

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Diseño de un sistema de riego por aspersión para una plantación de
banano de 20 hectáreas”

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Francisco Javier Arroyo Juez

José Luis Brito Moreno

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2015

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi familia, soporte y apoyo incondicional en mi vida. A todos los profesores por sus enseñanzas en especial al Ing. Manuel Helguero por la oportunidad brindada. A mis amigos y compañeros, brindando buenos momentos. A Talia por ser parte importante en mi vida universitaria y personal.

Francisco Arroyo Juez.

Quiero agradecer a Dios por darme la vida, a mi hijo, a mis padres y hermanos por su apoyo incondicional, por ser el motor en mi vida para alcanzar esta meta tan deseada. Gracias a todos los profesores que durante estos años nos impartieron sus conocimientos y gracias a ellos hemos podido llegar al final de esta etapa universitaria.

José Luis Brito

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Francisco Javier Arroyo Juez

José Luis Brito Moreno

Ing. Manuel Helguero Gonzáles

y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

Estamos también de acuerdo que el vídeo de la presentación oral es de plena propiedad de la FIMCP.



Francisco Arroyo J.



José Brito M.



Ing. Manuel Helguero G.

RESUMEN

En el presente proyecto se va a dimensionar el estado de una plantación de banano tipo Cavendish el cual se encuentra en la hacienda San Jorge ubicada en la provincia de El Oro. El estado actual del sistema de riego es poco técnico, realizado sin previo estudio de manera no profesional sin poder cumplir con los requerimientos mínimos para el buen desarrollo de toda la plantación en sí. Se podría decir que no cuenta con un sistema adecuado ni técnico de riego. Se busca investigar los requerimientos del cultivo, analizar las mejores opciones de diseño del sistema de riego y seleccionar componentes del sistema de riego. Para poder realizar este proyecto, primero es imprescindible realizar una investigación climática del sector en la cual se encuentra ubicada la hacienda. Siguiendo se procedió a calcular los requerimientos de la plantación de acuerdo al tipo de suelo y a la planta en sí. Una vez que se obtuvo los requerimientos, se procedió a diseñar, seleccionar y calcular el dimensionamiento del sistema de riego: los aspersores, tuberías de abastecimiento primarias, secundarias y terciarias, válvulas y accesorios. Ubicando siempre en el espacio real por medio de planos técnicos de la plantación, siendo un objetivo la presentación de un plano general para el sistema de riego desarrollado en este proyecto. Para poder abastecer el sistema se seleccionó un sistema adecuado de bombeo y administración de potencia para su funcionamiento. Estos resultados se los muestra en el presente proyecto. Se obtuvo tiempos óptimos de riego diario, 10 minutos por bloque y un total de 160 minutos de riego diarios por jornada de riego, seleccionando de varias opciones la cual nos brinda los mejores tiempos. Con costos de \$1835.00 como inversión de materiales y equipos por hectárea para el sistema de riego presentado.

Palabras Clave: banano Cavendish, Sistema de riego, aspersión.

ABSTRACT

In the present project it is to dimension the status of a kind Cavendish banana plantation which is in the Hacienda San Jorge located in the province of El Oro. The current state of the irrigation system is little technical study made without unprofessional unable to meet the minimum requirements for the proper development of the entire plantation se. You could say that you do not have adequate technical and irrigation system. It seeks to investigate crop requirements, analyze the best options of design irrigation system and select components of the irrigation system. To carry out this project, it is first necessary to perform a climate research in the sector in which the property is located. Next we proceeded to calculate planting requirements according to the type of soil and the plant itself. Once the requirements are obtained, we proceeded to design, select and calculate the dimensioning of the irrigation system: sprinklers, pipes supply primary, secondary and tertiary, valves and accessories. Always placing in real space through technical drawings of the plantation, with an objective presentation of a flat general for the irrigation system developed in this project. To supply the system a suitable pumping system and power management for its operation was selected. These results are shown in the present project. Optimal times daily watering, 10 minutes per block and a total of 160 minutes of daily irrigation watering day, choosing from several options which gives us the best times was obtained. With costs of \$ 1,835.00 as of materials and equipment investment per hectare for irrigation presented.

Keywords: *Cavendish banana, irrigation system, sprinkler.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
ÍNDICE DE PLANOS.....	IX
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción.....	1
1.2.1. Objetivo general.....	2
1.2.2. Objetivos Específicos	2
1.3. Marco teórico.....	2
1.3.1. Características agronómicas del cultivo	2
1.3.2 Riego por aspersión.....	4
1.3.2.1 Componentes del sistema de riego	4
1.3.3. Fundamentos Hidráulicos.....	5
1.3.3.1 Numero de Reynolds.....	5
CAPÍTULO 2	8
2. Metodología de Diseño	8
2.1 Metodología de riego.....	8
2.2 Área de control.....	8
2.3 Condiciones meteorológicas.....	9
2.4 Condiciones del suelo	10
2.5 Requerimientos del cultivo	10
2.5.1 Evapotranspiración del cultivo	10
2.5.2 Lamina Neta.....	11
2.5.3 El requerimiento bruto	12
2.5.4 Frecuencia de riego.....	12
2.6 Alternativas de aspersores para el diseño de sistema de riego.....	13
2.7 Matriz de decisión	21
2.8 Resumen de método de diseño a usar.....	22
2.9 Resumen de metodología de diseño.....	22
CAPÍTULO 3	24

3. Resultados	24
3.1. Implementación de diseño	24
3.2. Sectorización del terreno de cultivo.....	24
3.2.2 Trazado de bloques en el plano.....	25
3.3 Determinación de diámetros de tuberías.....	27
3.3.1 Determinación de diámetro de línea terciaria.....	28
3.3.1.1 Cálculo de pérdida de carga por fricción en la línea terciaria.	29
3.3.2 Determinación de diámetro de línea secundaria.....	30
3.3.2.1 Determinación de pérdidas en la tubería secundaria.	30
3.3.3 Determinación del diámetro de la línea principal.	31
3.4 Determinación de dimensión de válvulas de control.	32
3.5 Determinación y ubicación de válvulas de aire.....	32
3.6 Cálculo y selección de estación de bombeo.....	33
3.6.1 Calculo de bomba a usarse	33
3.6.2 Selección de bomba.	34
3.7 Cálculo NPSHA.....	37
3.8 Selección de motor para la bomba.....	37
3.8.1 Pérdidas en el motor.....	38
3.8.2 Motor Seleccionado	38
3.9.1 Costos de materiales y equipos.....	39
3.9.3 Costo del Consumo necesario de agua.....	40
CAPÍTULO 4	41
4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	41
BIBLIOGRAFÍA	44
APÉNDICES.....	46

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
HR	Humedad Relativa
UV	Ultra Violeta
SD	Standard Dimension.
GPM	Galones por minute.
VYR	Vyrsa
PCAS	Pies cúbicos de aire por segundo
NPSHA	Net positive suction head available.
NPSHR	Net positive suction head required
FR	Frecuencia de riego
LN	Lámina neta
RB	Requerimiento bruto.

SIMBOLOGÍA

M	Metro
mm	Milímetro
PH	Coeficiente de acidez o básico
°C	Grado centígrado
N_{Re}	Número de Reynolds
ρ	Densidad
D	Diámetro
V	Velocidad
μ	Viscosidad
s	Segundo
U	Velocidad viento
gr/cc	gramo por centímetro cubico
ETo	Evapotranspiración
L	Litro
hr	Hora
h	Perdida de presión
Q	Caudal
hd	Cabezal de aspersores
hf	Perdida de presión.
ft	Pie
Hp	Caballo de fuerza
lb	Libra
η	Eficiencia
N	Potencia

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Partes de la mata de banano.....	2
Figura 1-2. Diagrama de Moody. (Mecánica de Fluidos F. White.....	6
Figura 2-1. Hectárea de plantación de banano.....	9
Figura 2-2. Aspersor NaadJannJain 5024 SD.....	14
Figura 2-3. Condiciones de funcionamiento NaadJannJain 5024 SD.....	14
Figura 2-4. Área de riego en configuración de aspersores.....	16
Figura 2-5. Aspersor VYR 65.....	18
Figura 2-6. Área de riego en configuración de aspersor VYR 65.....	19
Figura 2-7. Aspersor con accesorios Mamkand 16.....	20
Figura 2-8. Configuraciones de operación del aspersor.....	21
Figura 3-1. Bloque O.....	27
Figura 3-2. Aspersores de una línea terciaria del bloque O.....	29
Figura 3-3. Caudal Necesario para línea secundaria.....	31
Figura 3-4. Modelo 3700 Bomba Gould.....	35
Figura 3-5. Modelos de la serie 3700.....	35
Figura 3-6. Operación de diferentes dimensiones de bomba 6x8-11.....	36
Figura 3-7. Colores de curvas de operación de bomba 6x8-11.....	36
Figura 3-8. Operación de bomba modelo 6x8-11 con impele de 10”.....	37
Figura 3-9. Motor modelo QSB6.7.....	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requerimientos agroecológicos de la planta de banano.....	3
Tabla 2. Condiciones climáticas en la ubicación de la hacienda.....	10
Tabla 3. Datos técnicos del suelo que se presenta en la hacienda.....	10
Tabla 4. Evapotranspiración mensual en la hacienda.....	11
Tabla 5. Espaciamiento de aspersores según velocidad del viento.....	15
Tabla 6. Requerimiento de caudales.....	17
Tabla 7. Condiciones de funcionamiento	18
Tabla 8. Requerimientos de caudales.....	20
Tabla 9. Matriz de decisión.....	22
Tabla 10. Resumen de necesidades del cultivo.....	22
Tabla 11. Información del sistema a implementar.....	23
Tabla 12. Resumen necesidades del sistema.....	24
Tabla 13. Cantidad de aspersores por bloque de riego.....	26
Tabla 14. Pérdidas en la línea terciaria.....	30
Tabla 15. Pérdidas en la línea secundaria.....	31
Tabla 16. Pérdidas en la línea primaria.....	32
Tabla 17. Perdidas a considerarse en tubería principal.....	34
Tabla 18. Perdidas de potencia.....	38
Tabla 19. Especificaciones de motor seleccionado.....	39
Tabla 20. Costos de materiales y equipos.....	40

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 Sectores en diseñados para la hacienda.

PLANO 2 Sistema de con tuberías primarias, secundarias y terciarias

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Se presenta un problema de carácter real en una plantación de banano tipo Cavendish de la familia Brito Moreno, familia de uno de los autores del presente proyecto. En este proyecto se busca utilizar varias herramientas de diseño para poder encontrar una solución específica y aplicable a la plantación mencionada. Se procede a dimensionar y seleccionar un sistema adecuado para cumplir con las necesidades hidráulicas de la plantación, tomando en cuenta las condiciones meteorológicas en la ubicación de la hacienda. También las condiciones que debe mantener el suelo para el desarrollo de la plantación. Se va a concluir con un sistema y costos de equipos que se deben utilizar para solucionar el problema que se presenta a continuación.

1.1. Descripción del problema

Ante una falta real de un sistema de riego en una plantación de banano, se plantea diseñar un sistema para abastecer de agua de manera correcta a la hacienda de banano 20 hectáreas en un escenario real con todas las consideraciones que esto implica. El sistema de riego propuesto se implementará en una bananera familiar, por este motivo se planteará el diseño por aspersión tecnificando las plantaciones para obtener mejores condiciones cumpliendo los requerimientos agrologicos del cultivo y tener un desarrollo adecuado de la planta.

Para la resolución de este problema, se propone diseñar un sistema de riego para un cultivo de banano tipo cavendish en la hacienda "San Jorge" ubicada en la vía Machala-Pasaje parroquia La Peaña. Previo al dicho diseño, se procede a investigar todos los requerimientos técnicos y agronómicos tanto de la planta de banano tipo Cavendish como del suelo, para poder obtener una máxima eficiencia en el cultivo dentro de las 20 hectáreas.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Diseñar el sistema más apropiado para las condiciones técnicas del suelo y cumplir con los requerimientos hidráulicos, optimizando los materiales y tiempos. Para cual se realizarán los cálculos de diseño, con su presentación de la solución propuesta. Finalmente, realizar presentación de planos, costos aproximados de materiales y equipos necesarios para el sistema riego.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Investigar las condiciones agronómicas adecuadas de riego tomando en cuenta datos meteorológicos de la zona en donde se encuentra la plantación.
- Calcular necesidades hidráulicas para el sistema de riego de la plantación de banano.
- Dimensionamiento de un sistema adecuado de riego para la plantación de banano y las condiciones reales en las que se encuentra.
- Establecer las bases de los posibles materiales y equipos del diseño seleccionados, con costos aproximados del mercado de los productos.

1.3. Marco teórico

1.3.1. Características agronómicas del cultivo

La planta de banano tiene aspecto de árbol por su tamaño y apariencia. Es en realidad una planta herbácea, con una altura entre 3.5 a 7.5 metros con un tallo en forma de cilindro formado por los peciolos de las hojas, las cuales están dispuestas en forma de espiral. El tallo es un rizoma grande, almidonado, subterráneo, que esta coronado con yemas, que casi todas se desarrollan hasta que haya florecido y fructificado. La inflorescencia que tiene forma de racimo, es larga y pedunculada; al principio se sostiene erecta o de manera oblicua, pero se dobla hacia abajo cuando el racimo crece. Se puede observar de manera más detallada en la figura 1-1. Un racimo puede contener de 5 a 10 manos, cada una con un número de bananas entre 2 a 20, principalmente de color verde, este color puede cambiar dependiendo de la variedad la información técnica se presenta en la tabla 1 con la información para su desarrollo adecuado. Mayor información se presenta en el apéndice A.

