

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO MÓVIL POR ASPERSIÓN EN LA HACIENDA “FREIRE” UBICADA EN EL CANTÓN QUERO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN ELECTROMECAÁNICA

ANTHONY RUBÉN VALLE FREIRE

anthony.valle@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. HUGO ZÚÑIGA MSC.

hugo.zuniga@epn.edu.ec

COORDIRECTOR: ING. CARLOS ROMO MSC.

carlos.romo@epn.edu.ec

Quito, febrero 2021

DECLARACIÓN

Yo, Valle Freire Anthony Rubén, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Sin perjuicio de los derechos reconocidos en el primer párrafo del artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación -COESC-, soy titular de la obra en mención y otorgo una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva de uso con fines académicos a la Escuela Politécnica Nacional. Entregaré toda la información técnica pertinente. En el caso de que hubiese una explotación comercial de la obra por parte de la EPN, se negociará los porcentajes de los beneficios conforme lo establece la normativa nacional vigente".



Valle Freire Anthony Rubén

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Valle Freire Anthony Rubén, bajo nuestra supervisión.



Ing. Hugo Zúñiga Msc.

DIRECTOR DE PROYECTO



Ing. Carlos Romo Msc.

CODIRECTOR DE PROYECTO

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mis padres, que han sido la escuela más importante en mi vida, que me han enseñado a valorar la vida con esfuerzo y honestidad en el trabajo diario de la agricultura para convertirme en una persona de bien. Les agradezco a ellos porque nunca me faltó nada, siempre estuvieron ahí aconsejándome y velando por mi bienestar. Gracias por ser el pilar fundamental que estuvo siempre de ejemplo en las buenas y en las malas.

Dedicado para mis queridos hermanos, que han sido confidentes y apoyo en todo momento, han sabido orientarme para seguir la carrera que me gusta. Gracias por darme una paz emocional y la fortaleza para formarme como persona y profesional, porque junto a mis padres siempre hemos sido una familia unida.

Anthony

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la salud y vida, por siempre acompañarme en todo camino con su bendición.

A mi familia, por el apoyo inmenso que día a día se esforzaron para darme una vida mejor, por sus consejos que me formaron primero como persona y luego para llegar a ser profesional.

A mis compañeros y amigos que, gracias a su apoyo académico y social, la vida universitaria fue una experiencia única y agradable.

A toda la comunidad politécnica que formó parte de mi segundo hogar, a los profesores que me enseñaron y guiaron en base a sus experiencias profesionales a realizar trabajos de calidad. Y a todos los trabajadores de la Escuela Politécnica que hicieron una universidad mucho más amena y segura.

Anthony

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Descripción del problema	1
1.2. Justificación.....	1
1.3. Objetivos	2
1.4. Fundamentos teóricos	3
2. METODOLOGÍA	12
2.1. Técnica de investigación	12
2.2. Técnicas e instrumentos empleados en la ejecución del proyecto.....	12
3. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	14
3.1. Tanque reservorio de agua y sistema de riego antiguo	14
3.2. Parámetros de funcionamiento.....	17
3.3. Dimensionamiento del sistema.....	20
3.4. Selección de componentes.....	32
3.5. Implementación del sistema	36
3.6. Pruebas de funcionamiento	46
3.7. Manual de uso y mantenimiento.....	49
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	50
4.1. Conclusiones.....	50
4.2. Recomendaciones.....	50
5. BIBLIOGRAFIA.....	52
6. ANEXOS.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Contracción súbita	7
Figura 1.2 Coeficiente de resistencia- contracción súbita.....	7
Figura 1.3 Pérdidas en la entrada	7
Figura 1.4 Codos	8
Figura 1.5 Tee's estándar	8
Figura 1.6 Válvulas tipo bola	8
Figura 1.7 Puntas móvil	9
Figura 2.1 Esquema de la metodología usada en el proyecto.....	13
Figura 3.1 Tubería de suministro de agua del tanque reservorio y desfogue	14
Figura 3.2 Tuberías de alimentación para el sistema de riego antiguo	15
Figura 3.3 Estado y dimensiones del tanque reservorio	15
Figura 3.4 Válvula de control para sistema de riego antiguo	16
Figura 3.5 Estado de la toma de conexión fija del sistema antiguo	17
Figura 3.6 Estado del sistema de tuberías móviles	17
Figura 3.7 Ubicación geográfica de los terrenos y el tanque reservorio.....	19
Figura 3.8 Estructura del sistema de riego antiguo y nuevo diseño.....	19
Figura 3.9 Tuberías fijas y tomas de conexión	21
Figura 3.10 Dimensionamiento de las tuberías móviles	21
Figura 3.11 Línea crítica del sistema de riego antiguo	22
Figura 3.12 Esquema de cambio de posición de las tuberías móviles.....	25
Figura 3.13 Nomenclatura de los componentes del sistema de riego.....	26
Figura 3.14 Línea crítica del nuevo diseño.....	29
Figura 3.15 Ejemplo para determinar el coeficiente de resistencia.....	30
Figura 3.16 Válvula de bola de 2 (pulg) a la salida del tanque reservorio.....	37
Figura 3.17 Válvula universal de 3 (pulg) a la salida del tanque reservorio	37
Figura 3.18 Excavación para tuberías fijas.....	38
Figura 3.19 Colocación de la tubería de 3 (pulg).....	38
Figura 3.20 Calentamiento de terminales de mangueras	39
Figura 3.21 Unión de los terminales de las mangueras.....	39
Figura 3.22 Protección contra la corrosión de abrazaderas.....	40
Figura 3.23 Relleno del canal de tierra.....	40
Figura 3.24 Conexión de manguera fija con válvula en el tanque reservorio.....	41
Figura 3.25 Conexión de manguera con válvula en toma de conexión.....	41
Figura 3.26 Toma de conexión 2 (TC2).....	42
Figura 3.27 Soterramiento de tuberías para toma de conexión 3	42

Figura 3.28 Toma de conexión 3 (TC3).....	43
Figura 3.29 Soterramiento de tuberías para toma de conexión 1	43
Figura 3.30 Toma de conexión fija 1 (TC1)	43
Figura 3.31 Estructura del terminal de tubería con punta macho.....	44
Figura 3.32 Conexión de punta macho en manguera.....	44
Figura 3.33 Conexión de punta hembra en manguera	44
Figura 3.34 Tubos de PVC con puntas móviles.....	45
Figura 3.35 Aspersor Jolly 1 ¼ (pulg) sectorial.....	45
Figura 3.36 Estaca de fijación para aspersor	46
Figura 3.37 Sistema de riego antiguo.....	47
Figura 3.38 Conexión del sistema de tuberías móviles	47
Figura 3.39 Apertura de las válvulas principales en la toma de conexión TC2	48
Figura 3.40 Apertura de válvulas en la toma de conexión TC3	48
Figura 3.41 Riego por aspersión de 3 aspersores.....	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Propiedades del agua a 20 (°C).....	4
Tabla 1.2 Tuberías de polietileno para presión.....	9
Tabla 1.3 Valores que favorecen a la elección del método de riego.....	10
Tabla 1.4 Características técnicas del aspersor Jolly 1 ¼ (pulg).....	11
Tabla 3.1 Cronograma de turnos de agua de regadío.....	16
Tabla 3.2 Características principales del antes y el después de los sistemas de riego....	20
Tabla 3.3 Dimensiones de tuberías fijas.....	24
Tabla 3.4 Dimensiones de tuberías móviles.....	24
Tabla 3.5 Nomenclatura de los componentes del sistema.....	26
Tabla 3.6 Pérdidas de tuberías en el sistema antiguo.....	28
Tabla 3.7 Pérdidas en tuberías del nuevo diseño.....	29
Tabla 3.8 Características de los accesorios del sistema antiguo.....	30
Tabla 3.9 Características de los accesorios del nuevo diseño.....	30
Tabla 3.10 Pérdidas menores del sistema antiguo.....	31
Tabla 3.11 Pérdidas menores del nuevo diseño.....	32
Tabla 3.12 Pérdidas de energía total.....	32
Tabla 3.13 Tuberías seleccionadas.....	33
Tabla 3.14 Accesorios seleccionados.....	33

Resumen

En el presente proyecto de titulación, "IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO MÓVIL POR ASPERSIÓN EN LA HACIENDA "FREIRE" UBICADA EN EL CANTÓN QUERO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA", se desarrolla un nuevo sistema de riego por aspersión que complementa a uno ya existente (más pequeño) en la hacienda Freire. Los dos sistemas de riego (sistema antiguo y nuevo diseño) ponen en operación a tres aspersores al mismo tiempo, optimizando el tiempo de riego en una relación de 3:1 y reduciendo el costo de mano de obra.

Se implementó el nuevo diseño en base al sistema de riego antiguo, utilizando algunos recursos (tanque reservorio, tuberías y accesorios) y se verificó el estado de operación de estos componentes. Para definir el estado del sistema de riego antiguo, se realizó el análisis y mantenimiento a la red de tuberías fijas que trasladan el agua hacia los terrenos ubicados a 323 (m) de distancia con respecto al tanque. Además, se realizó la medición del tanque reservorio con un volumen de 80 (m³), ubicado a 55 (m) de altura desde el nivel de referencia (terrenos), que abastece al sistema antiguo y al nuevo diseño.

Se determinó el máximo admisible de pérdidas de energía del sistema de riego ($h_L=35.27$ (m)), que se utilizó como base para el dimensionamiento de las tuberías fijas y móviles. Además, mediante la Ecuación General de la Energía, se calculó las pérdidas mayores y menores del sistema de riego antiguo ($h_L=31.56$ (m)) y del nuevo diseño ($h_L=20.92$ (m)) comprobando que pueden funcionar adecuadamente a gravedad sin el uso de bombas.

Se seleccionó los elementos medianamente económicos y fiables en base a los cálculos realizados, experiencia de riego y recomendaciones. Se implementó el sistema de tuberías fijas para el nuevo diseño mediante tubería Flex de 3 (pulg) de diámetro, que están soterradas bajo 1.5 (m) de profundidad. Además, se realizó estructuras de hormigón simple para la protección de las tomas de conexión fijas y se armó las tuberías móviles de 2 (pulg) respectivamente con los accesorios

Para realizar las pruebas de funcionamiento, se armó la red de tuberías móviles en la línea crítica de cada uno de los sistemas y se verificó el alcance del chorro de agua en cada aspersor de aproximadamente 23 (m) de radio, en el cual se comprueba que supera el caudal mínimo propuesto de 8.9 (m³/h) en cada aspersor Jolly de 1 ¼ (pulg).

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción del problema

Una agricultura sustentable, sostenida o perdurable, se ve condicionada en un futuro de muchas explotaciones agrícolas (deterioro del suelo), viabilidad económica, donde la tecnología aplicada puede reducir los posibles impactos ambientales, conservar los recursos naturales (genéticos, suelos, agua) y contribuir a la equidad social, debido a que, la actividad agraria es muy competitiva en un mercado mundial cada vez más globalizado. [1]

En la hacienda Freire, el riego de agua se basaba en un sistema de tuberías móviles con un caudal mínimo, se alimentaba el agua por gravedad por lo que abastecía un aspersor a la vez, esto hacia muy deficiente el sistema y los trabajadores gastaban mucho tiempo en el riego.

