,55	0,14	0,15	1,72	286721,80	0,01	7,62	243,24	0,00	0,03
CD	0,03	67,00	10,50	108,89	0,14	0,15	1,72	286721,80	0,01	2,55	81,39	0,00	0,03
DE	0,02	18,00	0,78	6,15	0,10	0,13	1,28	178128,27	0,02	0,26	15,78	0,00	0,02
DE	0,02	18,00	0,78	6,15	0,10	0,13	1,28	178128,27	0,02	0,26	15,78	0,00	0,02
EF	0,01	35,00	0,72	4,41	0,08	0,10	1,38	153519,55	0,02	0,62	55,84	0,00	0,01
EF	0,01	35,00	0,72	4,41	0,08	0,10	1,38	153519,55	0,02	0,62	55,84	0,00	0,01
FG	0,01	35,00	0,78	3,36	0,06	0,08	1,35	112505,01	0,02	0,82	134,16	0,00	0,01
FG	0,01	35,00	0,78	3,36	0,06	0,08	1,35	112505,01	0,02	0,82	134,16	0,00	0,01
GH	0,00	27,00	2,64	3,49	0,03	0,03	2,78	77329,69	0,02	-9,09	6450,53	0,00	0,00
GH	0,00	27,00	2,64	3,49	0,03	0,03	2,78	77329,69	0,02	-9,09	6450,53	0,00	0,00
GH	0,00	27,00	2,64	3,49	0,03	0,03	2,78	77329,69	0,02	-9,09	6450,53	0,00	0,00
GH	0,00	27,00	2,64	3,49	0,03	0,03	2,78	77329,69	0,02	-9,09	6450,53	0,00	0,00
HI	0,00	27,00	2,84	3,75	0,03	0,03	2,78	77329,69	0,02	-9,17	6506,44	0,00	0,00
HI	0,00	27,00	2,84	3,75	0,03	0,03	2,78	77329,69	0,02	-9,17	6506,44	0,00	0,00
HI	0,00	27,00	2,84	3,75	0,03	0,03	2,78	77329,69	0,02	-9,17	6506,44	0,00	0,00
HI	0,00	27,00	2,84	3,75	0,03	0,03	2,78	77329,69	0,02	-9,17	6506,44	0,00	0,00
EJ	0,00	27,00	2,86	3,78	0,03	0,03	2,78	77329,69	0,02	-9,17	6512,03	0,00	0,00
EJ	0,00	27,00	2,86	3,78	0,03	0,03	2,78	77329,69	0,02	-9,17	6512,03	0,00	0,00
EJ	0,00	27,00	2,86	3,78	0,03	0,03	2,78	77329,69	0,02	-9,17	6512,03	0,00	0,00
EJ	0,00	27,00	2,86	3,78	0,03	0,03	2,78	77329,69	0,02	-9,17	6512,03	0,00	0,00
							1,28			-72,43	79368,15		