Esta información es tomada del manual presentado por “Agrocalidad”.

Tabla 1. Requerimientos Agroecológicos de la planta de banano.

Parámetro	Rango
Pendiente	Planos a Ligeramente inclinados
Profundidad	Profundos
Textura del suelo	Franco, limoso, franco arcilloso, franco arcillo arenoso, franco arcillo limoso, franco arenoso, franco limoso
Pedregosidad	Sin o Pocas
PH	6,5 a 7,5 Prácticamente neutro a neutro
	5,5 a 6,5 Medianamente acido a ligeramente acido
Salinidad	No salino
Toxicidad	Sin o nula
Nivel de fertilidad	Alta a media
Drenaje	Bien drenado
Precipitación	1200 a 2000 mm (bien distribuidos en el año)
Temperatura	> 20 °C Media anual
Periodos de Humedad	185 a 295 días

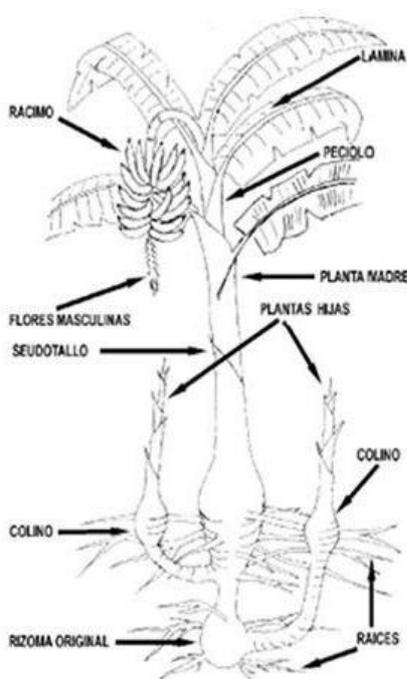


Figura 1-1: Partes de la mata de banano.

1.3.2 Riego por aspersión.

El sistema de riego por aspersión inició a principios del siglo XX, donde fue utilizado para regar los céspedes ornamentales. Siguiendo su desarrollo en la agricultura, el cual fue lento, se empezó a aplicar para el riego de viveros, árboles frutales y hortícolas en cultivo intensivo.

El 10% de áreas de riego del mundo son por aspersión, siendo este porcentaje más elevado en países con mayor desarrollo a nivel tecnológico y de producción, los cuales tienen mayores costos de mano de obra y menor costo de energía. La constante innovación en este sistema se adapta, aumentando su eficiencia y mejorando su funcionamiento de riego.

1.3.2.1 Componentes del sistema de riego

Todos los sistemas de riegos cuentan con componentes básicos los cuales se presentan a continuación:

- **Bomba:** Accionada por un motor eléctrico o también un motor de combustión interna. El motor cumple con la función de elevar agua desde su origen (balsa, río o pozo) hasta alimentar el sistema de riego, con la presión adecuada para el sistema el mismo y sus aspersores.
- **Tuberías:** El sistema de tuberías cuenta con su tubería principal, la cual permite conducir agua desde la bomba hasta distribuir las a las tuberías secundarias y a continuación a sus ramales de distribución. En su mayoría la tubería principal es fija y está instalada sobre el suelo o normalmente enterrada en él. En cambio, en diferentes casos es desplazable teniendo la posible función de ser trasladada de parcela a otra parcela. Los materiales de estas tuberías pueden ser acero galvanizado, fibrocemento o plástico de alta densidad. Específicamente para las tuberías móviles el material utilizado es de aluminio ligero o plástico, lo cual permite su fácil transportación.
- **Aspersores:** Estos son los dispositivos esparcen el agua sobre el suelo y los cultivos los cuales se van a regar. Se distribuye el agua en forma de gotas pequeñas, imitando la lluvia. Los aspersores consisten en los elementos principales en el diseño del sistema de riego y en la calidad del sistema. Existen diferentes variedades de aspersores, materiales y rangos de operación. Los aspersores pueden ser de gama alta, para grandes alcances y caudales, gama

media y gama baja. Los mejores materiales los cuales se utilizan para la fabricación de los aspersores son el latón o el plástico.

- **Ramales o Laterales:** Estas son las tuberías en las cuales se instalan los aspersores, estos pueden ser fijos (generalmente enterrados), móviles y desplazables.

1.3.3. Fundamentos Hidráulicos.

Para el desarrollo del presente proyecto se debe de usar análisis y estudios físicos de manera ingenieril para poder alcanzar la máxima eficiencia en nuestro diseño del sistema de riego para la plantación de 20 hectáreas de banano. La rama específica de la física que se procede a utilizar es la Mecánica de Fluidos, utilizado como herramienta para poder obtener los mejores resultados deseados para la aplicación en los sistemas de riego de plantaciones. Se va a calcular los requerimientos de caudal y de pérdidas en el sistema a lo largo del sistema de tuberías.

1.3.3.1 Numero de Reynolds.

Una de las herramientas en la mecánica e ingeniería el cual describe el comportamiento de un fluido en movimiento es el número de Reynolds. Reynolds estudio el comportamiento de fluidos a través de tuberías, teniendo como resultado que a velocidades bajas, las líneas del flujo se trazaban de forma lineal en dirección axial. También aumentando la velocidad, las líneas de flujo comenzaron a desorganizarse y tener un comportamiento errático. Los flujos se denominaron laminar y turbulento. Se pudo definir como la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas de rozamiento o viscosas.

$$N_{Re} = \frac{\text{Fuerzas inerciales}}{\text{Fuerzas viscosas}} = \frac{\rho DV}{\mu}$$

1.3.3.2 Pérdida de carga en tuberías

En los sistemas de tuberías además de las pérdidas por fricción mientras hay el movimiento del fluido existen otras pérdidas que denomina “pérdidas menores o localizadas” las cuales pueden tener las siguientes causas:

- Entrada o salidas de tuberías.
- Ensanchamiento o contracción brusca de la sección.
- Válvulas, que pueden estar abiertas o parcialmente cerradas.
- Curvas codos u otros accesorios.
- Ensanchamiento o contracción gradual de la sección.

La pérdida dentro de una tubería con sección circular se determina por medio de la siguiente expresión (Darcy- Weichbach) tomada del libro “Mecánica de Fluidos de White Frank:

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g}$$

Siendo:

h_f : Pérdida de cabezal en m.

f : Factor de fricción de Darcy (adimensional).

L : Longitud de tubería en m.

D : Diámetro interior de tubería en m.

V : Velocidad media del fluido en m/s.

g : aceleración de la gravedad (9.8 m/s²)

El factor de fricción de Darcy depende del diámetro y de la rugosidad de la tubería, se toma de la figura 1-2 en base al diagrama de Moody.

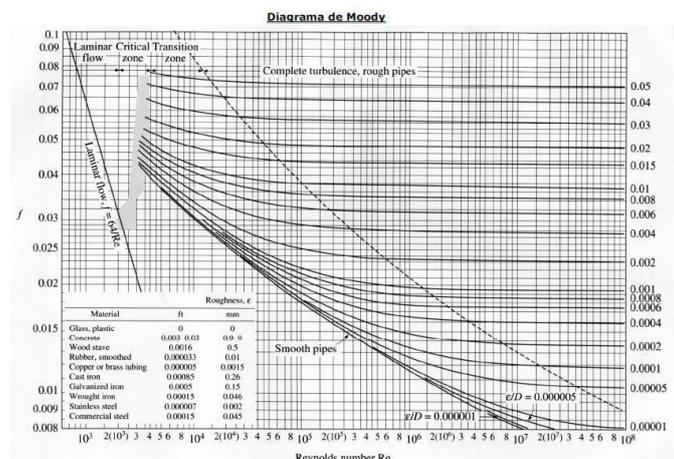


Figura 1-2. Diagrama de Moody. (Mecánica de Fluidos F. White)

1.3.3.3 Estaciones de Bombeo

Para el funcionamiento del sistema de riego es necesario trasladar agua por medio de las tuberías, para ello es necesario tener presión. Con la presión adecuada se puede trasladar y el funcionamiento del sistema de riego va a ser el adecuado.

La energía potencial en los sistemas les brinda, en algunos casos la presión necesaria para que el sistema cumpla su función; pero en algunos casos su energía potencial no es la suficiente. Esto conlleva la necesidad de un sistema de bombeo para poder suministrar la energía necesaria.

Las especificaciones de la estación de bombeo serán calculadas y posteriormente seleccionará la bomba más adecuada para que se ajuste al diseño. Para poder seleccionar de manera correcta se debe tomar en consideración el caudal, altura y presión de impulsión. De la misma manera se debe seleccionar la potencia del motor y también las válvulas y accesorios que el sistema para que cumpla su función de manera óptima.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA DE DISEÑO

Para poder comenzar a resolver el problema, este se debe de dividir en dos partes esenciales. La parte de la plantación, la cual nos describe los requerimientos del cultivo pero teniendo en cuenta el suelo, viento, humedad y temperatura en cual se encuentra. Esto nos describe la necesidad que tiene el cultivo.

Una vez definidas las necesidades que se tienen, se deben implementar el sistema de riego con la selección del dispositivo de riego, caudal y configuración para el riego.

Se seleccionó entre varias opciones, el componente imprescindible en el sistema lo cuales son los aspersores. Lo cuales recrean la lluvia al momento de regar, por lo que la selección va a ser consecuencia a sus condiciones óptimas de operación como el caudal, alcance de riego y tiempos de operaciones para regar las matas de banano.

2.1 Metodología de riego

Un agricultor, para proceder al riego, primero debe formular las siguientes preguntas:

- ¿Por qué se debe de regar?
- ¿Qué cantidad de agua se debe de usar para regar?
- ¿Qué intervalo de riego se debe de usar?
- ¿Cómo se debe de regar?

Al contestar estas preguntas el agricultor puede contar con un sistema adecuado en su hacienda o plantación, con respuestas eficientes, sencilla y lo más importante técnica al implementar el riego.

2.2 Área de control

Nuestra plantación tiene un área de aproximadamente 20 hectáreas. Para poder seleccionar un sistema de riego optimo, se va a tomar un área de control, la cual se define como 1 hectárea. Esta área se la muestra en la figura 2-1 de manera representativa para poder observar la distribución de las matas de banano. Con datos proporcionados por los dueños de la hacienda se presenta la siguiente información.

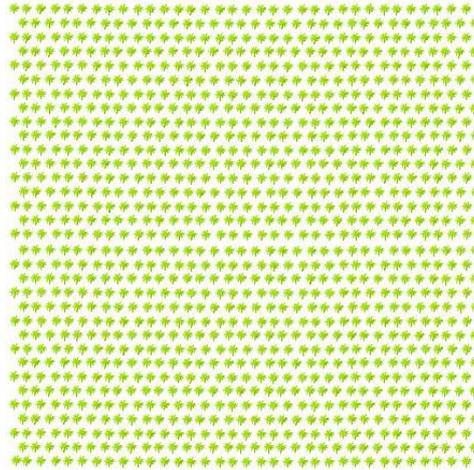


Figura 2-1: Hectárea de plantación de banano. Familia Brito Moreno.

En esta hectárea se tiene la siguiente configuración:

- Banano tipo Cavendish.
- Densidad de plantación: 1200 plantas por hectárea.
- Distribución cuadrada: 3 x 3 m
- Suelo: Franco arcilloso.
- Elevaciones menores de 3%.
- Profundidad de raíz: 0.5 m.

Información proporcionada por los dueños de la hacienda, la familia Brito Moreno.

2.3 Condiciones meteorológicas.

La hacienda “San Jorge” se encuentra dentro de la provincia de El Oro, en la vía Pasaje-Machala, la cual cuenta con buenas condiciones.

Para el proceso de diseño se tomó los siguientes datos de la estación meteorológica de la Universidad Técnica de Machala del anuario meteorológico del año 2010 en la tabla 2 proporcionada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología en su anuario del año 2011. No existen datos más actuales del área, por lo cual se utilizaron los del anuario mencionado. Estos datos van a ser esenciales en el cálculo de las condiciones hídricas de la plantación.

Tabla 2. Condiciones climáticas en la ubicación de la hacienda. INAMI 2011.

Mes	Temperatura Media (°C)	HR Media (%)	Velocidad Viento. U (m/s)	HR Max (%)
Enero	25.9	82	3.6	97
Febrero	26.3	81	4.2	95
Marzo	26.8	77	5.6	93
Abril	26.4	84	3.9	96
Mayo	26.3	86	3.3	99
Junio	24.5	89	2.8	97
Julio	23.6	92	2.5	98
Agosto	22.6	91	3.1	96
Septiembre	22.9	89	3.3	93
Octubre	22.2	89	3.6	98
Noviembre	23.4	86	3.9	96
Diciembre	25.1	93	4.4	98

2.4 Condiciones del suelo

Ya que tenemos un suelo tipo Franco arcilloso se debe de usar los siguientes datos correspondientes a este tipo de suelo en la tabla 3, se presenta la información del suelo para los cálculos posteriores de condiciones de riego para la plantación de banano.