En la agricultura se debe utilizar tecnología actual para mejorar su productividad y rentabilidad. El dimensionamiento y funcionamiento de los sistemas de riego tienen una importante función en la producción de los cultivos. Por tanto, fue necesario implementar un sistema de riego móvil por aspersión eficiente para mejorar el rendimiento de los cultivos y optimizar el tiempo de riego. [2]

Este proyecto permitió dimensionar e implementar un nuevo sistema de riego móvil por aspersión y mejorar el sistema antiguo, para ello, se recogió agua de un tanque reservorio mediante dos redes de tuberías fijas totalmente independientes respectivamente. Se dimensionó las tuberías de un sistema portátil tomando en cuenta la referencia de un proyecto anterior en donde se realizó la implementación de un sistema de riego fijo por goteo y aspersión [3]. Este sistema fue totalmente versátil y portátil, puesto que, se armó el sistema de tuberías, aspersores y las válvulas de paso de acuerdo a la necesidad, El sistema de riego móvil se utilizó en un terreno a la vez, posterior a eso, se procedió a desarmar y armar todos los elementos en el siguiente sembrío.

1.2. Justificación

Las plantas necesitan de agua como recurso imprescindible para vivir. La disponibilidad de agua es el principal factor limitante de la producción agrícola y ganadera en ambientes de clima mediterráneo [4]. Cuando el suelo no tiene la cantidad suficiente de agua o no es oportuna su disponibilidad por medio de la lluvia o de fuentes naturales, es de vital

importancia contar con un sistema de riego (suministro artificial de agua en los cultivos). Un adecuado sistema de riego bien dimensionado suministra la cantidad suficiente de agua en el momento que se necesita, humedeciendo el suelo hasta la profundidad que requiera el cultivo. [5]

Con la innovación de diversas tecnologías y mediante la creación de los sistemas de riego y de almacenamiento, se posibilita el uso efectivo del líquido vital no solo para consumo, sino también, para asegurar la producción agrícola de calidad, tanto a nivel de pequeños como de grandes productores. [2]

Este proyecto ayudó a la hacienda Freire con la implementación del sistema de riego por aspersión en pequeña escala y se mejoró la capacidad de producción agrícola (anteriormente, se producía 30 (t), mientras que ahora se produce 50 (t) de papas por terreno) en temporadas de verano con la disponibilidad del agua, misma que se tomó de la red de tuberías proveniente de la vertiente de agua Igualata- Pichibamba adjudicado por el caserío Hipolongo 4 Esquinas del cantón Quero, secretaria del Agua-Ambato (SENAGUA). [6]

1.3. Objetivos

- **Objetivo general**

Implementar un sistema de riego móvil por aspersión en la hacienda Freire ubicada en el cantón Quero, provincia de Tungurahua.

- **Objetivos específicos**

- Revisar el estado del tanque reservorio de agua y la red de tuberías fijas que abastecerá al sistema de riego móvil.
- Dimensionar el sistema.
- Seleccionar los componentes en base a los parámetros de funcionamiento.
- Implementar el sistema de riego móvil.
- Realizar las pruebas de funcionamiento.
- Realizar un manual de uso y mantenimiento del sistema.

1.4. Fundamentos teóricos

Los conceptos desarrollados en esta sección están explicados en base a: el riego y sus tecnologías (Santos Pereira) [1], Mecánica de fluidos (Yunus Cengel) [8] y Mecánica de fluidos (Robert Mott), [9].

- **Principio de continuidad**

Si se considera los distintos puntos dentro de una tubería, se define que la cantidad de fluido o caudal (Q) que circula por una sección, es la misma en cualquier otra parte de la tubería dentro de un determinado tiempo, siempre y cuando no se retire o agregue fluidos externos. Además, el caudal también se define como el producto de la velocidad promedio del fluido (V) por el área de la sección transversal de la tubería (A) [8]. En la Ecuación 1, se muestra matemáticamente el principio de continuidad.

$$Q_1 = Q_2; \quad A_1 * V_1 = A_2 * V_2 \quad \text{Ec.1}$$

$$Q = \text{Caudal} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$A = \text{Área} \left(m^2 \right)$$

$$V = \text{Velocidad} \left(\frac{m}{s} \right)$$

- **Ecuación general de la energía**

Este concepto se basa en el principio de conservación de la energía. Se analiza en fluidos dentro de tuberías o ductos en cualquier punto del sistema mediante el principio de continuidad, además, es una extensión de la ecuación de Bernoulli, donde se puede definir las pérdidas de energía, trabajo de bombas y turbinas [9]. En la Ecuación 2, se muestra la ecuación general de la energía en unidades métricas.

$$\frac{P_1}{\rho g} + z_1 + \frac{V_1^2}{2 * g} + \frac{w_{Bomba}}{g} = \frac{P_2}{\rho g} + z_2 + \frac{V_2^2}{2 * g} + \frac{w_{Turbina}}{g} + h_L \quad \text{Ec.2}$$

Donde:

$$P = \text{Presión} \left(Pa \right)$$

$$\rho = \text{Densidad del fluido} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$$V = \text{Velocidad} \left(\frac{m}{s} \right)$$

- z = Altura (m)
- g = Gravedad ($\frac{m}{s^2}$)
- w = Trabajo por unidad de masa ($\frac{m^2}{s^2}; \frac{J}{kg}$)
- h_L = Pérdidas de energía (m)

- **Propiedades de los fluidos**

- **Densidad (ρ):** es la masa por el volumen de una sustancia, [9].
- **Peso específico (γ):** es el peso por el volumen de una sustancia, [9].
- **Viscosidad:** es la facilidad con la que un fluido se mueve a través de una superficie, donde la temperatura es inversamente proporcional. Se divide en:
 - a) En la viscosidad dinámica (η) conforme un fluido se mueve, se desarrolla un esfuerzo cortante cuya magnitud depende de la viscosidad del fluido. Se define al esfuerzo cortante como la fuerza que se requiere para que una unidad de área de una sustancia se deslice sobre otra [9].
 - b) La viscosidad cinemática (ν) es una propiedad que involucra la razón de la viscosidad dinámica en la densidad del fluido (ρ) [9].

En la Tabla 1.1, se detalla las propiedades del agua a temperatura ambiente (20 °C)).

Tabla 1.1 Propiedades del agua a 20 °C) , [9]

PROPIEDADES	VALOR	UNIDAD
Densidad (ρ)	998	(kg/m ³)
Viscosidad dinámica (η)	0.00102	(Pa*s)
Viscosidad cinemática (ν)	0.00000102	(m ² /s)
Peso específico (γ)	9.79	(kN/m ³)

- **Número de Reynolds**

El número de Reynolds caracteriza la naturaleza del fluido, los flujos con número de Reynolds bajo (< 2000) son lentos y suaves, es decir, son de flujo laminar; mientras que, los flujos con número de Reynolds elevado (> 4000) son rápidos e irregulares y se les conoce como flujo turbulento [9]. En la Ecuación 3, se determina matemáticamente el número de Reynolds considerando las propiedades del agua vistos en la Tabla 1.1.

$$Re = \frac{v * D * \rho}{\eta} \quad Ec.3$$

- R_e = Número de Reynolds
 v = Velocidad promedio del fluido $\left(\frac{m}{s}\right)$
 D = Diámetro (m)
 ρ = Densidad de flujo $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$
 η = Viscosidad dinámica $\left(\frac{kg}{m*s}\right)$

- **Factor de fricción**

Es una cantidad adimensional conocida también como coeficiente de resistencia desarrollado por Swamee y Jain, que se utiliza para calcular las pérdidas de fricción en tuberías o canales abiertos [9]. En la Ecuación 4, se muestra la forma directa para calcular el factor de fricción para flujos turbulentos.

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7 * \left(\frac{D}{\epsilon} \right)} + \frac{5.74}{R_e^{0.9}} \right) \right]^2} \quad Ec.4$$

- f = Factor de fricción
 R_e = Número de Reynolds
 ϵ = Rugosidad del material (m); rugosidad para manguera PE = 0.02 (mm)
 D = Diámetro interno de tubería (m)

- **Ecuación de Darcy**

La ecuación de Darcy es utilizada para calcular las pérdidas de energía de cualquier tipo de fluido newtoniano [9]. A continuación, se expresa en la Ecuación 5.

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2 * g} \quad Ec.5$$

- h_L = Pérdidas por fricción (m)
 f = Factor de fricción
 L = Longitud de tubería (m)
 D = Diámetro de sección (m)
 V = Velocidad promedio del fluido $\left(\frac{m}{s}\right)$

g = Gravedad $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

- **Pérdidas mayores de energía**

Se calcula mediante la ecuación de Darcy (Ecuación 5) específicamente en tuberías, estas pérdidas se dan por el rozamiento del fluido con la superficie interna de la tubería. Si el diámetro interno del conducto es menor, las pérdidas de energía son mayores y viceversa.

- **Pérdidas menores de energía**

Este tipo de pérdidas se calcula mediante la Ecuación 6, donde únicamente varía el coeficiente de resistencia (k) que depende del factor de fricción, diámetro y longitud de cada accesorio. A continuación, se detalla las diferentes pérdidas de energía.

$$h_L = k * \frac{V^2}{2 * g}; \quad k = f * \left(\frac{Le}{D}\right) \quad Ec.6$$

h_L = Pérdidas por fricción (m)

k = Coeficiente de resistencia (m)

V = Velocidad promedio del fluido de la tubería de menor diámetro $\left(\frac{m}{s}\right)$

g = Gravedad $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

f = Factor de fricción

Le = Longitud equivalente (m)

D = Diámetro (m)

- **Pérdidas por contracción súbita**

Se da mediante la reducción de diámetro en una tubería como se muestra en la Figura 1.1, en donde el coeficiente de resistencia (k) depende de la relación de diámetros de las dos tuberías y de la velocidad de flujo. Mediante la Figura 1.2, se puede determinar el coeficiente (k).