NUMERO	3
--------	---

Tramo	Q (m ³ /s)	L (m)	K	Le (KD/f)	Dcalcu (m)	Dcom (m)	V (m/s)	RE	f	Hf	Hf/Q	ΔQ2	Q nuevo
AB	0,031795	1500,82	12,8	133,0971403	0,14227	0,1524	1,743	290896	0,01466	24,3231	765,01	0,0001	0,031928
BC	0,031795	482,11	4,2	43,67249917	0,14227	0,1524	1,743	290896	0,01466	7,8270	246,17	0,0001	0,031928
CD	0,031795	67	10,5	109,1812479	0,14227	0,1524	1,743	290896	0,01466	2,6227	82,49	0,0001	0,031928
DE	0,016681	18	0,78	6,182306591	0,10305	0,127	1,317	183138	0,01602	0,2695	16,16	0,0001	0,016814
DE	0,016681	18	0,78	6,182306591	0,10305	0,127	1,317	183138	0,01602	0,2695	16,16	0,0001	0,016814
EF	0,011643	35	0,72	4,441077087	0,08609	0,1016	1,436	159781	0,01647	0,6719	57,71	0,0001	0,011776
EF	0,011643	35	0,72	4,441077087	0,08609	0,1016	1,436	159781	0,01647	0,6719	57,71	0,0001	0,011776
FG	0,006605	35	0,78	3,408517294	0,06484	0,0762	1,448	120854	0,01744	0,9393	142,22	0,0001	0,006738
FG	0,006605	35	0,78	3,408517294	0,06484	0,0762	1,448	120854	0,01744	0,9393	142,22	0,0001	0,006738
GH	-0,000952	27	2,64	3,207049491	0,02462	0,0254	1,880	52282	0,02091	-4,4759	4699,67	0,0001	-0,000819
GH	-0,000952	27	2,64	3,207049491	0,02462	0,0254	1,880	52282	0,02091	-4,4759	4699,67	0,0001	-0,000819
GH	-0,000952	27	2,64	3,207049491	0,02462	0,0254	1,880	52282	0,02091	-4,4759	4699,67	0,0001	-0,000819
GH	-0,000952	27	2,64	3,207049491	0,02462	0,0254	1,880	52282	0,02091	-4,4759	4699,67	0,0001	-0,000819
HI	-0,000952	27	2,84	3,450007786	0,02462	0,0254	1,880	52282	0,02091	-4,5119	4737,47	0,0001	-0,000819
HI	-0,000952	27	2,84	3,450007786	0,02462	0,0254	1,880	52282	0,02091	-4,5119	4737,47	0,0001	-0,000819
HI	-0,000952	27	2,84	3,450007786	0,02462	0,0254	1,880	52282	0,02091	-4,5119	4737,47	0,0001	-0,000819
HI	-0,000952	27	2,84	3,450007786	0,02462	0,0254	1,880	52282	0,02091	-4,5119	4737,47	0,0001	-0,000819
EJ	-0,000952	27	2,86	3,474303615	0,02462	0,0254	1,880	52282	0,02091	-4,5155	4741,25	0,0001	-0,000819
EJ	-0,000952	27	2,86	3,474303615	0,02462	0,0254	1,880	52282	0,02091	-4,5155	4741,25	0,0001	-0,000819
EJ	-0,000952	27	2,86	3,474303615	0,02462	0,0254	1,880	52282	0,02091	-4,5155	4741,25	0,0001	-0,000819
EJ	-0,000952	27	2,86	3,474303615	0,02462	0,0254	1,880	52282	0,02091	-4,5155	4741,25	0,0001	-0,000819

1,317

-15,4792 58239,3814

NUMERO	5
--------	---

Tramo	Q (m³/s)	L (m)	K	Le (KD/f)	Dcalcu (m)	Dcom (m)	V (m/s)	RE	f	Hf	Hf/Q	ΔQ4	Q nuevo
AB	0,031950	1500,82	12,8	133,2183719	0,14262	0,1524	1,751	292314	0,01464	24,5402	768,09	0,0000	0,031952
BC	0,031950	482,11	4,2	43,71227828	0,14262	0,1524	1,751	292314	0,01464	7,8969	247,17	0,0000	0,031952
CD	0,031950	67	10,5	109,2806957	0,14262	0,1524	1,751	292314	0,01464	2,6474	82,86	0,0000	0,031952
DE	0,016836	18	0,78	6,193476201	0,10353	0,127	1,329	184839	0,01599	0,2742	16,29	0,0000	0,016838
DE	0,016836	18	0,78	6,193476201	0,10353	0,127	1,329	184839	0,01599	0,2742	16,29	0,0000	0,016838
EF	0,011798	35	0,72	4,452686966	0,08666	0,1016	1,455	161908	0,01643	0,6883	58,34	0,0000	0,011800
EF	0,011798	35	0,72	4,452686966	0,08666	0,1016	1,455	161908	0,01643	0,6883	58,34	0,0000	0,011800
FG	0,006760	35	0,78	3,424554294	0,06560	0,0762	1,482	123689	0,01736	0,9797	144,94	0,0000	0,006762
FG	0,006760	35	0,78	3,424554294	0,06560	0,0762	1,482	123689	0,01736	0,9797	144,94	0,0000	0,006762
GH	-0,000797	27	2,64	3,083583349	0,02253	0,0254	1,574	43776	0,02175	-3,2504	4075,94	0,0000	-0,000795
GH	-0,000797	27	2,64	3,083583349	0,02253	0,0254	1,574	43776	0,02175	-3,2504	4075,94	0,0000	-0,000795
GH	-0,000797	27	2,64	3,083583349	0,02253	0,0254	1,574	43776	0,02175	-3,2504	4075,94	0,0000	-0,000795
GH	-0,000797	27	2,64	3,083583349	0,02253	0,0254	1,574	43776	0,02175	-3,2504	4075,94	0,0000	-0,000795
HI	-0,000797	27	2,84	3,317188148	0,02253	0,0254	1,574	43776	0,02175	-3,2756	4107,59	0,0000	-0,000795
HI	-0,000797	27	2,84	3,317188148	0,02253	0,0254	1,574	43776	0,02175	-3,2756	4107,59	0,0000	-0,000795
HI	-0,000797	27	2,84	3,317188148	0,02253	0,0254	1,574	43776	0,02175	-3,2756	4107,59	0,0000	-0,000795
HI	-0,000797	27	2,84	3,317188148	0,02253	0,0254	1,574	43776	0,02175	-3,2756	4107,59	0,0000	-0,000795
EJ	-0,000797	27	2,86	3,340548628	0,02253	0,0254	1,574	43776	0,02175	-3,2781	4110,76	0,0000	-0,000795
EJ	-0,000797	27	2,86	3,340548628	0,02253	0,0254	1,574	43776	0,02175	-3,2781	4110,76	0,0000	-0,000795
EJ	-0,000797	27	2,86	3,340548628	0,02253	0,0254	1,574	43776	0,02175	-3,2781	4110,76	0,0000	-0,000795
EJ	-0,000797	27	2,86	3,340548628	0,02253	0,0254	1,574	43776	0,02175	-3,2781	4110,76	0,0000	-0,000795
							1,329			-0,2476	50714,4025		