Tabla 3. Datos técnicos del suelo que se presenta en la hacienda. Manual de sistema de riego tecnificado.

Tipo de Suelo	Densidad aparente (gr/cc)	Capacidad del campo (%)	Punto de marchitez permanente (%)
Franco Arcilloso	1.30 – 1.40	23 – 31	11 – 15

2.5 Requerimientos del cultivo

2.5.1 Evapotranspiración del cultivo

Primero se debe calcular la evapotranspiración potencial del lugar, lo cual describe una tasa, cantidad determinada de agua que se evapora por unidad de área. Lo cual está en función de las condiciones meteorológicas. La evapotranspiración anual se presenta en la siguiente tabla 4, lo cual se calculó por medio del software ETO Calculator por la FAO como se muestra en el apéndice G.

Tabla 4. Evapotranspiración mensual en la hacienda. Tomado de ETO Calculator.

Mes	Evapotranspiración potencial ETo(mm/día)
Enero	3
Febrero	2,6
Marzo	3,3
Abril	3,1
Mayo	3
Junio	2,5
Julio	2,6
Agosto	2,8
Septiembre	3,3
Octubre	2,5
Noviembre	2,8
Diciembre	2,6

Como dato para el diseño se va a usar el dato correspondiente a los meses de septiembre y marzo en los cuales se presenta como mayor tiempo en el cual se evapora el agua en el ambiente.

Para encontrar la evapotranspiración del cultivo se usa el coeficiente $K_c = 1.1$ (tomado del Manual de diseño de sistemas de riego tecnificado) correspondiente para el cultivo de banano.

$$E_{vc} = K_c \times E_{To}$$

$$E_{vc} = 1.2 \times 3.3 = 3.96 \text{ mm/día}$$

2.5.2 Lamina Neta

Cantidad de agua que se debe de aplicar por unidad de superficie durante el periodo de riego. Se toma la siguiente expresión del manual de diseño de sistema de riego tecnificado.

$$LN = \frac{(C.C.-P.M.P)}{100} \times Da \times Cr \times Pr \times 100 \quad \text{ec. 1.1}$$

Siendo:

C.C.= Capacidad del campo (%)

P.M.P.= Punto de marchitez permanente (%)

Da= Densidad aparente (gr/cc)

Cr= Criterio de riego (0.4 o 0.6)

Pr= Profundidad de Raíces (m)

Se encontró la siguiente lámina neta.

El criterio de riego depende el alcance que se quiere llegar, este dato depende del agricultor. Se escoge el del 50% el cual es un valor intermedio del alcance del sistema de riego.

$$LN = \frac{(23-11)}{100} \times 1.3 \times 0.4 \times 0.5 \times 100 = 3.12 \text{ mm}$$

Se encontró que la cantidad que se debe de recuperar por unidad de superficie con consideración de la plantación y tipo de suelo es de 3.12 mm.

2.5.3 El requerimiento bruto

El cuál es la cantidad de agua consumida por los cultivos o que se ha evaporado durante un intervalo de tiempo. Se lo define de la siguiente forma.

$$R.B. = \frac{Ev\eta}{\eta} = \frac{3.96}{0.8} = 4.95 \text{ mm/día}$$

Siendo η el rendimiento total del tipo del tipo de riego técnico que se va a usar. (0.8 para el sistema de riego por aspersión ya que es el adecuado establecido por la FAO en sus manuales para el riego adecuado).

2.5.4 Frecuencia de riego.

Es el intervalo de tiempo entre riegos y se calcula de la siguiente forma tomado del manual de diseño de riego tecnificado para cultivos es definido por la siguiente expresión.

$$FR = \frac{LN}{R.B.} = \frac{3.12}{4.95} = 0.63 \text{ días} \approx 15.12 \text{ horas}$$

El intervalo de riego el cual no se debe de pasar para que el cultivo este en buenas condiciones es de aproximadamente 15.12 horas para nuestro cultivo. Este tiempo es en condiciones críticas del mes de septiembre. Se utilizó como condiciones críticas para los cálculos requeridos para el diseño del sistema de riego de la plantación.

2.6 Alternativas de aspersores para el diseño de sistema de riego

Las opciones propuestas para el diseño básicamente son los posibles aspersores a utilizar. En el proceso de diseño se presentan 3 alternativas para la selección en el componente más importante en el sistema de riego.

2.6.1 Alternativa 1.

La primera opción es la del siguiente aspersor. La información es presentada por el manual de Jain Irrigation Systems. El aspersor se lo muestra en la Figura 2-3.

NAANDANJAN IRRIGATION

Modelo: 5024 SD

Aplicaciones: Huertos y plantaciones en general. Específicamente para uvas de mesa y plantaciones de banano por medio de cobertura total.

Especificaciones:

- Cuerpo con bajo Angulo de 12° con trayectoria para distribución uniforme.
- Martillo único con difusor SD (súper difusor) para distribución uniforme.
- Rango de presiones para operación: 1.5 a 4 bares.
- Mantiene buena uniformidad incluso a bajas presiones.
- Resistencia a radiación UV e impactos.
- Seguridad anti robo.



Figura 2-2. Aspersor NaadJannJain 5024 SD. Manual Jain Irrigation Systems.

TABLA DE RENDIMIENTOS 5024 SD

Color manguito	Color boquilla (mm)	P (bar)	Q (l/h)	D (m)	MSH* (cm)
Rojo	2.5 Púrpura	1.5	285	14.0	100
		2.0	350	16.0	
		2.5	390	17.0	
		3.0	430	18.0	
		3.5	460	18.0	
	2.8 Naranja	4.0	490	18.0	110
		1.5	365	16.0	
		2.0	450	18.0	
		2.5	500	19.0	
		3.0	550	19.0	
Negro	3.0 Rojo	3.5	560	20.0	120
		4.0	630	20.0	
		1.5	430	17.0	
		2.0	500	18.0	
		2.5	560	19.0	
	3.2 Verde	3.0	615	20.0	125
		3.5	670	21.0	
		4.0	715	21.0	
		1.5	510	17.0	
		2.0	595	18.0	
3.5 Blue	2.5	670	19.0	127	
	3.0	735	20.0		
	3.5	790	21.0		
	4.0	845	22.0		
	1.5	580	18.0		
	2.0	675	19.0		
	2.5	755	20.0		
3.0	830	21.0			
3.5	900	22.0			
4.0	965	23.0			

* MSH -Altura Máxima del Chorro (desde la boquilla)

* Tabla de rendimiento preparada bajo condiciones de laboratorio

* En condiciones de viento, utilice un espaciamiento más estrecho

Figura 2-3. Condiciones de funcionamiento. Jain Irrigation Systems.

Los datos de la figura 2-4 presentados por la empresa JAIN Irrigation Systems Ltd. Los cuales son las posibles configuraciones de funcionamiento de los aspersores con sus caudales y alcances respectivos.

Teniendo los datos se procede a realizar la distribución de los aspersores. La distribución está regida a el alcance que tiene el aspersor y la velocidad promedio del aire en la localidad. La distribución se escoge por medio de la tabla 5, proporcionada por la FAO en su manual.

Tabla 5. Espaciamiento de aspersores según velocidad del viento. Manual FAO.

Velocidad Viento (m/s)	Distancia Cuadrada	Distancia Triangular
Sin viento	0.65 D	0.75 D
2.0	0.60 D	0.70 D
3.5	0.50 D	0.60 D
Mayor de 3.5	0.30 D	0.30 D

Siendo D: Diámetro de círculo de riego del aspersor.

Para esta aplicación se selecciona la distribución cuadrada con distancias de 0.30D debido a la alta velocidad de viento que se encuentra en el sector de la plantación.

Un punto importante en el espaciado de los aspersores es el espacio de 3 metros entre cada línea de plantación de banano. Las líneas de riego deben estar comprendidas en espaciamientos libres.

Se escoge la combinación Negro-Blue por el espaciado más adecuado entre los aspersores de $0.3 \times 20 \text{ m} = 6 \text{ metros}$. Lo cual cumple para el espacio real en el cual se puede implementar las líneas de riego.

- Presión: 2.5 bar.
- Caudal: 755 l/h.
- Diámetro de circunferencia de mojado: 20 m.
- Altura máxima del Chorro: 1.27 m.

Por esta configuración se escoge una determinación la cual se la presenta en la figura 2-5 en la cual debe de cumplir los espaciados de 6 metros entre cada aspersor y 6 metros entre cada línea teniendo 17 líneas de riego y 17 aspersores por línea. Y el área de riego es el cual está comprendido por cuatro aspersores formando un cuadrado. Esta área es el alcance que tiene la configuración de riego para los aspersores. Para el presente aspersor se muestra en la figura 2-5, la cual fue realizada por los autores del presente proyecto. El área de alcance es de 36 m^2 .

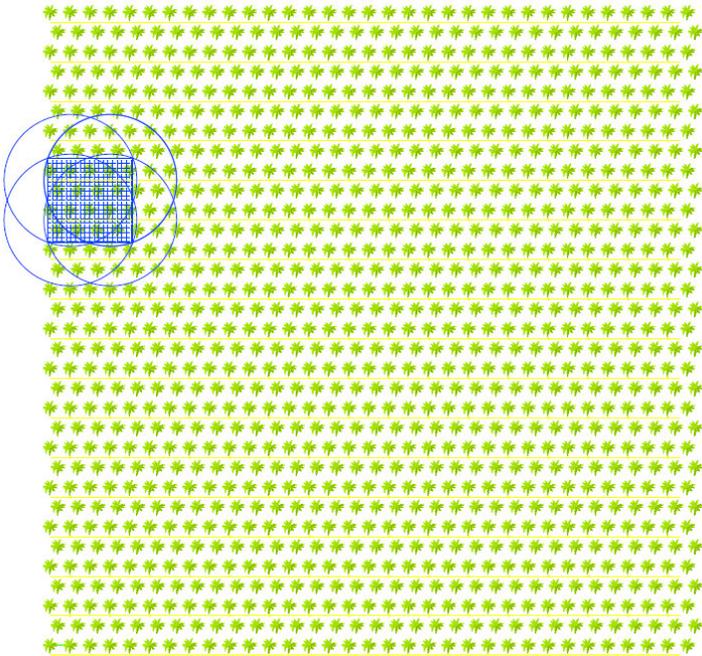


Figura 2-4. Área de riego en configuración de aspersores.

El área es la intersección entre 4 circunferencias de riego de cuatro aspersores lo cual da un área de 6 por 6 metros de lados como se muestra en la figura 2-6.

En los cuales se va a usar 17 ramales y en cada ramal tendría un número de 17 aspersores.

Total de aspersores por hectárea: 289 aspersores por hectárea de plantación.

Para esta configuración se va a necesitar los siguientes requerimientos. Tomados del manual de diseño de sistemas de riego tecnificado.

$$T.A. = \frac{Q_a}{D_1 \times D_2} \quad \text{ec. 2.1}$$

Siendo:

T.A.: Tasa de aplicación en mm/hora.

Qa: Caudal de operación del aspersor en lt/hora.

D1: Distancia entre aspersor horizontal en m.

D2: Distancia entre aspersor vertical en m.

Se obtuvo lo siguiente:

$$T.A. = \frac{755}{6 \times 6} = 20.97 \text{ mm/h}$$

Tasa de aplicación: 20.97 mm/hora es lo cual se debe de recuperar. Este dato nos ayuda a encontrar el tiempo de operación en 1 hectárea para cumplir los requerimientos de la mata de banano. Se calcula el tiempo de riego por medio de la siguiente ecuación.

$$T.R. = \frac{ETc}{T.A.} \quad \text{ec. 2.2}$$

Siendo:

T.R. = tiempo de riego en horas/día.

Ev: Evapotranspiración del cultivo en mm/día

$$T.R. = \frac{3.96}{20.97} = 0.18 \frac{\text{horas}}{\text{día}}$$

- Tiempo de aplicación: 0.18 horas/día = 10.8 min/día aproximado.

Los requerimientos se aproximan a la línea de abastecimiento terciaria. Siendo el caudal total que se debe de implementar en total en una hectárea. Esto se determina por medio de la cantidad de aspersores en una línea terciaria y la cantidad de líneas secundarias que debe de haber en una hectárea de plantación. Estos datos se los presenta en la Tabla 6.

Caudal en línea terciaria: $Q_a * 17$.

Caudal en línea Secundaria: Caudal línea terciaria *17.

Tabla 6. Requerimiento de caudales.

Línea de Abastecimiento	Caudal (GPM)	Caudal (m ³ /s)
Terciaria	56.51	$3,57 \times 10^{-3}$
Secundaria	508.59	0,03

2.6.1.1 Opción No 2.

Para la segunda opción, a tener en cuenta en el diseño se va a usar el siguiente modelo de aspersor.

Marca: VYR

Modelo: 65

La información es presentada en la página web del fabricante mediante los folletos del producto.

- Dos boquillas de 7.14 x 3.17 mm, círculo completo o por sectores.
- Alcance hasta diámetros de 43.8 m.
- Ángulos de trayectoria: 28º y 14º.