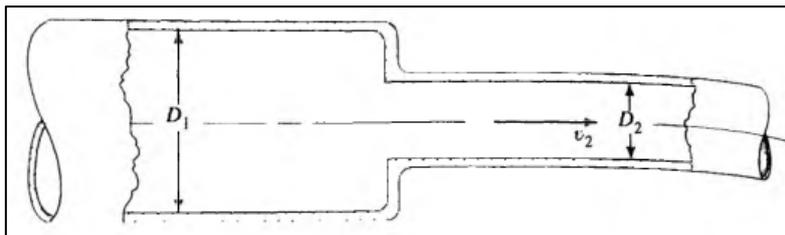


Figura 1.1 Contracción súbita, [9]

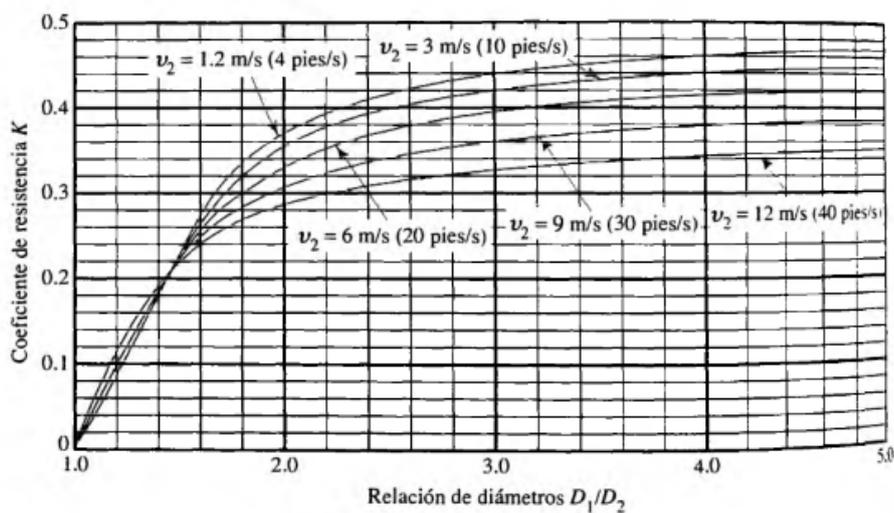


Figura 1.2 Coeficiente de resistencia- contracción súbita, [9]

- Pérdidas en la entrada

Es producido por el flujo del líquido desde un tanque grande a una tubería. Por la reducción de diámetro, el fluido debe obtener una velocidad relativamente grande con respecto a la velocidad del tanque [9], se considera el coeficiente de resistencia que se muestra en la Figura 1.3.

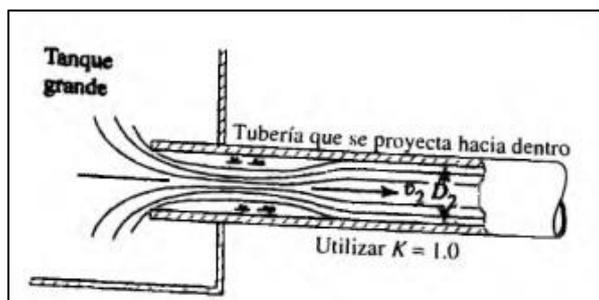


Figura 1.3 Pérdidas en la entrada, [9]

- **Pérdidas en accesorios y acoples**

Los accesorios están comprendidos entre válvulas, Tee's, codos, puntas móviles, uniones, etc. En este caso, el coeficiente de resistencia k depende del factor de fricción de cada accesorio, que se considera el valor calculado para las tuberías del mismo diámetro. En las Figura 1.4 y Figura 1.5, se muestra los accesorios en general con el respectivo valor del coeficiente de resistencia.

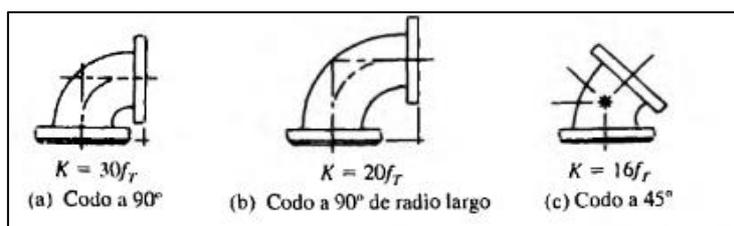


Figura 1.4 Codos, [9]

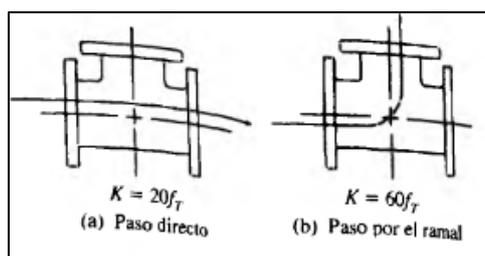


Figura 1.5 Tee's estándar, [9]

Además, para el control de flujo se usa válvulas tipo bola (Figura 1.6) que tiene como coeficiente de resistencia $k=150f_T$ [9], y para el acoplamiento de mangueras en el sistema de riego móvil, se usa puntas móviles hembra y macho como se muestra en la Figura 1.7.



Figura 1.6 Válvulas tipo bola, [10]



Figura 1.7 Puntas móvil, [10]

- **Materiales de tuberías de polietileno (PE) y policloruro de vinilo (PVC)**

El polietileno (PE) es el material más simple de los polímeros con una composición lineal y repetitiva de átomos de carbono e hidrógeno, se usa para materiales flexibles, mientras que, el policloruro de vinilo (PVC) surge a partir de la polimerización del cloruro de vinilo, se compone de cloruro de sodio, gas natural e incluyen cloro, hidrógeno y carbono. Este material es mucho más rígido que el PE, [9].

En la Tabla 1.2, se muestra las especificaciones de las mangueras utilizadas según la norma ASTM2239.

Tabla 1.2 Tuberías de polietileno para presión, [11]

Especificaciones para tuberías de polietileno para presión								
Diámetro interior controlado según norma ASTM 2239								
Diámetro		Tipo de PE BD: Baja densidad	Espesor Nominal	Diámetro exterior promedio	Presión de trabajo			Longitud del rollo
Nominal	Interior promedio				(psi)	(MPa)	($\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$)	
(pulg)	(mm)		(mm)	(mm)				(m)
1 ½	40.89	BD	3.14	47.69	57	0.39	4.01	100
2	52.50	BD	4.57	62.30	64	0.44	4.50	100
3	77.93	BD	5.99	90.71	57	0.39	4.04	50

- **Sistemas de riego**

Son los diferentes equipamientos y técnicas que cumplen el objetivo de riego mediante un método (la forma en que se aplica el agua en el suelo) [1]. Se pueden clasificar en:

- **Riego de superficie:** es un sistema de riego por inundación o sumersión, por ejemplo: riego en canteros de arroz.
- **Riego por aspersión:** se realiza mediante sistemas móviles por cañones, sistemas de lateral móvil, pivote o desplazamiento lineal.
- **Riego localizado:** riego por goteo, tubos perforados, por microaspersión, etc.

Para elegir los métodos de riego hay que considerar algunos factores importantes que se detallan en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3 Valores que favorecen a la elección del método de riego, [1]

Factores	Riego de superficie	Aspersión	Riego localizado
Precio del agua	Bajo	Medio	Alto
Suministro del agua	Irregular	Regular	Continuo
Disponibilidad del agua	Abundante	Media	Limitada
Pureza del agua	No limitante	Sin solidos	Elevada
Capacidad de infiltración del suelo	Baja a media	Media a alta	Cualquiera
Capacidad de almacenamiento del suelo	Alta	Media a baja	No limitante
Topografía	Plana y uniforme	Relieve suave	Irregular
Sensibilidad al déficit hídrico	Baja	Moderada	Alta
Valor de la producción	Bajo	Medio	Alto
Coste de la mano de obra	Bajo	Medio	Alto
Coste de la energía	Alto	Bajo	Moderado
Disponibilidad del capital	Baja	Media a alta	Alta
Exigencia en tecnología	Limitada	Media a alta	Elevada

- **Aspersores**

El aspersor es el actuador del sistema de riego, del cual se procede a obtener los datos correspondientes para los requerimientos y cálculos de tuberías. En la Tabla 1.4, se muestra las características técnicas del aspersor Jolly 1 ¼ (pulg).

Tabla 1.4 Características técnicas del aspersor Jolly 1 ¼ (pulg), [10]

Diámetro de tobera (mm)	Presión (Atm)	Chorro (m)	Capacidad	
			(l/m)	(m³/h)
8 4	1.5	16.5	62	3.7
	2	17.5	71	4.2
	3	19.5	87	5.2
	4	21	100	6.0
9 4	1.5	17	76	4.5
	2	18	88	5.3
	3	20	107	6.4
	4	21.5	124	7.4
10 4	2	19	106	6.4
	3	21	130	7.8
	4	22.5	151	9.0
	5	23.5	170	10.2
12 4	2	21	149	8.9
	3	23.5	182	10.9
	4	26	211	12.6
	5	28	236	14.2
14 4	2	22.5	197	11.8
	3	24	241	14.4
	4	27	278	16.7
	5	29	311	18.6

2. METODOLOGÍA

2.1. Técnica de investigación

La ejecución del proyecto se basó en la investigación aplicada, que se define como la innovación técnica e industrial que se argumenta de información confiable, misma que tiene como objetivo generar conocimientos con aplicación directa en la sociedad y en el sector productivo, misma que proviene de la investigación básica. De esta manera se genera riquezas por el progreso del sector productivo y agrícola, dando como resultado un aumento del nivel de vida de la sociedad y creando más plazas de trabajo. [7]

En el presente proyecto se aplicaron conocimientos adquiridos en la carrera de Electromecánica, por ejemplo: ecuación general de la energía, flujo interno en tuberías, propiedades de líquidos, entre otros. Como resultado, se optimizó el tiempo de riego en la hacienda.

2.2. Técnicas e instrumentos empleados en la ejecución del proyecto

En el desarrollo del proyecto se utilizó información técnica y confiable que solvente los inconvenientes de diseño mediante normas y principios, que aseguren una implementación eficiente y que cumpla con todos los requerimientos necesarios del sistema.

En la Figura 2.1, se observa la metodología usada para el desarrollo del proyecto. En primer lugar, se determinaron los parámetros de funcionamiento en base a la cantidad y el caudal de los aspersores, así como también, el máximo admisible de pérdidas de energía para la distribución de línea crítica del sistema, que se utilizó posteriormente en el dimensionamiento. Se realizó un análisis del estado del tanque reservorio y la red de tuberías fijas que contiene el sistema de riego antiguo.

Se calcularon las pérdidas de energía mayores y menores en la distribución de línea crítica de los dos sistemas, tomando en cuenta las propiedades del agua a 20 (°C) (temperatura ambiente), se utilizaron las referencias bibliográficas [8] y [9]. Posteriormente, se realizó el diseño del sistema de riego móvil para cada terreno.

Se determinaron las tuberías, accesorios y demás elementos a instalar, que sean medianamente económicos y fiables, Posterior a eso, se implementaron las tuberías fijas que están soterradas y se armaron las tuberías móviles con dimensiones previamente

calculadas. Por último, se realizaron las pruebas de funcionamiento en base a la presión y caudal de cada aspersor.

Se realizó el manual de uso y mantenimiento tanto del antiguo como del nuevo diseño de riego, así como también, el uso del tanque reservorio y sus tiempos de operación.



Figura 2.1 Esquema de la metodología usada en el proyecto.
(Fuente Propia)

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. Tanque reservorio de agua y sistema de riego antiguo

El tanque reservorio de agua se encontró en buenas condiciones de operación, sin embargo, se realizó una limpieza correspondiente de las impurezas del agua generadas por el estancamiento, debido a la inactividad de riego por la época de invierno. El tanque reservorio al ser de hormigón armado, es propenso a que se forme capas de suciedad en las paredes produciendo daños que afectan al paso del tiempo.

En la Figura 3.1, se muestra el suministro de agua para el tanque reservorio que se da mediante una tubería de PVC de 4 (pulg), además, tiene una tubería de desagüe de 3 (pulg) que se aprovechó oportunamente para realizar la alimentación para el nuevo diseño, esto se realizó para evitar romper el cemento.

En la Figura 3.2, se muestra las tuberías de salidas: una dedicada a un sistema de riego para terrenos de otros propietarios, y la otra salida, para alimentación del sistema de riego antiguo de la hacienda Freire.