NUMERO	8
--------	---

Tramo	Q (m³/s)	L (m)	K	Le (KD/f)	Dcalcu (m)	Dcom (m)	V (m/s)	RE	f	Hf	Hf/Q	ΔQ7	Q nuevo
AB	0,03	1500,82	12,80	133,22	0,14	0,15	1,75	292338,80	0,01	24,54	768,15	0,00	0,03
BC	0,03	482,11	4,20	43,71	0,14	0,15	1,75	292338,80	0,01	7,90	247,18	0,00	0,03
CD	0,03	67,00	10,50	109,28	0,14	0,15	1,75	292338,80	0,01	2,65	82,87	0,00	0,03
DE	0,02	18,00	0,78	6,19	0,10	0,13	1,33	184868,67	0,02	0,27	16,29	0,00	0,02
DE	0,02	18,00	0,78	6,19	0,10	0,13	1,33	184868,67	0,02	0,27	16,29	0,00	0,02
EF	0,01	35,00	0,72	4,45	0,09	0,10	1,46	161945,05	0,02	0,69	58,35	0,00	0,01
EF	0,01	35,00	0,72	4,45	0,09	0,10	1,46	161945,05	0,02	0,69	58,35	0,00	0,01
FG	0,01	35,00	0,78	3,42	0,07	0,08	1,48	123739,01	0,02	0,98	144,98	0,00	0,01
FG	0,01	35,00	0,78	3,42	0,07	0,08	1,48	123739,01	0,02	0,98	144,98	0,00	0,01
GH	0,00	27,00	2,64	3,08	0,02	0,03	1,57	43627,70	0,02	-3,23	4064,86	0,00	0,00
GH	0,00	27,00	2,64	3,08	0,02	0,03	1,57	43627,70	0,02	-3,23	4064,86	0,00	0,00
GH	0,00	27,00	2,64	3,08	0,02	0,03	1,57	43627,70	0,02	-3,23	4064,86	0,00	0,00
GH	0,00	27,00	2,64	3,08	0,02	0,03	1,57	43627,70	0,02	-3,23	4064,86	0,00	0,00
HI	0,00	27,00	2,84	3,31	0,02	0,03	1,57	43627,70	0,02	-3,26	4096,40	0,00	0,00
HI	0,00	27,00	2,84	3,31	0,02	0,03	1,57	43627,70	0,02	-3,26	4096,40	0,00	0,00
HI	0,00	27,00	2,84	3,31	0,02	0,03	1,57	43627,70	0,02	-3,26	4096,40	0,00	0,00
HI	0,00	27,00	2,84	3,31	0,02	0,03	1,57	43627,70	0,02	-3,26	4096,40	0,00	0,00
EJ	0,00	27,00	2,86	3,34	0,02	0,03	1,57	43627,70	0,02	-3,26	4099,56	0,00	0,00
EJ	0,00	27,00	2,86	3,34	0,02	0,03	1,57	43627,70	0,02	-3,26	4099,56	0,00	0,00
EJ	0,00	27,00	2,86	3,34	0,02	0,03	1,57	43627,70	0,02	-3,26	4099,56	0,00	0,00
EJ	0,00	27,00	2,86	3,34	0,02	0,03	1,57	43627,70	0,02	-3,26	4099,56	0,00	0,00
							1,33			0,00	50580,71		