Figura 2-5. Aspersor VYR 65. Tomado de página web del fabricante.

Las condiciones de operación se presentan en la tabla 7. Esta tabla fue presentada por el fabricante en los folletos del producto. Se presentan diferentes caudales de operación con sus diferentes alcances respectivos.

Tabla 7. Condiciones de funcionamiento.

Presión (metros)	Caudal (litros/hora)	Diámetro (metros)
35	4472	36.6
42.0	4927	39.6
47.4	5064	40.8
52.7	5495	43.2
56	5632	43.8

Como se procedió en la opción anterior se procede a dimensionar el espaciamiento entre cada aspersor tomando en cuenta la tabla 6 y que se tiene velocidades de hasta 4m/s de viento en el sector de la plantación.

Se selecciona la configuración de 40.8 metros de diámetro con caudal de 5064 l/h. debido a la distribución existente en la hacienda como se mencionó en la opción 1.

El distanciamiento es calculado por el alcance en función a la velocidad de viento presente en la hacienda. La distribución sería la presentada en la figura 2-8 con su alcance de 144 m² de área de riego.

Se presenta el área de alcance que tiene la configuración

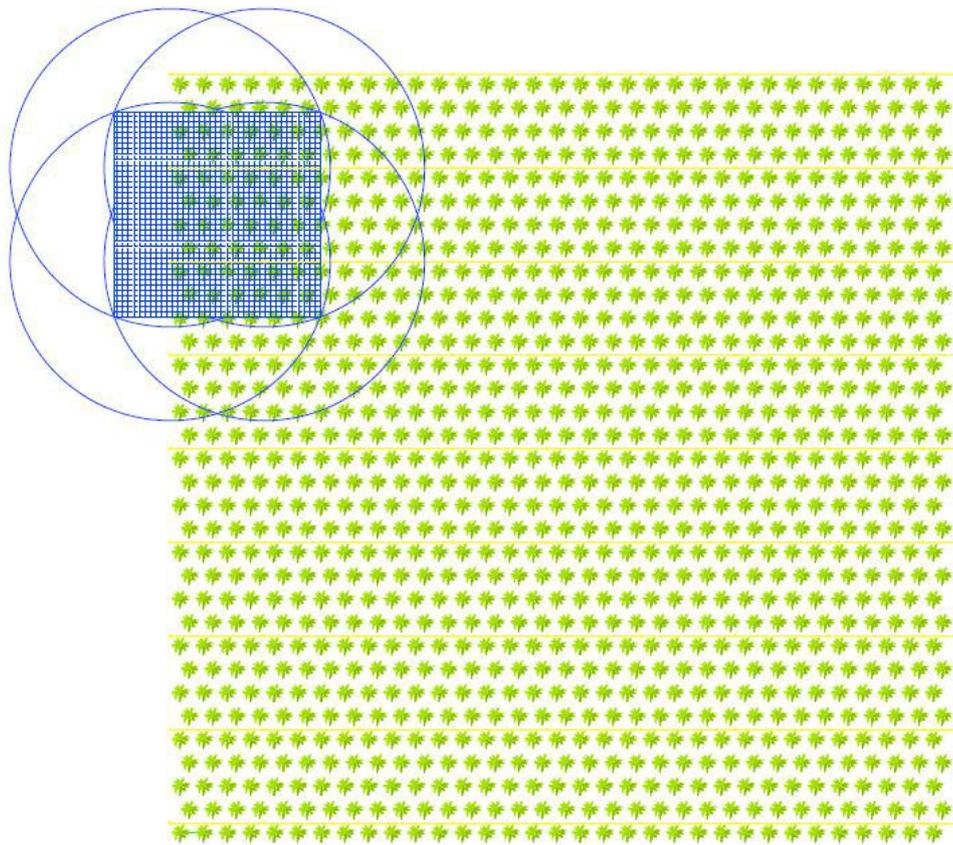


Figura 2-6 Área de riego en configuración de aspersor VYR 65.

Se obtiene un espaciamiento de 12 metros entre aspersor y entre líneas de aspersión.

Teniendo 9 líneas de aspersión y en cada línea se tiene 9 aspersores.

Total aspersores por hectárea: 81 aspersores aproximados.

Para esta configuración se va a necesitar los siguientes requerimientos calculados como se explicó en la opción 1.

- Tasa de Aplicación: 35.17 mm/hora
- Tiempo de aplicación: 0.08 horas/día = 6 min/día aproximado.

Los requerimientos se calcula en base a la cantidad de aspersores en la línea terciaria y la cantidad de líneas terciarias que debe de implementarse en una hectárea.

Caudal en línea terciaria: $Q_a * 9$.

Caudal en línea Secundaria: Caudal línea terciaria *9.

Los caudales se presentan en la tabla 8.

Tabla 8. Requerimientos de caudales.

Línea de Abastecimiento	Caudal (GPM)	Caudal (m3/s)
Ramales	200.67	0.01
Secundaria	1003.35	0,08

2.6.1.2 Opción No 3

Para la opción 3 se propone otra gama de aspersores con menores condiciones de operación considerando otra opción en el mercado. Los aspersores Mamkand 16. Con la siguiente información de operación. La información es presentada por los fabricantes mediante el folleto de Jain Irrigation en la figura 2.8 y figura 2.9.



Figura 2-7 Aspersor con accesorios Mamkand 16. Jain Irrigation.

color de boquilla	P (bar)	Q (l/h)	D (m)	Precipitación (mm/h) - Espaciamento (m)					
				6x6	6x7	7x7	7x8	8x8	8x9
Azul	2.0	135	14	3.8	3.2	2.8	2.4	2.1	
	2.5	151	14	4.1	3.5	3.0	2.7	2.3	
	3.0	165	14	4.6	3.9	3.4	2.9	2.6	
	3.5	178	13	5.0	4.3	3.7	3.2	2.8	
	4.0	192	13	5.3	4.5	3.9	3.4	3.0	
R.C.**	2.5-5.0	135	13	3.6	3.1	2.7	2.3	2.0	
Amarillo	2.0	180	15	4.8	4.1	3.5	3.1	2.7	
	2.5	201	14	5.6	4.8	4.1	3.6	3.1	
	3.0	220	14	6.1	5.2	4.5	3.9	3.4	
	3.5	238	14	6.7	5.7	4.9	4.3	3.7	
	4.0	255	14	7.0	6.0	5.1	4.5	3.9	
R.C.**	2.5-5.0	180	14	5.0	4.3	3.7	3.2	2.8	
Violeta	2.0	225	15	6.2	5.3	4.6	4.0	3.5	3.1
	2.5	252	15	7.0	6.0	5.1	4.5	3.9	3.5
	3.0	275	15	7.6	6.5	5.6	4.9	4.3	3.8
	3.5	297	15	8.3	7.1	6.1	5.3	4.6	4.1
	4.0	320	15	8.9	7.6	6.5	5.7	5.0	4.4
R.C.**	2.5-5.0	225	15	6.1	5.3	4.5	3.9	3.4	3.1
Negro	2.0	270	16	7.4	6.4	5.4	4.8	4.2	3.7
	2.5	302	16	8.4	7.2	6.2	5.4	4.7	4.2
	3.0	330	16	9.2	7.9	6.7	5.9	5.2	4.6
	3.5	356	16	9.9	8.5	7.3	6.4	5.6	5.0
	4.0	383	16	10.6	9.1	7.8	6.8	6.0	5.3
R.C.**	2.5-5.0	270	16	7.4	6.3	5.4	4.7	4.1	3.7

Código de color - Uniformidad de distribución CU > 92% CU 88-92% CU 85-88% CU < 85%

Figura 2-8. Configuraciones de operación del aspersor.

Las condiciones son muy bajas por lo cual no es requerido mayores cálculos para entrar a la decisión de selección. Por lo cual no es necesario calculo ya que los requerimientos van a ser mucho más altos en comparación a las opciones presentadas anteriormente. Con alcances máximos de hasta 16 metros.

2.7 Matriz de decisión

Para la decisión al elemento principal el cual es el aspersor se va a utilizar una matriz de decisión entre las tres opciones, teniendo las siguientes condiciones con sus respectivas ponderaciones:

- Cantidad de aspersores y materiales a usar. (40%)
- Requerimientos del sistema (20%)
- Adaptabilidad del sistema (20%)
- Área de riego (20%)

Se define la matriz de decisión de la siguiente manera:

Tabla 9. Matriz de decisión

	Opción 1		Opción 2		Opción 3	
	Calificación (sobre 10)	Calificación Ponderada	Calificación (sobre 10)	Calificación Ponderada	Calificación (sobre 10)	Calificación Ponderada
Cantidad de Aspersores (40%)	4	0,16	8	0,32	3	0,09
Requerimientos del sistema (20%)	4	0,16	6	0,12	2	0,04
Adaptabilidad del sistema (20%)	7	0,14	5	0,1	4	0,16
Área de riego (20%)	4	0,08	8	0,16	1	0,01
Total		0,54		0,70		0,26

Como resultado de la matriz de decisión se procede a utilizar la opción No 2.

2.8 Resumen de método de diseño a usar

Para el sistema de riego que se presenta en el diseño de este proyecto primero se debe de proporcionar las siguientes condiciones para que el riego sea adecuado. Se presenta en la tabla 10. La información necesaria para implementar la solución al problema en base a la selección de aspersor más adecuado.

Tabla 10. Resumen de necesidades del cultivo Calculado a lo largo del capítulo 2.

Evapotranspiración Cultivo	3,96 mm/día
Lamina Neta	3.12 mm
Requerimiento Bruto	4.95 mm/día
Frecuencia de Riego	15 horas

Estos datos son representantes de lo que necesita por unidad de área el cultivo plantado en la localidad en la cual se va a diseñar, con sus condiciones meteorológicas.

2.9 Resumen de metodología de diseño.

Para el diseño de sistema por aspersión se usa el aspersor VYR Modelo: 65En base a lo que se seleccionó en este capítulo en la opción 2. Se obtuvo la información de la tabla 11.

Tabla 11. Información del sistema a implementar en base a la selección.

Distancia entre aspersores	12 m
----------------------------	------

Distancia entre líneas de riego	12 m
Tiempo de riego	10 minutos
Caudal por aspersor	5064 litros/h

En el capítulo 3 se presenta el diseño específico del sistema de riego para la plantación de 20 hectáreas.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

3.1. Implementación de diseño

En el capítulo 2 se seleccionó la metodología de diseño a aplicar y con ello los requerimientos del cultivo y de la forma como se va a proceder a resolver.

Los requerimientos fueron los presentados en la tabla 12, los cuales se obtuvieron a lo largo del capítulo 2 con los cálculos adecuados.

Tabla 12. Resumen necesidades del sistema

Evapotranspiración cultivo	3,96 mm/día
Lámina neta	3.12 mm
Requerimiento bruto	4.95 mm/día
Frecuencia de riego	15 horas
Distancia entre aspersores	12 m
Distancia entre líneas de riego	12 m
Tiempo de riego	10 minutos
Caudal por aspersor	5064 litros/h

Los aspersores están distribuidos de una forma cuadrangular con tiempos de riego total de 160 minutos, este dato fue calculado en base a los requerimientos del cultivo en la hacienda y en selección del aspersor.

3.2. Sectorización del terreno de cultivo

Para poder regar de manera independiente cada parte de la hacienda, se procede a dividirla en sectores toda la hacienda, para de esta forma poder diseñar un sistema el cual se pueda realizar el riego de manera independiente y no tener requerimientos muy altos en caso de que se quisiera regar toda la hacienda al mismo tiempo. El fin de realizar la sectorización es poder regar por partes nos permite realizar el cálculo del sector más crítico y poder seleccionar un sistema de bombeo adecuado.

3.2.1 Sectores de riego

El área de la división comprende en sectores de riego los cuales permite manejar menores caudales y de esta manera permitir conseguir operaciones con menores pérdidas de fricción.

La hacienda tiene una forma irregular por lo cual se debe tomar en cuenta para por realizar los bloques en forma más adecuada.

Se trata de realizar bloques de 1 hectárea aproximada, con el propósito de manejar las mismas cantidades de aspersores en cada boque.

En cada bloque se tendrá 9 líneas de riego y en cada línea de riego contará con 9 aspersores en su totalidad.

3.2.2 Trazado de bloques en el plano.

Una vez que se definen los bloques y sus dimensiones se debe de trazar en el plano topográfico de la hacienda. En totalidad se obtuvo un aproximado de 16 bloques de riego de diferentes áreas, ya que al trazar en el área de la plantación se obtuvo la mejor distribución en la cantidad de sectores mencionado. El plano de las áreas se lo presenta en el plano 1.

En este plano se deben de dibujar las líneas secundarias y ubicando las válvulas de control correspondientes, como no existen pendientes considerables, este factor no se tomó en cuenta.

Los números de aspersores y su consumo de caudal se presentan (tabla 13) distribuidos los aspersores con el espaciamiento de las tuberías y distancia entre aspersores encontradas previamente. Se encuentra la cantidad y se analiza en la siguiente tabla. Cada aspensor consume aproximadamente 22.17 GPM.

Tabla 13: Cantidad de Aspersores por bloque de riego.