Figura 3.1 Tubería de suministro de agua del tanque reservorio y desfogue
(Fuente Propia)



Figura 3.2 Tuberías de alimentación para el sistema de riego antiguo
(Fuente Propia)

El volumen máximo que se obtiene del tanque reservorio es de 80 (m^3). En la Figura 3.3, se muestra el estado del tanque reservorio con las dimensiones correspondientes.



Figura 3.3 Estado y dimensiones del tanque reservorio
(Fuente Propia)

El uso del tanque reservorio está dado en función de los turnos correspondientes que proporciona la junta de agua del caserío Hipolongo 4 Esquinas del cantón Quero. El caudal de agua utilizado para el sistema de riego es aproximadamente de 30 (m^3/h), este caudal es variable debido a que la vertiente que proporciona el agua depende de la humedad del cerro perteneciente. Los turnos de agua que pertenecen a la hacienda Freire se detallan en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Cronograma de turnos de agua de regadío

Día	Horario
LUNES	12:00 (h) - 15:00 (h)
MARTES	-
MIÉRCOLES	-
JUEVES	12:00 (h) - 17:00 (h)
VIERNES	-
SÁBADO	09:00 (h) - 12:00 (h)
DOMINGO	-

(Fuente Propia)

Las tuberías fijas del sistema se encontraban en buenas condiciones de operación, así como los accesorios, por ejemplo, en la Figura 3.4, se muestra la válvula de control en el tanque reservorio conectada a la red de tuberías fijas que están soterradas.

**Figura 3.4** Válvula de control para sistema de riego antiguo
(Fuente Propia)

En las tomas de conexión fijas, los accesorios se encontraban desgastados y en condiciones inseguras como se muestra en la Figura 3.5.



Figura 3.5 Estado de la toma de conexión fija del sistema antiguo
(Fuente Propia)

El sistema de tuberías móviles se encontró deteriorado, pero en buenas condiciones de funcionamiento, las tuberías tienen un estado funcional adecuado, debido a que cada vez que se utiliza, se procede a desarmar y guardar para evitar daños por terceras personas o cambios climáticos. En la Figura 3.6, se muestra el estado del sistema móvil.



Figura 3.6 Estado del sistema de tuberías móviles
(Fuente Propia)

3.2. Parámetros de funcionamiento

Los requerimientos del sistema se basan en la necesidad de la hacienda Freire para optimizar el tiempo de riego, entonces, se determinó que se requiere lo siguiente:

- Se debe trasladar el agua desde el tanque reservorio hasta los terrenos correspondientes mediante tuberías soterradas (1.5 (m) de profundidad), en la Figura 3.7, se muestra la ubicación geográfica y la longitud de traslado del agua (denotado con línea entrecortada de color roja).
- El sistema de riego debe abastecer con el caudal suficiente para regar tres aspersores al mismo tiempo. Para estudiar este requerimiento se debe implementar un nuevo sistema de tuberías fijas y móviles que abastece dos aspersores a la vez.
- El tanque reservorio de 80 (m³) (volumen máximo), debe abastecer el agua al sistema de riego mediante un tiempo de aproximadamente 3 (h), sin embargo, cuando existe entrada de agua, el tiempo máximo debe ser de 5 a 6 (h).
- Se debe realizar el sistema de riego para todos los terrenos de la hacienda Friere, para que el operario pueda instalar rápidamente las tuberías móviles. Además, el diseño de riego debe ser uniforme y coordinado en el tiempo.
- Se debe construir estructuras pequeñas de hormigón simple para las tomas de conexión entre las tuberías fijas y móviles.
- Se debe armar las mangueras en medidas estándares de 20, 23, 25 (m), así como también, tubos de PVC de 3, 4, 5, 6 (m) de acuerdo al diseño de riego, para evitar tener uniones innecesarias que produce pérdidas de presión. Además, se debe realizar el análisis de las tuberías y accesorios que formarán parte del sistema de manera que sean eficientes y medianamente económicas.
- Se debe fabricar estacas de metal o madera para sujetar los aspersores de manera firme y que tengan un peso considerable para trasladar con facilidad. Los aspersores deben ser de un tamaño considerable (1.5 (m)) que sobresalga en la plantación de productos de cada terreno.
- El caudal mínimo por aspersor con toberas de 4 y 12 (mm) debe ser de 8.9 (m³/h) a una presión de 29.39 (Psi) o 202.65 (kPa).
- El sistema de riego debe contar con las protecciones necesarias tanto físicas como funcionales cuando el sistema no esté en operación.
- El tiempo de riego de cada aspersor debe estar en función del área de aspersión, es decir, cuando el aspersor cubre los 360 (°), el tiempo debe ser de 1 o 2 (h) dependiendo de la humedad del suelo; cuando cubre los 180 (°), el tiempo debe ser de 30 (min) o 1 (h) respectivamente, así sucesivamente.
- Se debe realizar un manual de uso que explique el diseño, construcción y mantenimiento adecuado de todas las partes del sistema de riego fijo y móvil.



Figura 3.7 Ubicación geográfica de los terrenos y el tanque reservorio.
(Fuente Propia)

- La hacienda Freire debe mantener en operación los dos sistemas de riego (antiguo y nuevo diseño), además, deben ser totalmente independientes el uno del otro. En la Figura 3.8, se muestra cómo está estructurado cada sistema.

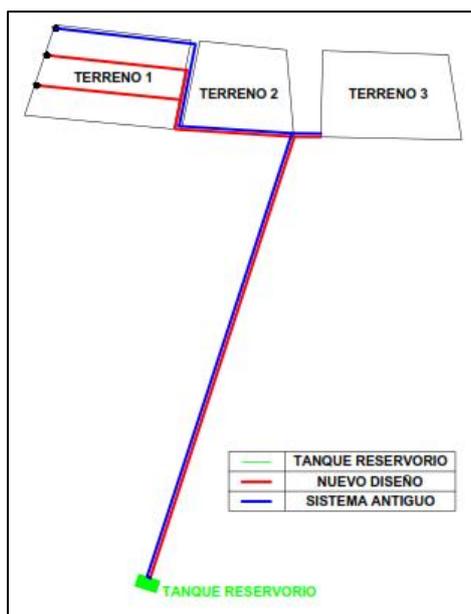


Figura 3.8 Estructura del sistema de riego antiguo y nuevo diseño
(Fuente Propia)

- El nuevo diseño de riego debe optimizar el tiempo y los recursos del sistema antiguo, por lo tanto, en la Tabla 3.2, se explica las características principales del antes y el después del método de riego.

Tabla 3.2 Características principales del antes y el después de los sistemas de riego

Antes (Sistema de riego antiguo)	Después (Sistema antiguo y nuevo diseño)
<ul style="list-style-type: none"> - El tiempo de riego en una hectárea de terreno era aproximadamente de 12 (h). - Se utilizaban accesorios y tuberías móviles de 1 ½ (pulg) y 2 (pulg). - Se utilizaba 1 aspersor a la vez. - No contaba con seguridad para el sistema de tuberías fijas. 	<ul style="list-style-type: none"> - El tiempo de riego en una hectárea es de aproximadamente 4 (h). - Se utiliza los mismos accesorios y tuberías que se tenía y comprar lo necesario. - Se utiliza 3 aspersores a la vez. Un aspersor con el antiguo sistema y dos con el nuevo diseño. - Se realiza protecciones para cambios climáticos y terceros en tomas de conexión fija y para el tanque reservorio.

(Fuente Propia)

3.3. Dimensionamiento del sistema

Se realizó el levantamiento topográfico de los terrenos de la hacienda Friere, se tomó como referencia la aplicación de Google Earth. El dimensionamiento se muestra en el Anexo A, en donde se detalla las características y dimensiones de los terrenos, tanque reservorio y la longitud que recorre el sistema de tuberías fijas.

En general, el diseño del sistema de riego está estructurado en el sistema de tuberías fijas y sistema de tuberías móviles. En la Figura 3.9, se muestra las tuberías fijas del sistema antiguo y del nuevo diseño denotadas con líneas entrecortadas, que deben trasladar el agua hacia las tomas de conexión fijas en cada terreno.

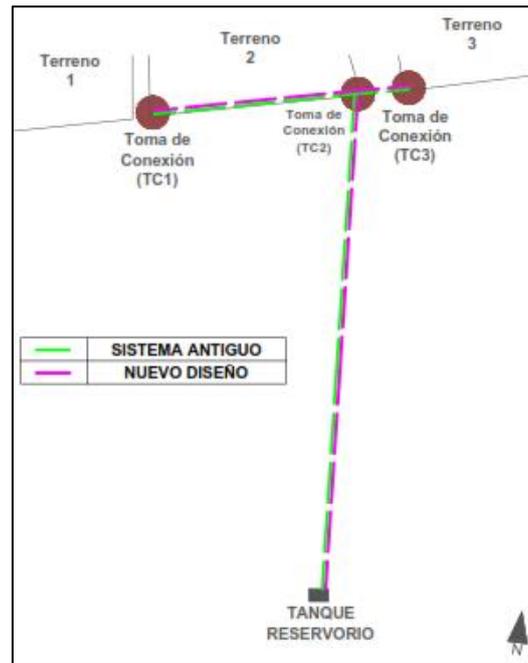


Figura 3.9 Tuberías fijas y tomas de conexión
(Fuente Propia)

Las tuberías móviles tienen como función principal, trasladar y direccionar el flujo de agua hacia los aspersores, por lo tanto, se debe armar y desarmar las tuberías de acuerdo al diseño de riego. En la Figura 3.10, se muestra un ejemplo de cómo está estructurado las tuberías del sistema antiguo y el nuevo diseño en dos posiciones diferentes.

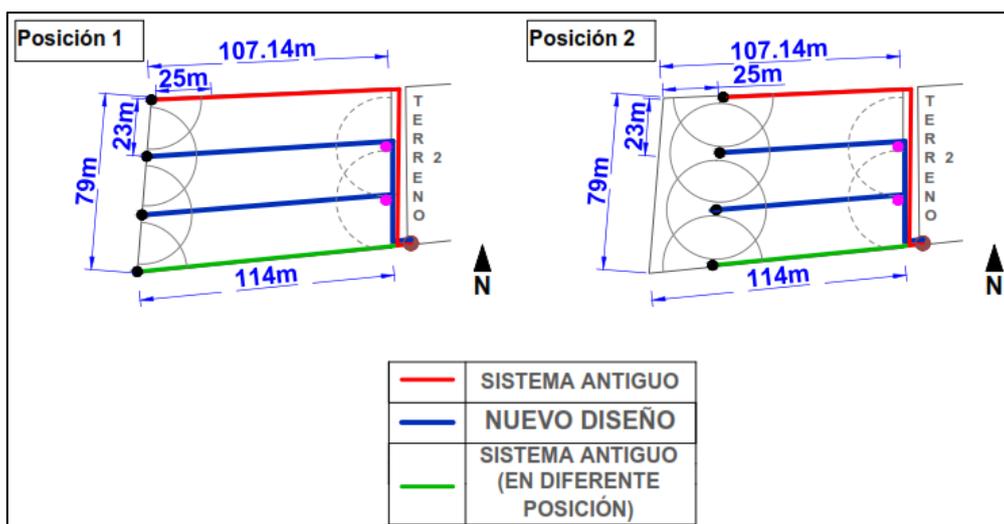


Figura 3.10 Dimensionamiento de las tuberías móviles
(Fuente Propia)

Para realizar los cálculos y dimensionamientos del sistema, se determinó la velocidad de salida de cada aspersor, tomando en cuenta el caudal mínimo de 8.9 (m³/h) (dato obtenido de la Tabla 1.4). Se aplicó el principio de continuidad mediante la Ecuación 1, donde el área es la suma de los dos diámetros de las salidas del aspersor (toberas de 12 y 4 (mm)) como se muestra a continuación.