NUMERO	7
--------	---

Tramo	Q (m ³ /s)	L (m)	K	Le (KD/f)	Dcalcu (m)	Dcom (m)	V (m/s)	RE	f	Hf	Hf/Q	ΔQ6	Q nuevo
AB	0,03	1500,82	12,80	133,22	0,14	0,15	1,75	292338,58	0,01	24,54	768,15	0,00	0,03
BC	0,03	482,11	4,20	43,71	0,14	0,15	1,75	292338,58	0,01	7,90	247,18	0,00	0,03
CD	0,03	67,00	10,50	109,28	0,14	0,15	1,75	292338,58	0,01	2,65	82,87	0,00	0,03
DE	0,02	18,00	0,78	6,19	0,10	0,13	1,33	184868,40	0,02	0,27	16,29	0,00	0,02
DE	0,02	18,00	0,78	6,19	0,10	0,13	1,33	184868,40	0,02	0,27	16,29	0,00	0,02
EF	0,01	35,00	0,72	4,45	0,09	0,10	1,46	161944,71	0,02	0,69	58,35	0,00	0,01
EF	0,01	35,00	0,72	4,45	0,09	0,10	1,46	161944,71	0,02	0,69	58,35	0,00	0,01
FG	0,01	35,00	0,78	3,42	0,07	0,08	1,48	123738,57	0,02	0,98	144,98	0,00	0,01
FG	0,01	35,00	0,78	3,42	0,07	0,08	1,48	123738,57	0,02	0,98	144,98	0,00	0,01
GH	0,00	27,00	2,64	3,08	0,02	0,03	1,57	43629,03	0,02	-3,23	4064,96	0,00	0,00
GH	0,00	27,00	2,64	3,08	0,02	0,03	1,57	43629,03	0,02	-3,23	4064,96	0,00	0,00
GH	0,00	27,00	2,64	3,08	0,02	0,03	1,57	43629,03	0,02	-3,23	4064,96	0,00	0,00
GH	0,00	27,00	2,64	3,08	0,02	0,03	1,57	43629,03	0,02	-3,26	4096,50	0,00	0,00
GH	0,00	27,00	2,64	3,08	0,02	0,03	1,57	43629,03	0,02	-3,26	4096,50	0,00	0,00
GH	0,00	27,00	2,64	3,08	0,02	0,03	1,57	43629,03	0,02	-3,26	4096,50	0,00	0,00
GH	0,00	27,00	2,64	3,08	0,02	0,03	1,57	43629,03	0,02	-3,26	4096,50	0,00	0,00
EJ	0,00	27,00	2,86	3,34	0,02	0,03	1,57	43629,03	0,02	-3,26	4099,66	0,00	0,00
EJ	0,00	27,00	2,86	3,34	0,02	0,03	1,57	43629,03	0,02	-3,26	4099,66	0,00	0,00
EJ	0,00	27,00	2,86	3,34	0,02	0,03	1,57	43629,03	0,02	-3,26	4099,66	0,00	0,00
EJ	0,00	27,00	2,86	3,34	0,02	0,03	1,57	43629,03	0,02	-3,26	4099,66	0,00	0,00
							1,33			0,00	50581,91		