Bloque	Número de Aspersores	Consumo Caudal (GPM)
A	47	1042.93
B	32	710.08
C	24	532.56
D	69	1531.11
E	64	1420.16
F	64	1420.16
G	36	798.84
H	64	1420.16
I	64	1420.16
J	61	1353.59
K	63	1397.97
L	69	1531.11
M	55	1220.45
N	67	1486.73
O	59	1531.11
P	59	1531.11

Teniendo el mayor consumo correspondiente 1531.11 GPM, en los bloques D y L. Posteriormente, se va a usar estos bloques para los cálculos necesarios del diseño. Pero los bloques más lejanos los cuales son los O y P, son los que requieren análisis de la tubería principal por consideración de requerimientos más críticos para el diseño del sistema de riego. El bloque O se lo presenta (figura 3-1). Las líneas amarillas son las tuberías terciarias, y las líneas rojas son los límites entre cada bloque de riego.

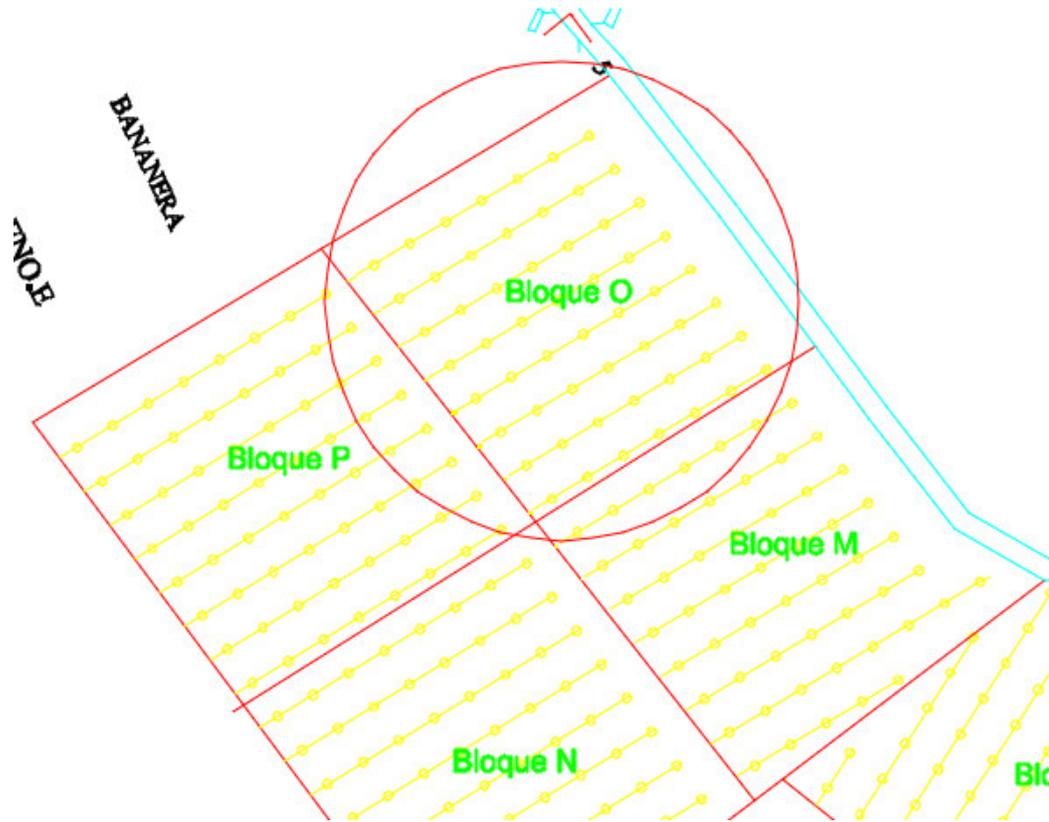


Figura 3-1. Bloque O

3.3 Determinación de diámetros de tuberías.

Para la determinación de los diámetros de las líneas primarias, secundarias y terciarias se considera el criterio (tomado del manual de diseño de sistemas de riego tecnificado) en el cual las pérdidas por fricción en las líneas terciarias y secundarias no deben de pasar del 20% de presión de trabajo de los aspersores.

La variación permisible de presión con respecto a la presión de operación de los aspersores seleccionados es la presión de operación por el 20% como dice el criterio. Las pérdidas de las líneas terciarias, secundarias y primarias no pueden exceder el 20% del cabezal de operación de los aspersores

$$\Delta H = 0.2 \times 47.4m = 9.48m = 13.48 \text{ psi}$$

Lo cual se define de la siguiente manera:

$$h_{f\text{terciaria}} + h_{f\text{secundaria}} \pm h_{\text{desnivel}} \leq 9.48 \text{ m}$$

Esta ecuación se utilizara posteriormente.

3.3.1 Determinación de diámetro de línea terciaria.

Para determinar los diámetros se utiliza la siguiente ecuación (tomada del manual de diseño de sistemas de riego tecnificado):

$$V = \frac{1273Q}{D^2}$$

Se despeja D.

$$D = \sqrt{\frac{1273Q}{V}}$$

Donde:

V: Velocidad del flujo en la tubería.

Q: Caudal.

D: Diámetro de tubería.

El caudal Q es el que se requiere para los aspersores en la línea secundaria, teniendo 9 aspersores por línea.

$$Q = 9 \times q_{aspersores} = 9 \times 1.40 \text{ l/s} = 12.66 \text{ l/s}$$

Se utiliza el criterio en el cual la velocidad no debe de superar una velocidad nominal de 1.5 m/s, lo cual se recomienda como valor medio del flujo en una tubería para no tener pérdidas muy grandes ni tamaños de tuberías exagerados (tomado del “Manual de diseño de sistemas de riego tecnificado”). Se reemplazan estos valores en la ecuación presentada para obtener el diámetro de la tubería de la línea terciaria.

$$D = \sqrt{\frac{1273(12.66 \text{ l/s})}{1.5 \text{ m/s}}} = 102 \text{ mm}$$

El diámetro interior de la tubería no debe ser menor de los 102mm, lo cual si existe en el mercado de material PVC para presiones de trabajo requeridas. Se muestra en un esquema el consumo de cada aspersor del caudal de la línea terciaria en la figura 3-2. Las tuberías se dimensionaron y seleccionaron en base a las que nos presenta plastigama. Sus diámetros e información se presentan en el apéndice F.

3.3.1.1 Cálculo de pérdida de carga por fricción en la línea terciaria.

Para poder determinar las pérdidas primero se debe de proceder a determinar el número de Reynolds para poder determinar qué método se utiliza para encontrar las pérdidas. Cada línea terciaria consume 12.4 l/s (2016 GPM).

En la tabla 14 se determina las pérdidas para cada tramo dentro de un mismo ramal. Y también se lo representa en la siguiente gráfica (figura 3-2). Tomado de los planos.

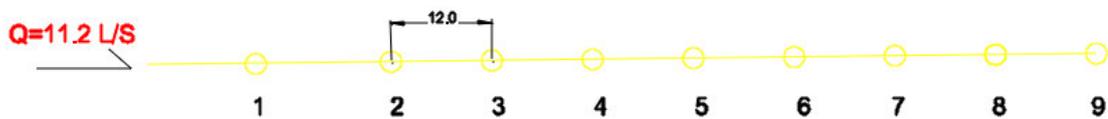


Figura 3-2. Aspersores de una línea terciaria del bloque 0.

La distancia que se observa es de 12 m entre cada aspersor.

Se calcula en una línea terciaria el caudal consumido de línea a línea, el consumo es de 22 GPM por aspersor. El diámetro, pérdidas, número de Reynolds con las ecuaciones mencionadas en el Capítulo 1 y Capítulo 3. Para encontrar la pérdida en una línea sumando todas las pérdidas encontradas.

Tabla 14. Pérdidas en la línea terciaria

Tramo	1 a 2	2 a 3	3 a 4	4 a 5	5 a 6	6 a 7	7 a 8	8 a 9
Caudal (l/s)	11.2	9.8	8.4	7	5.6	4.2	2.8	1.4
Diámetro interior (mm)	104.6	104.6	104.6	104.6	104.6	104.6	104.6	104.6
Longitud (m)	12	12	12	12	12	12	12	12
Velocidad (m/s)	1.303	1.140	0.977	0.814	0.651	0.488	0.325	0.162
Número de Reynolds	13589	118910	101923	84936	67949	50961	33974	16987
Pérdida de carga (m)	0.200	0.145	0.115	0.0829	0.055	0.033	0.016	0.004

Pérdidas Totales por línea terciaria (m) = 0.653

3.3.2 Determinación de diámetro de línea secundaria.

Se procede a realizar el mismo cálculo que se presentó para la línea terciaria. La línea secundaria alimenta a las 8 líneas terciarias (en el bloque O). El caudal que se requiere para la línea secundaria es el siguiente:

$$Q_{secundaria} = 8 \times Q_{terciaria} = 8 \times 12.4 \text{ l/s} = 99.2 \text{ l/s}$$

El diámetro es el siguiente:

$$D = \sqrt{\frac{1237(99.2 \text{ l/s})}{2 \text{ m/s}}} = 247 \text{ mm}$$

El diámetro interior que se selecciona es de 250 mm en material PVC.

3.3.2.1 Determinación de pérdidas en la tubería secundaria.

Cada línea terciaria consume un total de 12.4 l/s, teniendo un total de 99.2 l/s de flujo volumétrico para poder abastecer las 8 líneas terciarias. A continuación se presenta un esquema de la distribución de caudal en la línea secundaria con distancias de 12 m entre cada línea terciaria (ver figura 3.3).

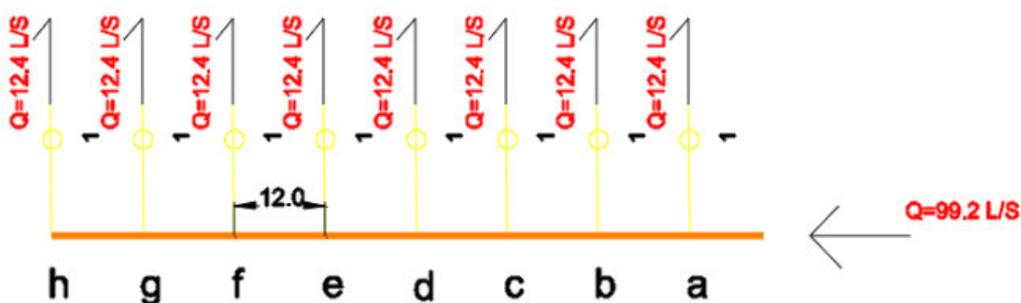


Figura 3-3. Caudal necesario para línea secundaria.

De la misma manera se procede a calcular los consumos de caudal, diámetros, número de Reynolds y pérdidas en el tramo de una línea secundaria basteciendo las líneas terciarias, estos resultados se calculan y se detallan en la tabla 15.

Tabla 15. Pérdidas en la línea secundaria

Tramo	a - b	b - c	c - d	d - e	e - f	f-g	g-h
Caudal (l/s)	89	76.67	64.34	52.01	39.68	27.35	15.02
Diámetro interior (mm)	250	250	250	250	250	250	250
Longitud (m)	12	12	12	12	12	12	12
Velocidad (m/s)	1.812	1.56	1.310	1.059	0.808	0.557	0.305
Número de Reynolds	451832	389235.9	326639.3	264042.2	201446.2	138849.651	76253.0
Pérdida de carga (m)	0.1126	0.089	0.067	0.0467	0.0303	0.0144	0.004

Pérdidas Totales línea secundaria (m)= 0.365

Se revisa que las pérdidas no pasen de lo que previamente se delimitó en la ecuación:

$$h_{f\text{terciaria}} + h_{f\text{secundaria}} \pm h_{\text{desnivel}} \leq 9.48 \text{ m}$$

Pérdidas por desnivel no hay ya que el existente es despreciable.

$$12 \times 0.6538 + 0.3654 \pm 0 \leq 9.48 \text{ m}$$

$$8.211 \leq 9.48 \text{ m}$$

Las condiciones son aceptables dentro del sistema de riego (bloque O, el más crítico para consideraciones de diseño), según lo recomendado en “Manual de diseño de sistemas de riego tecnificado”.

3.3.3 Determinación del diámetro de la línea principal.

En la línea principal se va a usar diámetro comercial de material de acero de alto contenido de carbono comercial, por consideraciones del uso, ya que la tubería va a estar enterrada.

La velocidad no puede variar más de 2.5 m/s ya que implicaría diámetro muy pequeño y para valores mayores implicaría en cambio perdidas muy altas. Se utilizó velocidad de 1.10 m/s con diámetro de 238.7 mm por consideraciones de que es de fácil acceso de compra y las pérdidas a dicha velocidad son aceptables. Como se ve en el plano después de haber sectorizado y haber ubicado la localidad de la estación de bombeo. La longitud de la línea principal tiene un aproximado de 922 m. Considerando el caudal que se

necesita en el sector más crítico y lejano el cual es el bloque O. Con un requerimiento de consumo de 1531.11 GPM.

Las pérdidas se las presentan en la tabla 16, calculando como se menciona a lo largo del capítulo 3 y capítulo 1, caudal, diámetro, número de Reynolds y pérdidas en el bloque O.