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{8.9 * \frac{1}{3600}}{\frac{\pi}{4} (0.012^2 + 0.004^2)} = 19.67 \left(\frac{m}{s}\right)$$

Por lo tanto, el máximo admisible de pérdidas de presión en tuberías y accesorios se determinó tomando dos puntos de comparación para aplicar la Ecuación 2 (Ecuación general de la energía); en la Figura 3.11, se muestra el tanque reservorio como el punto 1 y el punto 2 como la salida de agua del aspersor ubicado en los terrenos (nivel de referencia). Además, se detalla la diferencia de alturas existentes en cada punto de los terrenos y el tanque reservorio.

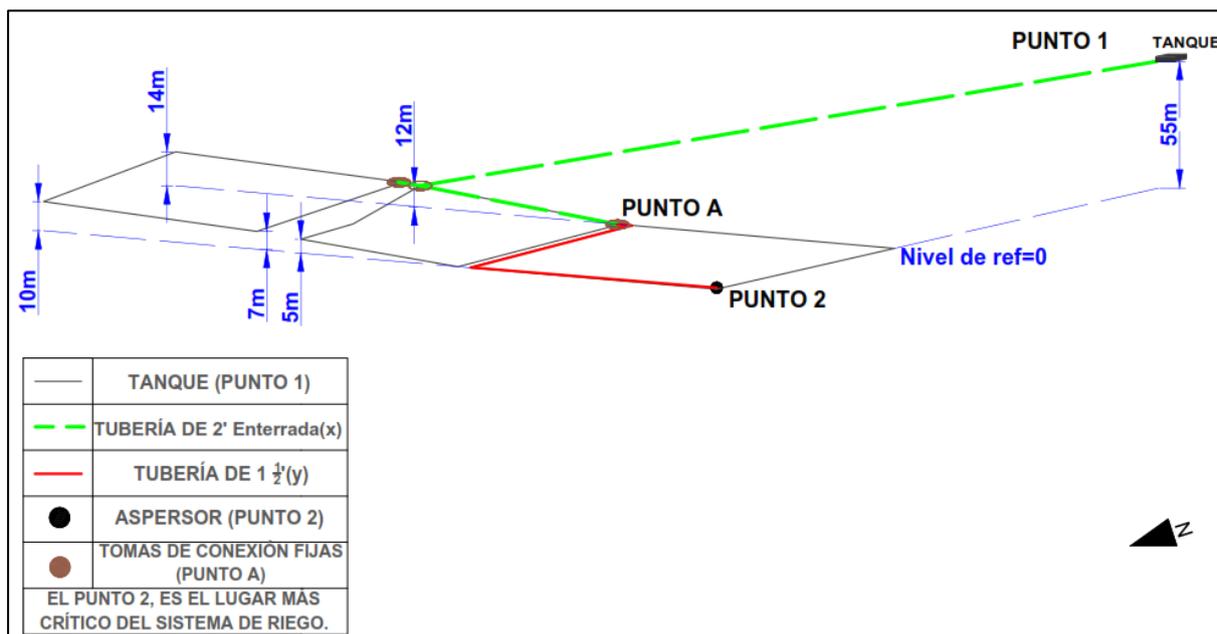


Figura 3.11 Línea crítica del sistema de riego antiguo
(Fuente Propia)

A continuación, se muestran los cálculos para determinar el máximo admisible de pérdidas de presión para que el sistema de riego se pueda dar por gravedad, tomando en cuenta los siguientes parámetros que se concluye en base a la Figura 3.11:

- $P_1 = P_2$, debido a que los dos puntos están a presión atmosférica.
- $V_1 \approx 0$ (m/s), es la velocidad de vaciado del tanque reservorio.
- V_2 = la velocidad de salida del fluido en aspersor.
- $w_{Bomba}; w_{Turbina} = 0$, debido a que no existe trabajo por bomba ni por turbina.
- $z_1 = 55$ (m), Altura del tanque reservorio; $z_2 = 0$ (m), es el punto de referencia.

Despejando de la Ecuación 2, el máximo admisible de pérdidas de presión es igual a:

$$h_L = z_1 - \frac{V_2^2}{2 * g} = 55 - \frac{(19.67)^2}{2 * (9.81)}$$

$$h_L = 35.27 \text{ (m)}$$

En los Anexos B y C, se muestra de forma ampliada la línea crítica para el sistema antiguo y el nuevo diseño respectivamente.

- **Sistema de tuberías fijas**

Para determinar el diámetro de las tuberías fijas del nuevo diseño, se partió definiendo el caudal mínimo que es de 17.8 (m³/h), debido a que son dos aspersores a la vez con un caudal de 8.9 (m³/h) cada uno.

La velocidad promedio para el transporte de agua por tuberías de presión es de 2 (m/s) (tomado de la referencia [12]), para evitar formación de depósitos y pérdidas excesivas de presión, debido a que si la velocidad aumenta, existe mayor fricción. Por lo tanto, considerando la Ecuación 1, se determina el diámetro promedio de la tubería:

$$D = \sqrt{\frac{\left(17.8 * \frac{1}{3600}\right) * 4}{\pi * 2}}$$

$$D = 0.056 \text{ (m)}$$

Entonces, el diámetro calculado se aproxima a una tubería de 3 (pulg) que se detalla en la Tabla 3.3, además, se muestra las características y dimensiones de las tuberías de los dos sistemas. En el Anexo D, se muestra el diseño de las tuberías fijas de los dos sistemas, en el cual se detalla las dimensiones y nomenclaturas de las tomas de conexión fijas, mangueras y terrenos.

Tabla 3.3 Dimensiones de tuberías fijas

Descripción de sistema	Tubería		ÁREA transv. (m ²)	Longitud desde tanque a toma (TC2) (m)	Longitud de toma (TC2) a toma (TC1) (m)	Longitud de toma (TC2) a toma (TC3) (m)
	(Pulg)	(mm)				
Actual	2	52.50	0.00216	323	88	19
Nuevo diseño	3	77.93	0.00476	323	88	19

(Fuente Propia)

- **Sistema de tuberías móviles**

Mediante la Ecuación 1, se realiza el cálculo del diámetro para las tuberías móviles del nuevo diseño, por lo tanto, el caudal mínimo que se traslada en esta sección es de 8.9 (m³/h), y la velocidad aproximada es de 2 (m/s) (tomado de la referencia [12]), por lo tanto el diámetro es igual a:

$$D = \sqrt{\frac{\left(8.9 * \frac{1}{3600}\right) * 4}{\pi * 2}}$$

$$D = 0.0396 \text{ (m)}$$

Por ende, el diámetro calculado se aproxima a una tubería de 1 ½ (pulg), pero el rango de tolerancia es muy bajo, así que se consideró una tubería de 2 (pulg). En la Tabla 3.4, se detalla las dimensiones de las mangueras y tubos estándares.

Tabla 3.4 Dimensiones de tuberías móviles

Descripción de sistema	Diámetro de tubería		Longitud de mangueras (m)	Longitud de Tubos (m)
	(pulg)	(mm)		
Antiguo	1 1/2	40.89	20.25	3, 4, 5, 6
	2	52.50	23.25	-
Nuevo diseño	2	52.50	23.25	-

(Fuente Propia)

Este sistema se basa en armar y desarmar (tipo lego) las mangueras de longitudes estándares mediante acoples roscables, codos, Tee's y válvulas de bola o de paso según la necesidad en cada terreno. Por ejemplo, en la posición 1 de la Figura 3.12, se muestra la

distribución de las tuberías del sistema antiguo y nuevo diseño conectados a los aspersores en la parte más lejana del terreno, cuando estos aspersores cumplen el tiempo de riego, se procede a desarmar el sistema de tuberías que se muestran en rojo en la posición 1 y se ubican en las siguientes partes del terreno (como se muestra en verde en la posición 2).

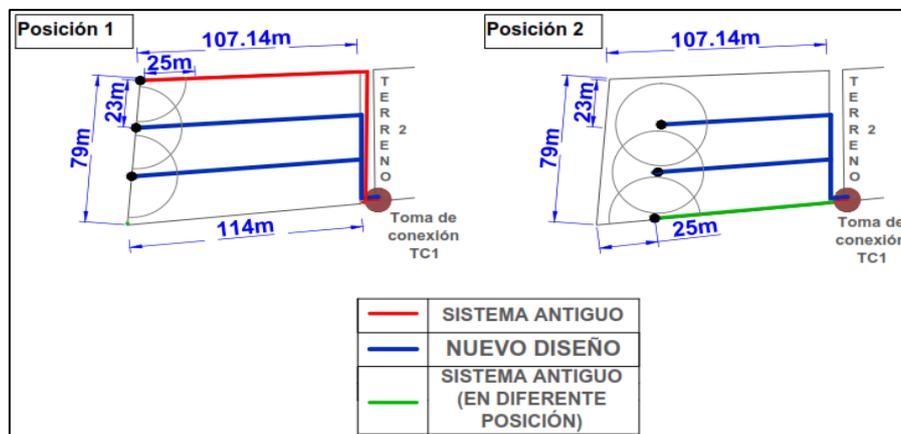


Figura 3.12 Esquema de cambio de posición de las tuberías móviles (Fuente Propia)

Debido a que la hacienda Freire cuenta con terrenos aproximadamente rectangulares, se realizó el diseño de mangueras de dos tamaños diferentes y tubos de PVC, que sirven para complementar el sistema en caso de tener mayor longitud en los diferentes puntos del terreno.

Las tuberías móviles inician en la toma de conexión fija y termina en los puntos de aspersión. Las tomas de conexión están ubicadas en cada terreno, en las cuales existen dos válvulas tipo bola respectivamente para cada sistema de riego. El diseño se realizó para cada terreno: en el Anexo E se muestra el diseño para el terreno 1, en el Anexo F para el terreno 2 y en el Anexo G para el terreno 3.

- **Cálculo de pérdidas de energía**

Para mencionar en los siguientes cálculos, en la Figura 3.13, se muestra el esquema de los sistemas de riego antiguo y el nuevo diseño con su respectiva nomenclatura, mientras que en la Tabla 3.5, se detalla el nombre de los componentes respectivamente.