NUMERO	9
--------	---

Tramo	Q (m³/s)	L (m)	K	Le (KD/f)	Dcalcu (m)	Dcom (m)	V (m/s)	RE	f	Hf	Hf/Q	ΔQ8	Q nuevo
AB	0,03	1500,82	12,80	133,22	0,14	0,15	1,75	292338,83	0,01	24,54	768,15	0,00	0,03
BC	0,03	482,11	4,20	43,71	0,14	0,15	1,75	292338,83	0,01	7,90	247,18	0,00	0,03
CD	0,03	67,00	10,50	109,28	0,14	0,15	1,75	292338,83	0,01	2,65	82,87	0,00	0,03
DE	0,02	18,00	0,78	6,19	0,10	0,13	1,33	184868,70	0,02	0,27	16,29	0,00	0,02
DE	0,02	18,00	0,78	6,19	0,10	0,13	1,33	184868,70	0,02	0,27	16,29	0,00	0,02
EF	0,01	35,00	0,72	4,45	0,09	0,10	1,46	161945,08	0,02	0,69	58,35	0,00	0,01
EF	0,01	35,00	0,72	4,45	0,09	0,10	1,46	161945,08	0,02	0,69	58,35	0,00	0,01
FG	0,01	35,00	0,78	3,42	0,07	0,08	1,48	123739,06	0,02	0,98	144,98	0,00	0,01
FG	0,01	35,00	0,78	3,42	0,07	0,08	1,48	123739,06	0,02	0,98	144,98	0,00	0,01
GH	0,00	27,00	2,64	3,08	0,02	0,03	1,57	43627,56	0,02	-3,23	4064,85	0,00	0,00
GH	0,00	27,00	2,64	3,08	0,02	0,03	1,57	43627,56	0,02	-3,23	4064,85	0,00	0,00
GH	0,00	27,00	2,64	3,08	0,02	0,03	1,57	43627,56	0,02	-3,23	4064,85	0,00	0,00
GH	0,00	27,00	2,64	3,08	0,02	0,03	1,57	43627,56	0,02	-3,23	4064,85	0,00	0,00
HI	0,00	27,00	2,84	3,31	0,02	0,03	1,57	43627,56	0,02	-3,26	4096,39	0,00	0,00
HI	0,00	27,00	2,84	3,31	0,02	0,03	1,57	43627,56	0,02	-3,26	4096,39	0,00	0,00
HI	0,00	27,00	2,84	3,31	0,02	0,03	1,57	43627,56	0,02	-3,26	4096,39	0,00	0,00
HI	0,00	27,00	2,84	3,31	0,02	0,03	1,57	43627,56	0,02	-3,26	4096,39	0,00	0,00
EJ	0,00	27,00	2,86	3,34	0,02	0,03	1,57	43627,56	0,02	-3,26	4099,55	0,00	0,00
EJ	0,00	27,00	2,86	3,34	0,02	0,03	1,57	43627,56	0,02	-3,26	4099,55	0,00	0,00
EJ	0,00	27,00	2,86	3,34	0,02	0,03	1,57	43627,56	0,02	-3,26	4099,55	0,00	0,00
EJ	0,00	27,00	2,86	3,34	0,02	0,03	1,57	43627,56	0,02	-3,26	4099,55	0,00	0,00
							1,33			0,00	50580,59		

NUMERO													
	25												
Tramo	Q (m ³ /s)	L (m)	K	Le (KD/f)	Dcalcu (m)	Dcom (m)	V (m/s)	RE	f	Hf	Hf/Q	ΔQ24	Q nuevo
AB	0.031952	1500.82	12.8	133.22049	0.14262	0.1524	1.752	292339	0.01464	24.5440	768.15	0.0000	0.031952
BC	0.031952	482.11	4.2	43.7129733	0.14262	0.1524	1.752	292339	0.01464	7.8981	247.18	0.0000	0.031952
CD	0.031952	67	10.5	109.282433	0.14262	0.1524	1.752	292339	0.01464	2.6478	82.87	0.0000	0.031952
DE	0.016838	18	0.78	6.19367098	0.10354	0.127	1.329	184869	0.01599	0.2743	16.29	0.0000	0.016838
DE	0.016838	18	0.78	6.19367098	0.10354	0.127	1.329	184869	0.01599	0.2743	16.29	0.0000	0.016838
EF	0.011800	35	0.72	4.45288906	0.08667	0.1016	1.456	161945	0.01643	0.6886	58.35	0.0000	0.011800
EF	0.011800	35	0.72	4.45288906	0.08667	0.1016	1.456	161945	0.01643	0.6886	58.35	0.0000	0.011800
FG	0.006762	35	0.78	3.4248322	0.06561	0.0762	1.483	123739	0.01735	0.9804	144.98	0.0000	0.006762
FG	0.006762	35	0.78	3.4248322	0.06561	0.0762	1.483	123739	0.01735	0.9804	144.98	0.0000	0.006762
GH	-0.000795	27	2.64	3.08123815	0.02249	0.0254	1.568	43628	0.02176	-3.2305	4064.85	0.0000	-0.000795
GH	-0.000795	27	2.64	3.08123815	0.02249	0.0254	1.568	43628	0.02176	-3.2305	4064.85	0.0000	-0.000795
GH	-0.000795	27	2.64	3.08123815	0.02249	0.0254	1.568	43628	0.02176	-3.2305	4064.85	0.0000	-0.000795
GH	-0.000795	27	2.64	3.08123815	0.02249	0.0254	1.568	43628	0.02176	-3.2305	4064.85	0.0000	-0.000795
HI	-0.000795	27	2.84	3.31466528	0.02249	0.0254	1.568	43628	0.02176	-3.2556	4096.39	0.0000	-0.000795
HI	-0.000795	27	2.84	3.31466528	0.02249	0.0254	1.568	43628	0.02176	-3.2556	4096.39	0.0000	-0.000795
HI	-0.000795	27	2.84	3.31466528	0.02249	0.0254	1.568	43628	0.02176	-3.2556	4096.39	0.0000	-0.000795
HI	-0.000795	27	2.84	3.31466528	0.02249	0.0254	1.568	43628	0.02176	-3.2556	4096.39	0.0000	-0.000795
EJ	-0.000795	27	2.86	3.338008	0.02249	0.0254	1.568	43628	0.02176	-3.2581	4099.54	0.0000	-0.000795
EJ	-0.000795	27	2.86	3.338008	0.02249	0.0254	1.568	43628	0.02176	-3.2581	4099.54	0.0000	-0.000795
EJ	-0.000795	27	2.86	3.338008	0.02249	0.0254	1.568	43628	0.02176	-3.2581	4099.54	0.0000	-0.000795
EJ	-0.000795	27	2.86	3.338008	0.02249	0.0254	1.568	43628	0.02176	-3.2581	4099.54	0.0000	-0.000795