Tabla 16. Pérdidas en la línea primaria

Caudal (l/s)	99.2
Diámetro interior (mm)	238.7
Longitud (m)	922
Velocidad (m/s)	1.11
Número de Reynolds	237088.7338
Pérdida de carga (m)	24.37

3.4 Determinación de dimensión de válvulas de control.

Las válvulas de control cumplen una función muy importante. Es de poner control a cada funcionamiento de riego en cada bloque. Dando el control al operador de del riego por bloques.

Para poder determinar las válvulas de control se debe de usar el caudal entrante a cada bloque. Como se mencionó previamente se usa el caudal de los bloques con mayor consumo para el diseño. Este consumo es de 1531.11 GPM (0.1 m³/s) utilizando el gráfico y las tablas que se presentan en el Apéndice D. Se selecciona la válvula de control de 8" de diámetro. La pérdida está determinada por el gráfico del fabricante y para la operación la pérdida sería la siguiente.

La pérdida sería de 0.08 bar (0.82 m) por cada válvula de control a usar. Según el fabricante de las válvulas de control.

3.5 Determinación y ubicación de válvulas de aire

Cuando la tubería empieza a llenarse de agua, el aire que se encontraba dentro de la tubería empezará a comprimirse teniendo como consecuencia subida de la presión. En el caso contrario al momento de que la tubería se vacíe por varios casos, existirán

presiones negativas, las cuales podrían llegar a hacer colapsar la tubería o causar lo que se conoce como golpe de ariete. Para poder solucionar estos inconvenientes se debe instalar válvulas de aire, las cuales son dimensionadas de acuerdo al caudal que circula por la tubería.

Para poder seleccionar las válvulas de expulsión y admisión de aire se procede a transformar el flujo que tenemos en las líneas principales antes de entrar a cada sector, en PCAS (pies cúbicos de aire por segundo) para poder determinar la dimensión de las válvulas a usar. La gráfica se presenta en apéndice E.

$$PCAS = \frac{Q}{28.32} = \frac{253.21}{28.32} = 8.9 \approx 9$$

Con este dato se procede a seleccionar en el cuadro que se presenta a continuación, se elige el diámetro de la válvula sin exceder una presión de 2 lb/pulg².

Gracias al gráfico (Apéndice G) se escoge el diámetro de 4”.

3.6 Cálculo y selección de estación de bombeo.

Para proceder a la selección del sistema de bomba se debe de seleccionar como componente importante para abastecer el sistema de riego de agua:

- Bomba
- Motor de abastecimiento.

3.6.1 Calculo de bomba a usarse

El cálculo de la estación de bombeo implica seleccionar la bomba y la alimentación de poder, para esto se debe tener todos los requerimientos definidos, tales como pérdidas de las tuberías, accesorios y caudales requeridos.

Las pérdidas por accesorios son las siguientes una vez realizado el bosquejo del sistema de riego se muestra el total de accesorios a implementar en el sistema en la tubería principal (tabla 17). Las pérdidas se las calcula en base al accesorio tomando los valores de la tabla que se presenta en los apéndices B y C.

Tabla 17. Perdidas a considerarse en tubería principal.

Pérdidas por accesorios	Número de accesorios	Pérdidas (m)
Válvulas de control	17	13.94

Codos 90°	6	0.55
Uniones tipo T	8	0.44

Lo principal que debe de cumplir el sistema es que la presión de operación de los aspersores de ben de cumplirse. Como se estableció en el capítulo 2. La presión de operación del aspersor seleccionado es de 47.3 m, dato importante para cumplir el correcto funcionamiento del sistema de riego.

Tomando en cuenta las pérdidas que se de las líneas primarias, secundarias y terciarias las pérdidas totales para abastecer al sector a analizar es el siguiente:

hd: cabezal de operación de los aspersores.

hf: pérdidas del sistema (perdidas en tuberías y perdidas de accesorios).

hf = 47.511 m

Cabezal total: $hd+hf= 47.3 + 47.511 = 94.811$ m.

3.6.2 Selección de bomba.

Para la selección de la bomba se utiliza la aplicación que nos facilita el fabricante GOULD PUMPS. Las gráficas, información de operación va a ser presentado en base a un software de selección de bombas del fabricante. Se procede a usar el software de selección en base a la familia de bombas de modelo 3700. Un bosquejo de las bombas se presenta en la figura 3.4, e cual es suministrado por el fabricante como ejemplo.



Figura 3-4. Modelo 3700 Bomba Gould

Hydraulic Coverage 60 Hz

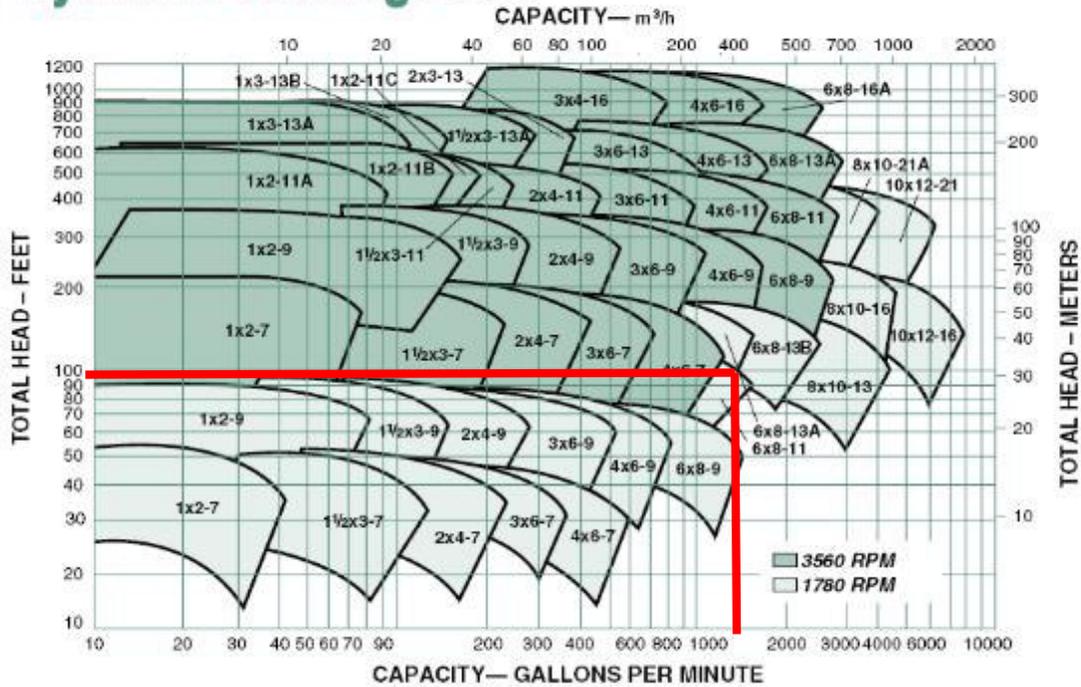


Figura 3-5. Modelos de la serie 3700.

El gráfico que se presenta en la figura 3-5, es el correspondiente a la familia de modelos 3700.

Usando los requerimientos más críticos del sistema, los cuales son de 1533.11 GPM y 95 m de cabezal, se puede observar que el modelo las bombas que pueden cumplir estos requerimientos son de los modelos 6x8-11 a 3560 RPM.

Las curvas de operación se presentan en la figura 6x8-11 suministrado por el software de selección en la gráfica 3-6 y 3-7.

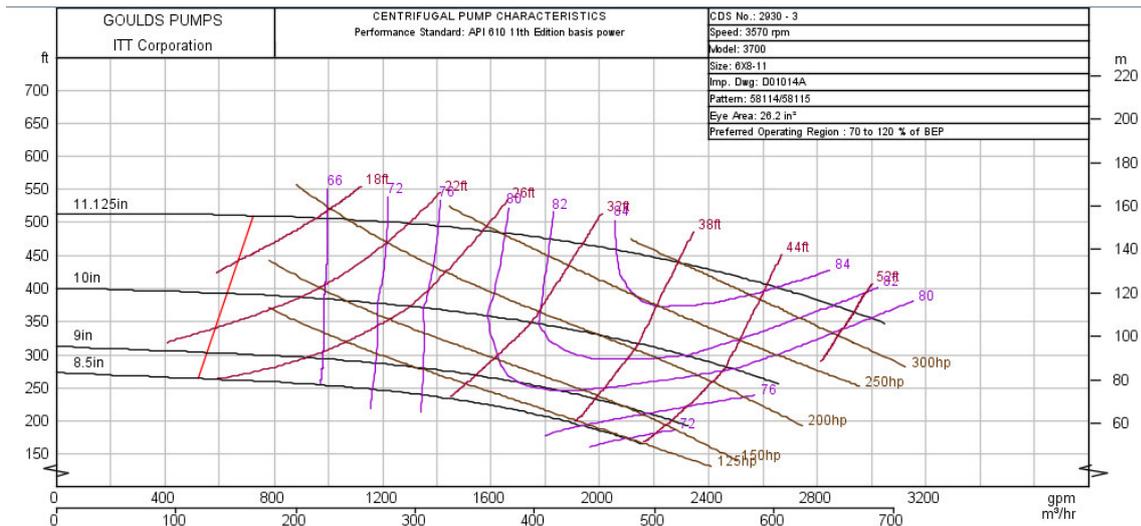


Figura 3-6. Operación de diferentes dimensiones de bomba 6x8-11

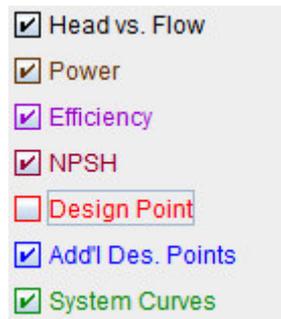


Figura 3-7. Colores de curvas de operación de bomba 6x8-11

Utilizando los puntos de operación se puede observar que se va a utilizar la bomba con diámetro de impele de 10 pulgadas por consideración de operación a 94 m de cabezal y 1533.11 Gpm.

La curva específica de operación, se presenta en la figura 3-8 para el funcionamiento de la bomba seleccionada con el impele correcto suministrado por el fabricante.

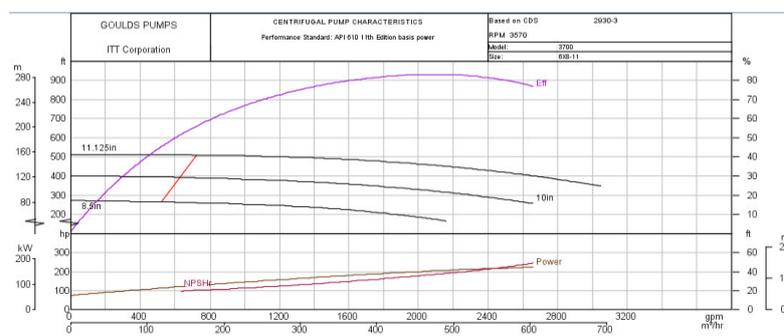


Figura 3-8. Operación de bomba modelo 6x8-11 con impele de 10"

Para los puntos de operación (1533.11 Gpm y 94 m), se obtendría una eficiencia de 80% aproximado con potencia para esta operación es de 100 hp.

3.7 Cálculo NPSHA.

Este factor es la altura neta positiva disponible la cual tiene que ser mayor el cual es requerido por la bomba, a lo que se denomina NPSHR.

Se debe de cumplir la siguiente expresión tomado del libro “mecánica de fluidos” de F. White.

$$NPSHA \geq NPSHR$$

El NPSHR se le encuentra dentro de la gráfica de operación (ver figura 3-8). Para la operación más crítica (1533.11 GPM y 92 m de cabezal) se obtiene en la bomba de 10 pulgadas de imple:

NPSHR: 6 m.

Se procede a encontrar el NPSHA el cual se define por la siguiente expresión (tomado del libro “mecánica de fluidos de F. White”):

$$NPSHA = (H_o - H_v) - H_s - H_f$$

De tabla del apéndice J se encuentra:

$$(H_o - H_v) = 10.1 \text{ m.}$$

H_s: Altura del eje del rotor de la bomba arriba de la superficie de agua = 0.5m

H_f: Pérdida de carga en succión = 0.06m

$$NPSHA = 10.1 - 0.5 - 0.06 = 9.54 \text{ m}$$

Reemplazando en la expresión:

$9.54 \geq 6$, lo cual si cumple evitando la cavitación en la bomba.

3.8 Selección de motor para la bomba.

En la gráfica (ver figura 3-8) se observa que se requiere una potencia aproximada de 100 HP para alimentar la bomba. También se calcula la potencia requerida para verificar lo determinado en la gráfica de operación de la bomba seleccionada.

La expresión (tomada de “mecánica de fluidos de F. White”) para el cálculo es la siguiente:

$$N = \frac{Q \times H}{3600 \times Ef}$$

Q (caudal)= 1533.11 GPM.

H (cabezal)= 318.24 ft.

Ef. (Eficiencia)= 0.80

$$N = \frac{1533.11 \times 318.24}{3600 \times 0.8} = 167 \text{ HP}$$

Se requiere un motor que pueda proporcionar como mínimo 167 HP, cual fue calculado, para poder abastecer las condiciones más críticas del sistema.