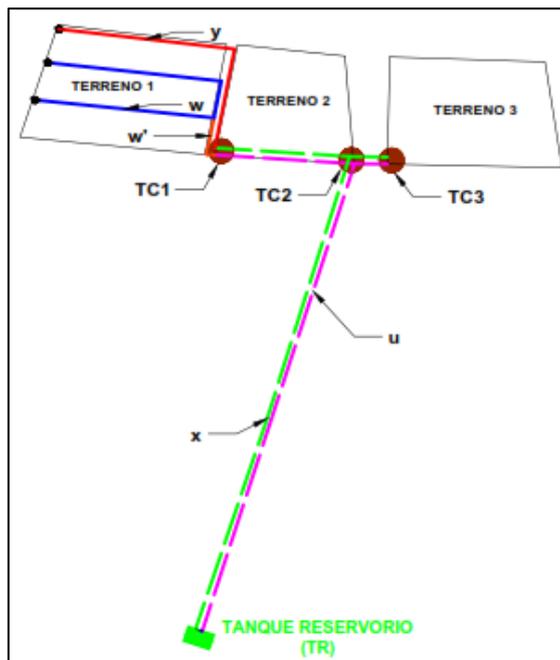


Figura 3.13 Nomenclatura de los componentes del sistema de riego (Fuente Propia)

Tabla 3.5 Nomenclatura de los componentes del sistema

Componentes del sistema	Nomenclatura
Tanque Reservorio	TR
Terreno 1	-
Terreno 2	-
Terreno 3	-
Toma de conexión fija 1	TC1
Toma de conexión fija 2	TC2
Toma de conexión fija 3	TC3
Sistema antiguo	
Tubería soterrada de 2 (pulg)	x
Tubería de 1 ½ (pulg)	y
Nuevo Sistema	
Tubería soterrada de 3 (pulg)	u
Tubería independiente de 2 (pulg)	w
Tubería móvil de conexión entre la toma fija y derivación para los dos aspersores	w'

(Fuente Propia)

Por lo tanto, tomando como referencia la Ecuación 1, el caudal mínimo seleccionado ($8.9 \text{ (m}^3/\text{h)} = 0.0024722 \text{ (m}^3/\text{s)}$) y el área transversal de cada tubería (tomado de la Tabla 1.2), se calculó la velocidad de los fluidos en cada tubería de los dos sistemas como se expresa a continuación:

- **Sistema antiguo**

$$V_x = \frac{Q}{A} = \frac{0.0024722}{\pi * \frac{0.0525^2}{4}} = 1.14 \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$V_y = \frac{0.0024722}{\pi * \frac{0.04089^2}{4}} = 1.88 \left(\frac{m}{s} \right)$$

- **Nuevo diseño**

$$V_u = \frac{2 * (0.0024722)}{\pi * \frac{0.07793^2}{4}} = 1.036 \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$V_w = \frac{0.0024722 \frac{m^3}{s}}{\pi * \frac{0.0525^2}{4}} = 1.14 \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$V_{w'} = \frac{2 * (0.0024722)}{\pi * \frac{0.0525^2}{4}} = 2.28 \left(\frac{m}{s} \right)$$

A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo de pérdidas mayores. Se realiza para la tubería (x) del sistema antiguo, por ende, se parte determinando el número de Reynolds (Ecuación 3) considerando las propiedades del fluido vistas en la Tabla 1.1, características de la tubería (Tabla 1.2) y la velocidad del fluido ($V_x = 1.14 \left(\frac{m}{s} \right)$).

$$Re_x = \frac{1.14 * 0.0525 * 998}{0.00102} = 58559; \text{ Flujo turbulento}$$

Posteriormente, se calcula el factor de fricción (Ecuación 4) tomando en cuenta el valor de la rugosidad del plástico de 0.02 (mm) y el diámetro de la tubería (0.0525 (m)).

$$f_x = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7 * \left(\frac{0.0525}{0.00002} \right)} + \frac{5.74}{58559^{0.9}} \right) \right]^2} = 0.021$$

Por último, se calculan las pérdidas de energía (Ecuación 5) considerando la longitud de la tubería.

$$h_{L-x} = 0.0216 * \frac{411}{0.0525} * \frac{(1.14)^2}{2 * 9.81} = 11.24 \text{ (m)}$$

En la Tabla 3.6, se muestran los cálculos de pérdidas de energía para todas las tuberías del sistema antiguo.

Tabla 3.6 Pérdidas de tuberías en el sistema antiguo

PÉRDIDAS EN TUBERÍAS								
Tubería		Re	Flujo	Rugosidad del plástico (E)	Rugosidad relativa (D/E)	Factor de fricción	Pérdidas de energía (h _L)	
Diámetro (D)	Lon (L)							
	(mm)	(m)	-		(mm)	-	-	(m)
x	52.5	411	58565	Turbulento	0.00002	2625	0.0216	11.24
y	40.8	182	75322	Turbulento		2045	0.021	17.027
							Pérdidas totales	28.267

(Fuente Propia)

En la Tabla 3.7, se muestra los cálculos de pérdidas de energía del nuevo diseño, se considera dos ramales de tuberías de 2 (pulg) (tubería w) de diferente longitud, debido a que se tiene dos aspersores en distintas posiciones como se muestra en la línea crítica denotado en la Figura 3.14.

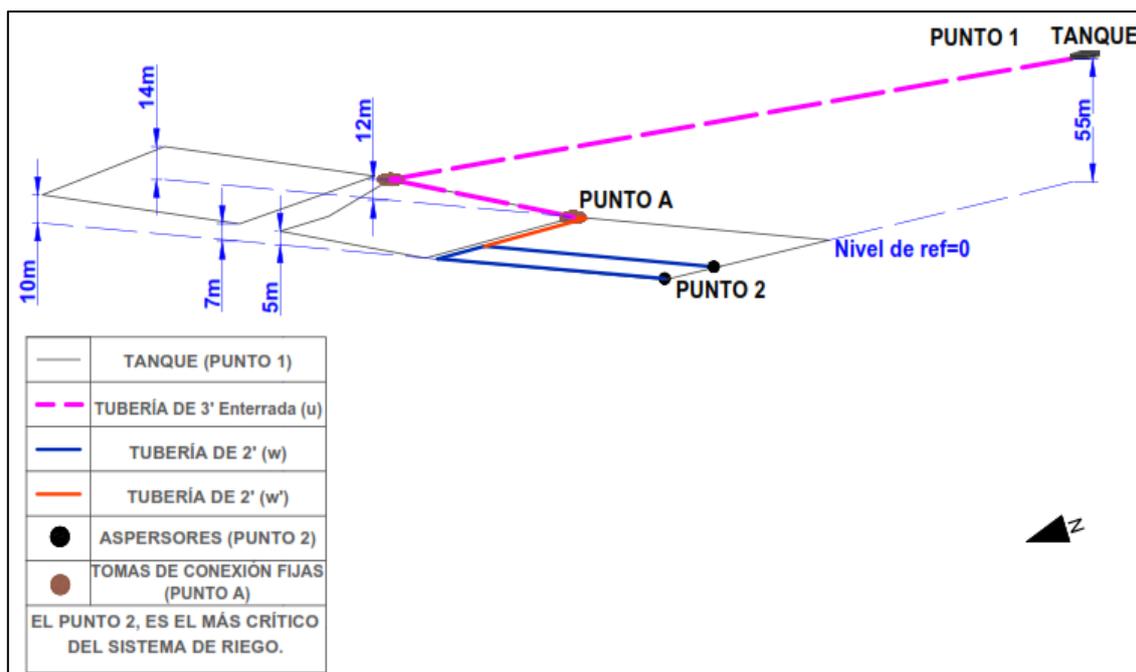


Figura 3.14 Línea crítica del nuevo diseño
(Fuente Propia)

Tabla 3.7 Pérdidas en tuberías del nuevo diseño

PÉRDIDAS EN TUBERÍAS									
Tubería		Re	Flujo	Rugosidad del plástico	Rugosidad relativa (D/E)	Factor de fricción	Pérdidas de energía (h_L)		
Diámetro (D)	Lon (L)								
	(mm)	(m)	-	(mm)	-	-	(m)		
u	77.9	411	79043	Turbulento	0.02	3897	0.020	5.79	
w	52.5	107	58665	Turbulento		2625	0.0216	2.926	
w	52.5	130	58665	Turbulento		2625	0.0216	3.56	
w'	52.5	53	11733	Turbulento		2625	0.019	5.22	
Pérdidas totales								17.496	

(Fuente Propia)

Para calcular las pérdidas menores, se determinó la cantidad de accesorios utilizados en cada sistema. Por lo tanto, en la Tabla 3.8 y Tabla 3.9, se detalla las características para el sistema antiguo y nuevo diseño respectivamente en base a los datos técnicos estudiados en los fundamentos teóricos.

Tabla 3.8 Características de los accesorios del sistema antiguo

	Tubería x	Tubería y	(Le/D)	Factor de fricción (f)
Codos	2	3	30	0.021
Tee's	1	2	60	
Válvulas	3	2	150	
Uniones	4	11	10	

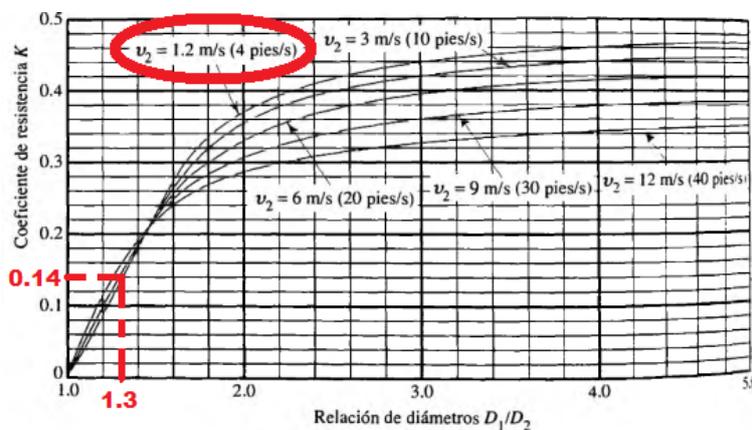
(Fuente Propia)

Tabla 3.9 Características de los accesorios del nuevo diseño

	Tubería u	Tubería w	Tubería w'	(Le/D)	Factor de fricción (f)
Codos	4	1	2	30	Tubería u, w' 0.019
Tee's	3	1	2	60	
Válvulas	2	2	1	150	Tubería w 0.021
Uniones	6	12	5	10	

(Fuente Propia)

Como ejemplo de cálculo de pérdidas menores se considera la tubería (x) del sistema antiguo. Para calcular las pérdidas por contracción súbita, se determina el coeficiente de resistencia mediante la Figura 3.15, se considera la velocidad del fluido (aproximadamente de 1.2 (m/s)) y la relación de diámetros (1.3). Posteriormente, se determina las pérdidas de energía mediante la Ecuación 6.

**Figura 3.15** Ejemplo para determinar el coeficiente de resistencia (Realizado a partir de: [9])

$$h_L = 0.14 * \frac{1.88^2}{2 * 9.81} = 0.025 \text{ (m)}$$

Para calcular las pérdidas en la entrada, se toma el valor del coeficiente de resistencia igual a 1 como se estudió en los fundamentos teóricos, por lo tanto, aplicando la Ecuación 6, se determina:

$$h_L = 1 * \frac{1.14^2}{2 * 9.81} = 0.066 \text{ (m)}$$

Para determinar las pérdidas en accesorios, primero, se calcula el valor del coeficiente de resistencia mediante la Ecuación 6 y los valores mencionados en la Tabla 3.8, entonces:

$$k = (0.021) * ((2 * 30) + (1 * 60) + (3 * 150) + (4 * 10)) = 12.81$$

$$h_L = 12.81 * \frac{1.14^2}{2 * 9.81} = 0.85 \text{ (m)}$$

En la Tabla 3.10 y Tabla 3.11, se muestra los cálculos de pérdidas menores para el sistema antiguo y el nuevo diseño respectivamente.