Fuente: Autor.

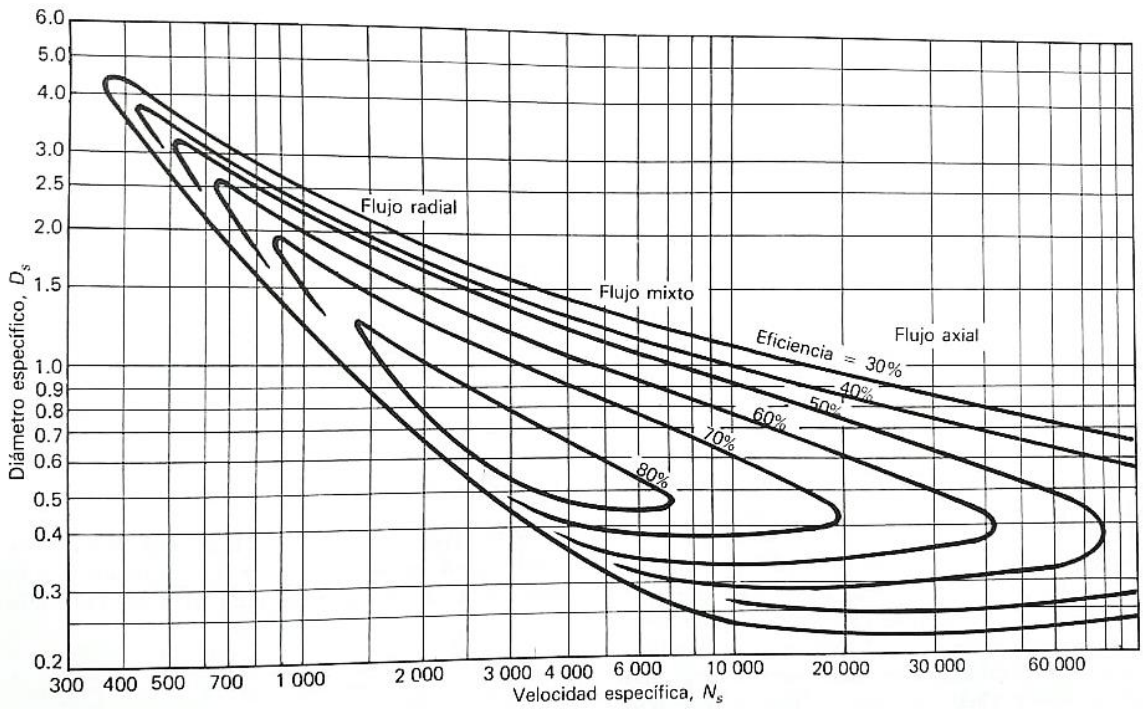


Figura 45: Velocidad específica para la selección preliminar de la bomba centrífuga de una velocidad. **Fuente:** Tomado de [50].