3.8.1 Pérdidas en el motor

Para una mejor selección del motor se considera los siguientes factores que afectan la eficiencia de desempeño del motor recomendado por el “manual de diseño de sistema de riego tecnificado”:

Temperatura. (Pérdida de 2.5%)

Transmisión. (90%)

El detalle de las pérdidas se presenta en la siguiente tabla 18 calculando el aumento de potencia requerido.

Tabla 18. Perdidas de potencia.

Potencia motor (HP)	167
Pérdida por transmisión 90% (HP)	185
Pérdida por aumento de temperatura 2.5% (HP)	189.8

Se requiere un motor con potencia mínima de 189 HP, para que cumpla con los requerimientos del sistema de riego.

3.8.2 Motor Seleccionado

Ya que el desempeño que va a realizar el motor se lo considera como trabajo en campo se selecciona un motor de combustión interna. Ante la posibilidad de crecimiento de la hacienda se selecciona un motor con mayor capacidad. El motor de combustión interna se lo presenta en la figura 3-9, lo cual se lo tomo de la página web del fabricante. La información necesaria se detalla en la tabla 19, también presentada por el fabricante.



Figura 3-9. Motor modelo QSB6.7

Tabla 19. Especificaciones de motor seleccionado.

Marca Comercial:	Cummins
Serie y Modelo:	QSB6.7 para agricultura
Tipo motor:	6 Cilindros en línea, 4 tiempos
Rangos Torque:	485-730 lb-ft
Rangos Potencia:	146-300 hp
Capacidad:	6.7 Litros

3.9 Costos de diseño

3.9.1 Costos de materiales y equipos

Este proyecto se enfoca en el diseño y no a la instalación, por lo cual se procedió a realizar un estudio aproximado de los materiales que se van a usar en el diseño presentado. Los posibles costos de la implementación e instalación no se los tomó en cuenta. Los costos presentados son aproximados obtenidos por medios locales o páginas web de los representantes de las marcas (tabla 20). Las especificaciones se encuentran dentro del apéndice H.

Tabla 20. Costos de materiales y equipos

Costo sistema PVC	\$ 6000.00
Costo tubería Principal	\$ 4000.00
Costo aspersores y accesorios.	\$ 14000.00
Costo Sistema motor-bomba	\$ 12000.00
Costo de materiales para cuarto de bomba	\$ 500.00
Total	\$36500.00

Lo cual se obtuvo un costo aproximado por hectárea de: \$ 1825.00

3.9.2 Costos de operación

Los costos de operación están ligados al consumo de combustible para la alimentación de potencia a la bomba en la operación. Según la tabla que se presenta en el apéndice I, el consumo de combustible es de 47.3L/hr a la potencia requerida.

La expresión para encontrar el consumo de combustible es la siguiente (tomado de “manual de diseño de sistemas de riego tecnificado”):

$$C_c = T \times F$$

T (Tiempo de trabajo): 2 hr.

F (consumo motor): 47.3L/hr.

$$C_c = 47.3 \times 2 = 94.6 \text{ l.}$$

$$C_c = 21.48 \text{ Galones.}$$

El consumo considerando un precio de \$1.05 el galón actual.

El costo por día de operación: $21.48 \times 1.05 = \$ 22.55$ diarios de combustible.

3.9.3 Costo del Consumo necesario de agua.

El consumo de agua necesario se calculó teniendo en cuenta el precio del metro cubico, el tiempo de riego, el caudal necesario y las 20 hectáreas a regar.

Costo agua= $348 \text{ m}^3/\text{hr} \times 20 \text{ ha} \times 2 \text{ hr} \times 0.01 \text{ \$/m}^3 = \$ 139.27$ por operación.

CAPÍTULO 4

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Al haber finalizado el proceso de diseño de este proyecto, se encontró lo importante que es el conocimiento técnico al realizar algo como un sistema de riego para una plantación. Como profesional cuando se realiza un proyecto, se debe realizar teniendo en cuenta todos los factores que estén en relación al sistema de riego como el suelo, temperatura local, velocidades de viento, necesidades hídricas de la planta, humedad, entre otras.

Ya que la plantación se encuentra en una hacienda familiar se tuvo acceso a los datos, y el problema en sí, se puede determinar que la hacienda no cuenta con un alto rendimiento en todo lo que corresponde al sistema de riego.

El sistema que actualmente se encuentra empleado en la hacienda, es un sistema el cual fue realizado sin ninguna consideración técnica. Lo cual brinda resultados los cuales pueden ser mejorados, de allí nació el problema el cual se busca una solución en el presente proyecto de graduación.

Las mayores dificultades encontradas en el desarrollo del proyecto fue la falta de información técnica en el área de agronomía para el desarrollo efectivo del presente proyecto. Lo que implicó una inversión de tiempo en auto informarse de conocimientos técnicos en los requerimientos adecuados de una plantación de banano de 20 hectáreas. Con los conocimientos necesarios se llegó a un diseño adecuado, siempre en búsqueda de reducir tiempos de operaciones y cumpliendo los requerimientos establecidos por el sistema de riego. Poniendo en ejecución el sistema de riego se va a mejorar no sólo las condiciones de los cultivos, así como el tiempo invertido diario en los días de trabajo en la hacienda.

4.1 Conclusiones

1. La ubicación de la hacienda presenta condiciones tanto de suelo como climáticas favorables para la plantación de banano tipo Cavendish. El clima más crítico se presenta en los meses de septiembre y agosto con evapotranspiración de 3.96 mm/día, en la cual se requiere dosis de riego de 4.96 mm/día para poder abastecer de agua y tener condiciones favorables para el desarrollo del cultivo. En las condiciones más desfavorables, se debe de suministrar el riego en intervalos mínimos de 15 horas.
2. Se seleccionaron aspersores marca VR modelo 65 para el cumplimiento de riego de la plantación. Con una distribución de 12 m x 12 m cuadrada con presión y caudal de 47.4 m y 5064 litros/h por aspersor.
3. Para un buen control y un riego con tiempos establecidos se sectorizo la hacienda. Obteniendo 16 bloques de riego con áreas aproximadas de 1 hectárea por bloque. Se estableció un total de 897 aspersores en total a lo largo de los 16 bloques de riego.
4. Se consideró el bloque "O" con condiciones más críticas de riego como dato de diseño. En el bloque se requiere un caudal de 15311.11GPM y un cabezal de 92 m.
5. El tiempo que se debe de invertir en la jornada de riego por bloque es de aproximados 10 minutos, optimizando el tiempo necesario de riego en el sistema riego para un total de 160 minutos por jornada de riego en las 20 hectáreas de la hacienda.
6. La bomba seleccionada para abastecer el sistema es la Gould Pump serie 3700 modelo 8x-11 con imple de diámetro de 10 pulgadas. Trabajando con eficiencia de 80% para las condiciones de diseño más críticas. Requiriendo 167 Hp de potencia para lo cual se seleccionó el motor de combustión interna marca Cummins modelo QSB6.7.
7. Los costos necesarios de inversión de materiales y equipos ascienden a \$36500 aproximadamente, lo cual nos da un costo por hectárea de \$1825.00. Los costos de operación son de \$22.57 de combustible y \$139.70 en agua necesaria para cada operación de riego en la plantación.

4.2 **Recomendaciones**

1. Al haber desarrollado el presente proyecto se pudo apreciar la importancia del cálculo detallado para los sistemas de riego. Con esta información se encontraría tiempos, consumos y dinero de inversión, adecuado para el sistema específico que se quiera implementar. Es recomendable tener a la mano siempre toda la información para el desarrollo de cálculos necesarios, como condiciones de suelo o meteorológicas de la plantación.
2. Como posible continuación se debe de llevar un registro correcto de las operaciones de riego con la información detallada como tiempo, orden de riego, consumo de combustible, consumo de agua y operador.
3. Para un futuro se recomendaría diseñar un sistema de control para las válvulas de cada sector. Teniendo más control y menos tiempo de movilización de operación por parte de la persona encargada de la manipulación de las válvulas mencionadas.

BIBLIOGRAFÍA

- Gaete Vergara Leonardo. (2001). Manual de diseño de sistemas de riego tecnificado. Universidad de Talca: Escuela Ingeniería Ejecución Mecánica.
- Cárdenas Irina & Vera Ramón N. (2010). Diseño e instalación de un sistema de riego por aspersión para 50 hectáreas de cultivo de palma aceitera (*Elaeis guineensis*) en la provincia del guayas. ESPOL: Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción.
- FAO. (1987). Manejo del agua de riego, manual de campo N°1, Introducción al riego. Organización de las naciones unidas para la agricultura y alimentación: Naciones unidas.
- FAO. (1987). Manejo del agua de riego, manual de campo N°2, Elementos de agrimensura. Organización de las naciones unidas para la agricultura y alimentación: Naciones unidas.
- FAO. (1994). Manejo del agua de riego, Manual de campo N°6, Necesidades y abastecimiento de agua de los sistemas de riego. Organización de las naciones unidas para la agricultura y alimentación: Naciones unidas.
- Frank White. (2015). Mecánica de Fluidos. España: McGraw-Hill.
- Jain irrigation systems. (2013). Aspersores naandanJan. Estados Unidos: NJain irrigation
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2011). Anuario Meteorológico. Ecuador: Ministerio de Energía y Minas.
- Plastigama. (2015). Tuberías y Accesorios de PVC y PEBD. Ecuador: Mexichem.

Cummins. (2015). Quantum Series Engine. Septiembre/7/2015, de Cummins Sitio web:
<http://cumminsengines.com/brochuredownload.aspx?brochureid=121>

APÉNDICES

APÉNDICE A.

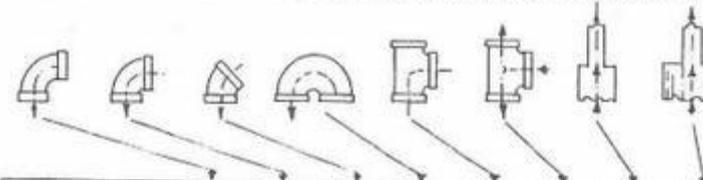
Coefficiente de cultivo para diferente etapas de desarrollo

Cultivo	Kc inicial	Kc medio	Kc final	Maxima Altura (m)
Caña de azúcar	0.40	1.25	0.75	3
Frutas tropicales y árboles				
Banana	0.50	1.10	1.00	3
Cacao	1.00	1.05	1.05	3
Café	0.90	0.95	0.95	2-3
Palma	0.95	1.00	1.00	8
Piña	0.50	0.30	0.30	0.6-1.2
Caucho	0.95	1.00	1.00	10
Te	0.95	1.00	1.00	1.5

APÉNDICE B

Perdidas de cargas en accesorios

ÁBACO DE PÉRDIDAS DE CARGA EN ACCESORIO PARA TUBERÍAS DE HIERRO

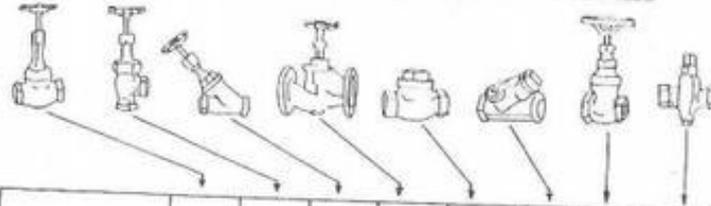


PASO NOMINAL		CURVA 90°	CODO 90°	CODO 45°	DOBLE CURVA	T NORMAL	T NORMAL SAL. LATERAL	REDUCCION	SALIDA ORDINARIA
mm.	pulgadas								
15	1/2"	0,30	0,50	0,22	1,10	1,	1	0,16	0,26
20	3/4"	0,42	0,65	0,30	1,50	1,40	1,40	0,23	0,35
25	1"	0,53	0,80	0,45	1,80	1,80	1,60	0,29	0,45
32	1 1/4"	0,70	1,10	0,50	2,50	2,25	2,25	0,40	0,60
40	1 1/2"	0,85	1,25	0,60	3,	2,60	2,60	0,45	0,72
50	2"	1,	1,50	0,80	4,	3,50	3,50	0,60	0,90
65	2 1/2"	1,25	1,80	0,90	4,30	4,	4,	0,65	1,
80	3"	1,50	2,50	1,20	5,50	5,	5,	0,90	1,40
100	4"	2,	3,10	1,50	7,50	6,80	6,80	1,20	1,75
125	5"	2,60	4,	1,95	9,80	8,50	8,50	1,45	2,25
158	6"	3,10	5,	2,30	12,	10,	10,	1,70	2,60
220	8"	4,20	6,25	3	15,	13,	13,	2,25	3,50
300	12"	5,	10,	4,50	21,	20,	20,	3,50	5,
400	16"	8,50	13,	6	30,	25,	25,	4,50	7,
500	20"	10,	16,	7,50	37,	33,	33,	5,50	9,
550	22"	12,	17,	8,50	40,	37,	37,	6,	10,
600	24"	13,	19,	9,50	45,	40,	40,	7,	11,

APENDICE C

Perdidas de carga para válvulas

ÁBACO DE PÉRDIDAS DE CARGA EN VÁLVULAS MÁS USUALES



PASO NOMINAL		VALVULAS DE GLOBO	VALVULAS ANGULARES	VALVULAS EN Y	VALVULAS DE PASO ONDULADO	VALVULAS DE RETENCION OBTURADOR ASCENDENTE	VALVULAS DE RETENCION A CLAPETA	VALVULAS DE COMPUERTA	GRIFOS
m.m.	pulgadas								
8	3/4"	3	1,5	0,7	1,4	3,8	1,0	0,07	0,1
10	3/8"	4	2	0,3	1,7	4,7	1,2	0,1	0,1
15	1/2"	6	3	0,4	2,5	7,0	1,8	0,1	0,2
20	3/4"	8	4	0,6	3,4	9,4	2,4	0,2	0,2
25	1"	10	5	0,7	4,2	11,7	3,0	0,2	0,3
32	1 1/4"	13	6,5	1,0	5,5	15,0	3,8	0,3	0,4
40	1 1/2"	16	8	1,2	6,8	18,8	4,8	0,4	0,5
50	2"	20	10	1,5	8,5	23,5	6,0	0,5	0,8
55	2 1/2"	26	13	1,9	11,0	30,5	7,8	0,6	0,8
80	3"	32	16	2,4	13,6	37,6	9,6	0,7	1,0
100	4"	40	20	3,0	17,0	47,0	12,0	0,90	1,2
125	5"	50	25	3,7	21,2	58,7	15,0	1,1	1,5
150	6"	60	30	4,5	25,5	70,5	18,0	1,3	1,8
200	8"	80	40	6,0	34,0	94,0	24,0	1,8	2,4
300	12"	120	60	9,0	51,0	141,0	36,0	2,7	3,6
400	16"	160	80	12,0	64,0	188,0	48,0	3,6	4,8
500	20"	200	100	15,0	81,0	235,0	60	4,5	6,0

PÉRDIDAS EN METROS DE TUBERIAS

APÉNDICE D.