Tabla 3.10 Pérdidas menores del sistema antiguo

Pérdidas por contracción súbita		Pérdidas en la entrada		Pérdidas en accesorios		
k	h _L	k	h _L		k	h _L
-	(m)	-	(m)		-	(m)
0.14	0.025	1	0.066	Tubería x	12.81	0.85
				Tubería y	13.02	2.35
				Total		
						3.2

(Fuente Propia)

Tabla 3.11 Pérdidas menores del nuevo diseño

Pérdidas por contracción súbita		Pérdidas en la entrada		Pérdidas en accesorios		
k	h_L	k	h_L		k	h_L
-	(m)	-	(m)		-	(m)
0.22	0.059	1	0.055	Tubería u	12.54	0.68
				Tubería w	10.71	0.712
				Tubería w'	7.22	1.92
				Total		3.312

(Fuente Propia)

En resumen, la suma de todas las pérdidas de energía de los dos sistemas se representa en la Tabla 3.12.

Tabla 3.12 Pérdidas de energía total

	Pérdida de energía total (h_L)
Sistema antiguo	31.56 (m)
Nuevo diseño	20.92 (m)

(Fuente Propia)

Por lo tanto, se puede definir como sistemas eficientes y que pueden funcionar por gravedad, debido a que no superan el máximo admisible de pérdidas de energía previamente calculado ($h_L=35.27$ (m)) en la sección 3.3 (Dimensionamiento del sistema).

3.4. Selección de componentes

Todos los componentes utilizados en los sistemas tanto como el antiguo y el nuevo diseño se detallan a continuación:

- **Tuberías**

En la Tabla 3.13, se detalla las tuberías que se utilizó y su descripción gráfica.

Tabla 3.13 Tuberías seleccionadas

Descripción	CANTIDAD		
	1 ½ (pulg)	2 (pulg)	3 (pulg)
MANGUERAS Y TUBOS PVC			
Manguera flex de 3 (pulg) (rollos 50 (m))	-	-	9
Manguera flex de 2 (pulg) (rollos de 100 (m))	-	2	-
Manguera de 1 ½ (pulg) (rollos de 100 (m))	3	-	-
Tubo de presión PVC	6	2	1
Gráfico de mangueras			
			
Gráfico de tubos			
			

(Fuente Propia)

- **Accesorios, válvulas y aspersores**

En la Tabla 3.14, se describe los accesorios que se utilizó en los dos sistemas de riego y su descripción gráfica.

Tabla 3.14 Accesorios seleccionados

Descripción	CANTIDAD			Gráfico
	1 ½ (pulg)	2 (pulg)	3 (pulg)	
ACCESORIOS				
Unión flex 1 ½ (pulg), 2 (pulg), 3 (pulg)	10	10	10	

Descripción	CANTIDAD			Gráfico
	1 ½ (pulg)	2 (pulg)	3 (pulg)	
Abrazaderas metálicas 1 ½ (pulg), 2 (pulg), 3 (pulg)	15	15	20	
Adaptador hembra 1 ½ (pulg), 2 (pulg), 3 (pulg)	20	20	5	
Unión pegable PVC 1 ½ (pulg), 2 (pulg), 3 (pulg)	20	20	5	
Neplo roscado 3 (pulg)	-	-	4	
Neplo reductor roscado 3 (pulg) a 2 (pulg)	-	3		
Punta macho móvil 50 (mm)	-	20	-	
Punta hembra móvil 50 (mm)	-	20	-	
Neplo Flex 1 ½ (pulg), 2 (pulg), 3 (pulg)	20	20	6	

Descripción	CANTIDAD			Gráfico
	1 ½ (pulg)	2 (pulg)	3 (pulg)	
				
Codo 90° PVC 1 ½ (pulg), 2 (pulg), 3 (pulg)	2	10	7	
Tee PVC 1 ½ (pulg), 2 (pulg), 3 (pulg)	2	2	2	
Tee doble galvanizada	-	1	-	
VÁLVULAS				
Válvula universal PVC 2 (pulg), 3 (pulg)	-	3	2	
Válvula de bola PVC 1 ½ (pulg), 2 (pulg)	4	5	-	
Válvula de bola metal 2 (pulg)	-	3	-	
ASPERSORES				

Descripción	CANTIDAD			Gráfico
	1 ½ (pulg)	2 (pulg)	3 (pulg)	
Aspersor jolly 1 ¼ (pulg)	6			

(Fuente Propia)

3.5. Implementación del sistema

El sistema de riego básicamente consta de dos conjuntos, las tuberías fijas y móviles; las tuberías fijas están comprendidas desde el tanque reservorio hasta cada una de las tomas de conexión y estas están enterradas a 1.5 (m) de profundidad por canales diferentes. Mientras que, las tuberías móviles son piezas de mangueras o tubos con puntas móviles de acoples hembra y macho en cada terminal, con la finalidad de poder armar y desarmar como se plantea en el diseño del sistema.

Además, la implementación completa fue del nuevo sistema, mientras que, el sistema antiguo, se realizó mantenimiento y reparación en válvulas, tuberías, acoples entre otros accesorios deteriorados.

- **Tuberías fijas**

El sistema de tuberías fijas se conecta al tanque reservorio a una válvula de bola que tiene como finalidad controlar del flujo principal de agua. En la Figura 3.16, se muestra dicha conexión con salida de la tubería de 2 (pulg) para el sistema de riego antiguo.



Figura 3.16 Válvula de bola de 2 (pulg) a la salida del tanque reservorio
(Fuente Propia)

El tanque reservorio fue construido con dos tuberías de salida de 2 (pulg) como se muestra en la Figura 3.2, y una tubería de desagüe con diámetro de 3 (pulg) que en esta circunstancia se usó para la implementación del nuevo diseño. En la Figura 3.17, se muestra la salida de la tubería de 3 (pulg) proveniente del tanque reservorio conectada a una válvula universal plegable que está acoplado a un codo (para la conexión con la manguera de 3 (pulg)).



Figura 3.17 Válvula universal de 3 (pulg) a la salida del tanque reservorio
(Fuente Propia)

Las tuberías fijas del nuevo diseño fueron enterradas bajo 1.5 (m) de profundidad, la excavación se realizó mediante la ayuda de maquinaria pesada (pala excavadora) como se muestra en la Figura 3.18.



Figura 3.18 Excavación para tuberías fijas
(Fuente Propia)

Posterior a la excavación se colocó las tuberías cerca de una de las paredes del canal con la finalidad de asegurar que no se doble la manguera, así como se muestra en la Figura 3.19.



Figura 3.19 Colocación de la tubería de 3 (pulg)
(Fuente Propia)

La presentación de las tuberías de 3 (pulg) están dadas en rollos de 50 (m), por ende, se realizó las juntas de tuberías mediante uniones Flex y abrazaderas del mismo diámetro como se muestra en la Figura 3.21. Cabe recalcar que, para este tipo de uniones se realizó un previo calentamiento en los terminales de las mangueras mediante agua caliente como se muestra en la Figura 3.20.

Además, las abrazaderas al ser metálicas, son propensas a oxidarse con la humedad del suelo, sin embargo, para evitar este problema se realizó una protección mediante una liga de caucho como se muestra en la Figura 3.22.



Figura 3.20 Calentamiento de terminales de mangueras
(Fuente Propia)



Figura 3.21 Unión de los terminales de las mangueras
(Fuente Propia)



Figura 3.22 Protección contra la corrosión de abrazaderas
(Fuente Propia)

El canal de tierra que contiene las tuberías, se rellenó con la ayuda de tractor agrícola como se muestra en la Figura 3.23.



Figura 3.23 Relleno del canal de tierra
(Fuente Propia)

La unión de las mangueras con las válvulas de control en el tanque reservorio y la toma de conexión, se muestra a continuación en la Figura 3.24 y Figura 3.25 respectivamente.



Figura 3.24 Conexión de manguera fija con válvula en el tanque reservorio (Fuente Propia)



Figura 3.25 Conexión de manguera con válvula en toma de conexión (Fuente Propia)

- **Tomas de conexión fijas**

Para facilidad de la operación, se realizó la implementación de las tomas de conexión fijas, que básicamente son las puntas terminales de las tuberías soterradas conectadas o acopladas a las válvulas tipo bola, que tiene como fin controlar el flujo del agua para las tuberías móviles. Además, se realizó una estructura de hormigón simple para protección contra daños causados por el clima y por terceros. En la Figura 3.26, se muestra la toma principal TC2.



Figura 3.26 Toma de conexión 2 (TC2)
(Fuente Propia)

Después de la toma de conexión fija 2 (TC2) que se observa en la Figura 3.26, se enterró las tuberías de cada sistema hasta las dos tomas siguientes, en la Figura 3.27, se muestra el proceso de soterramiento de los dos sistemas que se realizó para la toma de conexión 3. En la Figura 3.28, se muestra la toma de conexión 3.



Figura 3.27 Soterramiento de tuberías para toma de conexión 3
(Fuente Propia)



Figura 3.28 Toma de conexión 3 (TC3)
(Fuente Propia)

De la misma forma, se realizó para la toma de conexión 1, en la Figura 3.29, se muestra el soterramiento de las tuberías de cada sistema respectivamente. En la Figura 3.30, se muestra la toma de conexión 1 (TC1).



Figura 3.29 Soterramiento de tuberías para toma de conexión 1
(Fuente Propia)



Figura 3.30 Toma de conexión fija 1 (TC1)
(Fuente Propia)

- **Tuberías móviles**

Las tuberías móviles fueron realizadas a medidas estándares como se detalla en el diseño del sistema, la implementación de estas mangueras se realizó mediante la conexión de los accesorios con sus puntas hembra y macho respectivamente en cada terminal. En la Figura 3.31, se muestra la conexión con la punta macho y es el mismo proceso para la punta hembra. En la Figura 3.32 y la Figura 3.33, se muestran las puntas conectadas en los terminales de la manguera respectivamente con abrazaderas metálicas.



Figura 3.31 Estructura del terminal de tubería con punta macho
(Fuente Propia)



Figura 3.32 Conexión de punta macho en manguera
(Fuente Propia)



Figura 3.33 Conexión de punta hembra en manguera
(Fuente Propia)

De la misma forma, para realizar la implementación de los tubos de PVC, se realizó únicamente pegando las puntas móviles respectivamente en cada terminal del tubo. En la Figura 3.34, se muestra los tubos armados de 3, 4, 5 y 6 (m) de longitud.



Figura 3.34 Tubos de PVC con puntas móviles
(Fuente Propia)

- **Aspersor Jolly 1 ¼ (pulg)**

En la Figura 3.35, se muestra el aspersor Jolly 1 ¼ (pulg) sectorial con una conexión móvil (punta macho). Este aspersor se utilizó como actuador del sistema por su amplia capacidad de aspersión y por la facilidad de operación. El aspersor estuvo disponible en la tienda Hidrotecnología [10] completamente armado con una altura estándar de 1.5 (m).



Figura 3.35 Aspersor Jolly 1 ¼ (pulg) sectorial
(Fuente Propia)

El diseño se realizó mediante tres aspersores a la vez (dos con el sistema nuevo y uno con el sistema antiguo). El ángulo de giro de un aspersor es de 360 (°) con regulación, por lo

tanto, si el aspersor tiene un giro de 360 (°), va a cubrir el área total de trabajo en la unidad de tiempo que se deseé (1 (h), 2 (h), etc.), si el aspersor tiene un ángulo de giro de 180 (°), va a cubrir la mitad del área total en la mitad del tiempo y así sucesivamente, entonces dos aspersores están conectados al nuevo sistema en los dos ramales intermedios del terreno para regar el área mayor, mientras que en los ramales del exterior se conecta el aspersor del sistema antiguo.

Los elementos de fijación para los aspersores fueron construidos con tubo galvanizado de 1 ¼ (pulg) en forma de estaca con piezas para sujetar al aspersor mediante ligas de caucho, además, se compone de una varilla soldada (ya que si se las hace de madera su vida útil sería muy corta) en el tubo para mayor facilidad en su traslado como se muestra en la Figura 3.36.



Figura 3.36 Estaca de fijación para aspersor
(Fuente Propia)

3.6. Pruebas de funcionamiento

La hacienda Freire inicialmente se encontraba como se muestra en la Figura 3.37, donde únicamente se realizaba el método de riego a gravedad mediante un aspersor.



Figura 3.37 Sistema de riego antiguo
(Fuente Propia)

Entonces, debido a los requerimientos del proyecto, se comprobó el alcance y el caudal mediante los datos técnicos del aspersor, para lo cual, se realizó lo siguiente:

- a. Se abrieron las válvulas de bola ubicadas en el tanque reservorio para permitir el flujo de agua a las tuberías fijas de los dos sistemas.
- b. Se armó todas las tuberías móviles como fueron diseñados previamente con dos aspersores en los ramales intermedios (conectados en el nuevo diseño) y uno en los extremos (conectado en el sistema antiguo). En la Figura 3.38, se muestra la distribución de tuberías móviles con las respectivas conexiones de los aspersores.

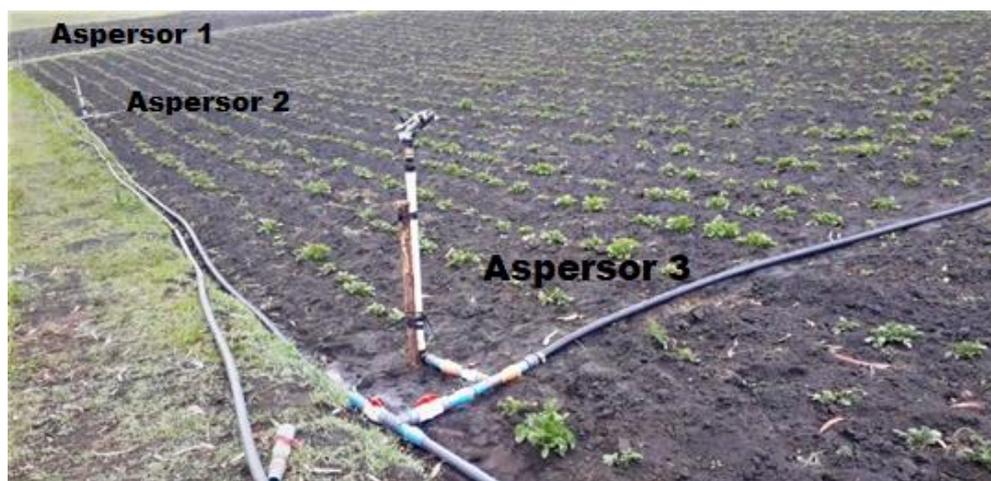


Figura 3.38 Conexión del sistema de tuberías móviles
(Fuente Propia)

- d. Finalmente, se comprobó el caudal en los tres aspersores mediante la presión de salida, además se comprobó que fue suficiente por el alcance del chorro que cubre el radio de riego especificado técnicamente por cada aspersor, como se muestra en la Figura 3.41.



Figura 3.41 Riego por aspersión de 3 aspersores
(Fuente Propia)

Se comprobó que, mediante el riego por aspersión de tres aspersores a la vez, se pudo optimizar el tiempo y hacer un sistema de regadío eficiente en la hacienda Freire.

3.7. Manual de uso y mantenimiento

El manual de uso y mantenimiento explica el proceso para ensamblar de forma correcta el sistema de tuberías móviles en los sitios especificados para evitar pérdidas de presión y en el tiempo de riego. Además, se detalla tanto el funcionamiento como la reparación de las tuberías, accesorios y aspersores en caso de ruptura o taponamientos por impurezas en el agua.

El manual de uso y mantenimiento se muestra en el Anexo H.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se implementó de manera correcta el sistema de riego por aspersión utilizando la energía potencial y cinética (riego por gravedad) en la hacienda Freire, optimizando el tiempo de riego mediante tres aspersores con el caudal esperado, además, el diseño fue adecuado y uniforme en toda el área de trabajo.
- Se determinó que el tanque reservorio estuvo en buenas condiciones de funcionamiento y el volumen de 80 (m³) suministra a los dos sistemas de riego de manera eficiente (3 aspersores en total).
- Se verificó que el sistema de riego antiguo tenía una funcionalidad buena, únicamente con algunos accesorios deteriorados que han sido reemplazados completamente. Además, este sistema operaba mediante un aspersor a la vez, que tomaba periodos muy largos de riego y un gasto en mano de obra excesivo.
- Al diseñar el nuevo sistema de riego por los canales intermedios y el sistema antiguo por los extremos de los terrenos, se logró obtener la máxima optimización del tiempo en una relación de 3:1, lo que permite aprovechar los turnos de agua que otorga la comunidad a la hacienda Freire.
- Se implementaron las tuberías móviles de una longitud estándar de 25 (m) para únicamente en cada terminal realizar las conexiones de los aspersores, con la finalidad de evitar pérdidas de presión en uniones innecesarias, así como también, los tubos de PVC de 3, 4, 5, 6 (m) de longitud para completar el sistema de tuberías en los diferentes puntos más lejanos de los terrenos.
- Se comprobó que los sistemas de riego pueden funcionar por gravedad sin el uso de bombas, debido a que la suma de las pérdidas mayores y menores de aproximadamente 32 y 21 (m) para el sistema antiguo y nuevo diseño respectivamente, lo que no supera el máximo admisible de pérdidas de energía ($h_L=35.27$ (m)).

4.2. Recomendaciones

- Se debe realizar la limpieza correspondiente en el tanque reservorio cada 5 meses, debido a que se crean capas de suciedad por el estancamiento del agua provocando que la vida útil sea menor. Además, las impurezas pueden afectar a los aspersores por taponarse o romperse.

- Se debe recubrir las abrazaderas metálicas con materiales de polietileno (ligas de caucho) para evitar la corrosión por la humedad del suelo.
- Es necesario asegurar todas las tuberías fijas para evitar rupturas y explosiones por la presión del agua a gravedad, así mismo, proteger las tomas de conexión contra los rayos solares que afectan a lo largo del tiempo y daños por terceros.
- Se debe sujetar de manera adecuada los aspersores mediante estacas sólidas, debido a que la presión de agua ejercida en cada aspersor y la vibración que ejercen estos, es lo suficientemente grande para romperlos.
- Se debe comprobar mediante la Ecuación General de la Energía, que la suma de pérdidas mayores y menores no superen el máximo admisible de pérdidas de presión, para que el sistema funcione correctamente tanto con caudal y con presión a la salida de los aspersores.
- Se debe ensamblar y desensamblar de forma correcta las tuberías móviles de acuerdo al dimensionamiento (las tuberías del sistema antiguo por los extremos de los terrenos, mientras que las tuberías del nuevo diseño por los ramales intermedios) para evitar pérdidas de tiempo en el riego.
- Es necesario que para utilizar el sistema se use como guía el manual de uso y mantenimiento para las reparaciones o reemplazos de tuberías y accesorios dañados, así como también, para realizar mantenimientos preventivos en todo el sistema de riego.
- Se recomienda realizar un sistema automático para el control de llenado del tanque reservorio para evitar la supervisión personal, lo que conlleva a tener gastos innecesarios por mano de obra.
- Se recomienda invertir en un sistema de riego por aspersión fija en cada terreno de la hacienda Freire, debido a que únicamente se realizaría la instalación del sistema para cada siembra y se evitarían gastos innecesarios de mano de obra.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] L. Santos Pereira, J. Arturo, and M. R. Picornell Buendía, *El Riego Y Sus Tecnologías*. 2010.
- [2] L. E. Erazo Yépez, "Diseño de un sistema de riego para la hacienda San Antonio, ubicada en la parroquia Machachi, Cantón Mejía, Provincia de Pichincha," p. 92, 2015, [Online]. Available: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/4996/1/122661.pdf>.
- [3] E. Solórzano Vélez, M. Vega Pilozo, G. Defaz Álava, and M. Solórzano Vélez, "Implementación de un sistema de riego por aspersión para uso agrícola, ubicado en la instalaciones de la Facultad de Ingeniería Agrícola en la parroquia Lodana del cantón Santa Ana," 2015.
- [4] H. Avilés L., "El valor del agua en la agricultura," *LA GRANJA. Rev. Ciencias la Vida*, vol. 5, pp. 28–31, 2006.
- [5] Admindefinca, "Finca y Campo," 2015. <http://www.fincaycampo.com/2014/09/la-importancia-del-riego-en-los-cultivos/>.
- [6] Secretaria del agua, "Agua.gob.ec." <https://www.agua.gob.ec/centro-zonal-ambato-socializa-trabajo-a-la-ciudadania/>.
- [7] J. Lozada, "Investigación Aplicada," *Rev. Divulg. científica la Univ. Tecnológica Indoamérica*, pp. 47–50, 2014.
- [8] Y. A. Cengel and J. M. Cimbala, *Mécanica de fluidos*. 2012.
- [9] R. L. Mott, *Mecánica de fluidos*. 2015.
- [10] Hidrotecnología, "Hidrotecnología tecnología en irrigación." <https://www.hidrotecnologiaecuador.com/>.
- [11] Tubos Pacifico, "Tubos pacifico." <http://www.tubospacifico.com/linea-elite.html>.
- [12] L. R. Pérez, "Conducción por gravedad." <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/conduccion-por-gravedad#:~:text=Un punto importante a ser,las paredes de las tuberías>.

6. ANEXOS

ANEXO A: Dimensionamiento general de la hacienda Freire.

ANEXO B: Línea crítica del sistema de riego antiguo.

ANEXO C: Línea crítica del nuevo diseño de riego.

ANEXO D: Diseño de tuberías fijas.

ANEXO E: Diseño de tuberías móviles del terreno 1.

ANEXO F: Diseño de tuberías móviles del terreno 2.

ANEXO G: Diseño de tuberías móviles del terreno 3.

ANEXO H: Manual de uso y mantenimiento.