Perdidas de carga en válvula marca RAPHAEL

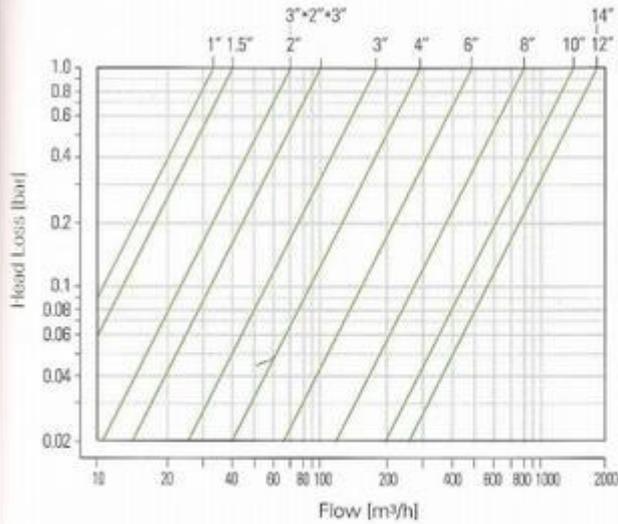
Kv - Coefficient

Nominal Diameter		Kv
(inch)	(mm)	
1	25	32
1.5	40	40
2.0	50	70
2.5	65	100
3-2-3	80-50-80	72
3	80	170
4	100	290
6	150	490
8	200	790
10	250	1400
12	300	1800
14	350	1800

Control Chamber Displacement Volume

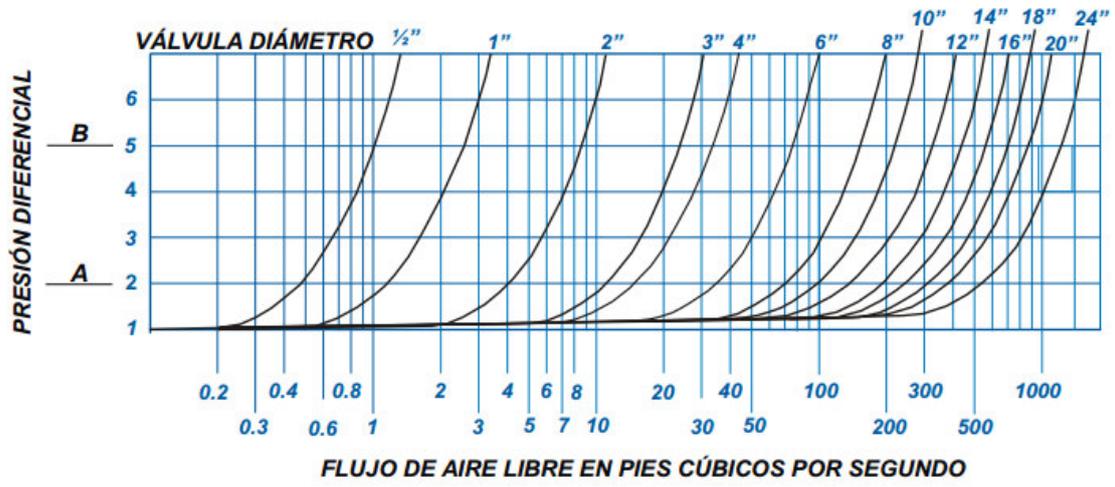
Nominal Diameter		Control Chamber Volume
(inch)	(mm)	
1	25	0.065
1.5	40	0.065
2	50	0.08
2.5	65	0.16
3-2-3	80-50-80	0.08
3	80	0.3
4	100	0.78
6	150	1.56
8	200	3.5
10	250	7.6
12	300	7.6
14	350	7.6

Flow Chart



APÉNDICE E

Perdidas en válvulas de aire



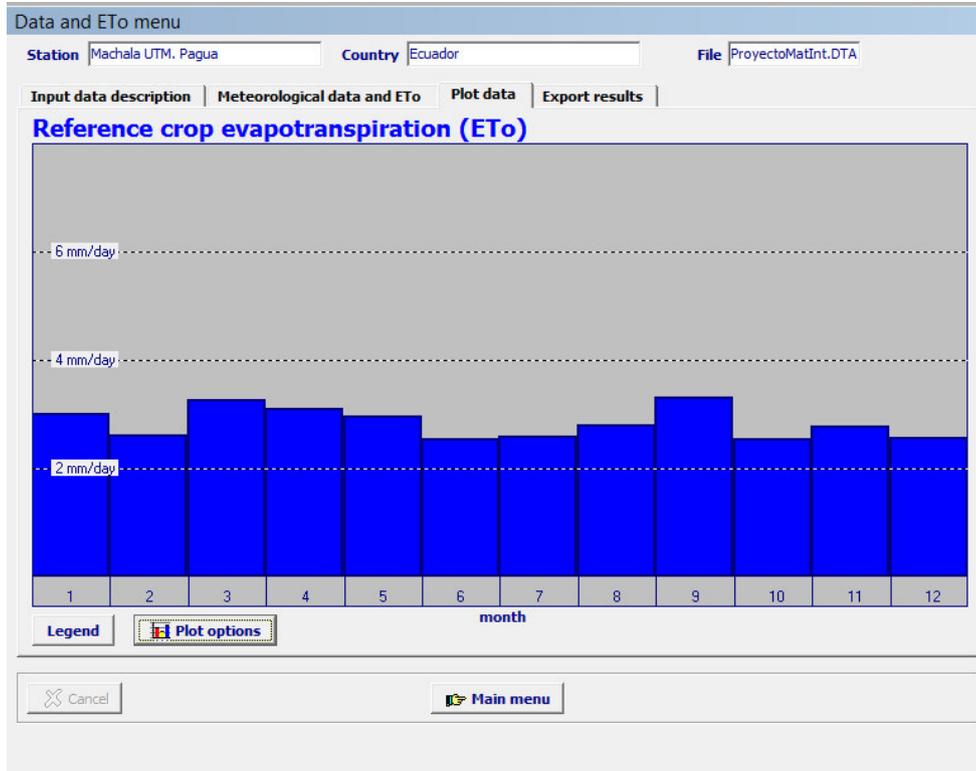
APÉNDICE F

Especificaciones de tubería PVC. Plastigama

Diámetro Nominal (mm)		Diámetro Interior mm	Espesor Nominal mm	Presión de Trabajo		
UNIÓN U/Z	UNIÓN E/C			MPa	PSI (lb/pulg ²)	Kgf/cm ²
200		192.2	3.9	0.50 ■	73	5.10
		190.2	4.9	0.63	91	6.43
		187.6	6.2	0.80	116	8.16
		184.6	7.7	1.00	145	10.20
		181.0	9.5	1.25	181	12.75
225		216.2	4.4	0.50 ■	73	5.10
		214.0	5.5	0.63	91	6.43
		211.0	7.0	0.80	116	8.16
		207.6	8.7	1.00	145	10.20
		203.6	10.7	1.25	181	12.75
250		240.2	4.9	0.50 ■	73	5.10
		237.8	6.1	0.63	91	6.43
		234.4	7.8	0.80	116	8.16
		230.8	9.6	1.00	145	10.20
		226.2	11.9	1.25	181	12.75
315		302.6	6.2	0.50 ■	73	5.10
		299.6	7.7	0.63	91	6.43
		295.4	9.8	0.80	116	8.16
		290.8	12.1	1.00	145	10.20
		285.0	15.0	1.25	181	12.75
355		341.0	7.0	0.50 ■	73	5.10
		337.6	8.7	0.63	91	6.43
		333.0	11.0	0.80	116	8.16
		327.6	13.7	1.00	145	10.20
		321.2	16.9	1.25	181	12.75
400		384.2	7.9	0.50 ■	73	5.10
		380.4	9.8	0.63	91	6.43
		375.2	12.4	0.80	116	8.16
		369.2	15.4	1.00	145	10.20
		362.0	19.0	1.25	181	12.75
500		474.0	12.3	0.63	91	6.43
		467.2	15.5	0.80	116	8.16
		459.4	19.2	1.00	145	10.20
		449.8	23.8	1.25	181	12.75
630		597.2	15.5	0.63	91	6.43
		588.8	19.5	0.80	116	8.16
		579.0	24.2	1.00	145	10.20

APÉNDICE G

Evapotranspiración de ETo Calculator



APÉNDICE H

Especificaciones Motor Cummis QSB6.7

Engine Specifications

Configuration	In-line 6-cylinder, 4-stroke diesel
Bore & Stroke	107 mm x 124 mm (4.21 in x 4.88 in)
Displacement	6.7 L (408 in ³)
Aspiration	Turbocharged / Aftercooled
Rotation	Counterclockwise facing flywheel



Power Ratings

Rating	kW	MHP	BHP	Rated RPM	Max Torque		Emissions
					N-m	RPM	
HO/GS	405	550	542	3300	1695	2000	EPA Tier 3, IMO II, RCD, EU Stage IIIa
HO/GS	353	480	473	3300	1580	2000	
HO/ID	312	425	419	3000	1424	2000	
HO/ID	279	380	375	3000	1335	2000	
ID	261	355	349	2800	1150	2000	
HO	261	355	350	3000	1150	2000	
HO/MCD	224	305	301	2600	1174	1700	
HO/HD	184	250	247	2600	983	1500	
ID	169	230	227	3000	691	1200	

APÉNDICE I

Consumo de combustible de Motor Cummins QSB6.7

Fuel Consumption (Prop Curve)

Rating	Cooling type	kW	MHP	BHP	Fuel Consumption		Emissions
					Rated	Cruise	
					L/hr(gal/hr)	L/hr(gal/hr)	
HO/GS	HX	405	550	542	110.2(29.1)	80.6(21.3)	EPA Tier 3, IMO II, RCD, EU Stage IIIa
HO/GS	HX	353	480	473	96.2(25.4)	71.2(18.8)	
HO/ID	HX	312	425	419	82.2(21.7)	60.4(15.9)	
HO/ID	HX	279	380	375	73.9(19.5)	55.2(14.6)	
ID	HX	261	355	349	68.1(18.0)	56(14.8)	
HO	HX	261	355	350	67.6(17.9)	51.9(13.7)	
HO/MCD	HX	224	305	301	55.6(14.7)	45.8(12.1)	
HO/HD	HX	184	250	247	46.9(12.4)	38.4(10.1)	
ID	HX	169	230	227	47.3(12.5)	33.8(8.9)	

Fuel consumption data represents performance along a 2.7 fixed pitch propeller curve (for HO, ID, MCD, 3.0 for HD and CON ratings). Fuel consumption is based on fuel of 35° API gravity at 16°C (60°F) having an LHV of 42, 780 KJ/KG (18,390 BTU/lb) when used at 29°C (85°F) and weighing 838.9 g/liter (7.001 lb/US gal). Observed horsepower is certified within ±5% of rated horsepower. Consult your local Cummins professional for further information.

APÉNDICE J

($H_o - H_v$) en función de temperatura y altitud sobre nivel del mar.

Temp. Agua (°C)	ALTITUD SOBRE EL NIVEL DEL MAR (metros)				
	0	500	1000	1500	2000
0	10.3	9.7	9.2	8.6	8.1
10	10.2	9.6	9.1	8.5	8.0
20	10.1	9.5	9.0	8.4	7.9
30	9.9	9.3	8.8	8.2	7.7
40	9.6	9.0	8.5	7.9	7.4
50	9.0	8.4	7.9	7.3	6.8
60	8.3	7.7	7.2	6.6	6.1