



# **Diseño de un sistema de riego para un cultivo de mora de castilla de 0,7 hectáreas de la finca La Esperanza en Chiquinquirá (Boyacá)**

**Carlos Jordan Parra Rocha**

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Bogotá, Colombia  
2020



# **Diseño de un sistema de riego para un cultivo de mora de castilla de 0,7 hectáreas de la finca La Esperanza en Chiquinquirá (Boyacá)**

**Carlos Jordan Parra Rocha**

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

Director:

Ingeniero Mecánico Juan Carlos Monroy Castro

Línea de Investigación:

Optimización de recurso hídrico para mejorar las prácticas en la agricultura colombiana.

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá, Colombia

2020



*A mis padres*

*“Si tuviera la suerte de alcanzar alguno de mis ideales, sería en nombre de la humanidad”.*

*Nikola Tesla*



## Resumen

En la actualidad la finca la Esperanza ubicada en la vereda Quiche del municipio de Chiquinquirá, cuenta con un cultivo de mora con un total de 3000 plantas, el cual no tiene un sistema de riego tecnificado; inicialmente se divide el terreno en tres secciones, sin embargo de acuerdo al diseño hidráulico desde el tanque de almacenamiento hasta el cultivo, el terreno se divide en sección inferior y sección superior, se emplean goteros en la base de cada planta con caudal de 2 l/h, el requerimiento hídrico del cultivo se encuentra a partir de factores climatológicos y es de 7954.6 l/día, el riego es por secciones y se realizan dos riegos al día por gravedad haciendo uso de un tanque elevado, el sistema de tuberías es diseñado con tres secciones de tubería, tuberías porta goteros, tuberías porta ramales y la tubería principal con diámetros de 16 mm, 31.8 mm y 50.8 mm, respectivamente y con diferentes accesorios. Fue necesario realizar el diseño estructural con una altura de 2200 mm, para el tanque elevado empleando solidworks y simulando con diferentes tipos de cargas, el modelo final se compone de perfil tubular cuadrado y rectangular, pernos de anclaje, placa base y zapatas. Por petición del dueño de la finca se emplea la bomba disponible una QB 80 con tuberías de 25.4 mm. Debido al uso del temporizador, solo es necesario programar el automatismo tres horas de riego en la mañana y tres en la tarde.

**Palabras clave:** Requerimiento hídrico, hidráulica, estructuras, carga y automatismo.

## Abstract

At present La Esperanza farm located in the Quiche sidewalk of the municipality of Chiquinquirá, has a blackberry crop with a total of 3,000 plants, which does not have a technified irrigation system; initially the land is divided into three sections, however according to the hydraulic design from the storage tank to the crop, the land is divided into the lower section and the upper section, drippers are used at the base of each plant with a flow of 2 l/h, the water requirement of the crop is found from weather factors and is 7954.6 l/day, irrigation is by sections and two irrigations every day are carried out per day by gravity using a raised tank, the piping system is designed with three pipe sections, dripper pipes, branch pipes and the main pipe with diameters of 16 mm, 31.8 mm and 50.8 mm, respectively, and with different accessories. It was necessary to carry out the structural design with a height of 2200 mm, for the elevated tank using solidworks and simulating with different types of loads, the final model consists of a square and rectangular tubular profile, anchor bolts, base plate and concrete footing. At the request of the owner of the farm, the available pump is used, a QB 80 with 25.4 mm pipes. Due to the use of the timer, it is only necessary to program the automation for three hours of watering in the morning and three in the afternoon.

**Keywords: Water requirement, hydraulics, structures, loading and automation.**

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen</b> .....	<b>V</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>IX</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>XI</b>
<b>Lista de diagramas</b> .....	<b>XIII</b>
<b>Lista de esquemas</b> .....	<b>XIV</b>
<b>Lista de Símbolos y abreviaturas</b> .....	<b>XV</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Problema de investigación</b> .....	<b>3</b>
1.1 Planteamiento del problema .....	3
1.2 Justificación .....	7
1.3 Objetivos.....	8
1.3.1 Objetivo general.....	8
1.3.2 Objetivos específicos .....	8
1.4 Alcance.....	9
<b>2. Generalidades</b> .....	<b>10</b>
2.1 Glosario .....	10
<b>3. Marco teórico</b> .....	<b>12</b>
3.1 Requerimiento hídrico del cultivo .....	12
3.1.1 Evapotranspiración del cultivo ( <i>ETc</i> ).....	12
3.1.2 Requerimiento hídrico del cultivo ( <i>REQ</i> ) .....	14
3.2 Sistemas de riego.....	14
3.2.1 Tubería .....	16
3.3 Bombas hidráulicas .....	19
3.3.1 Bombas de desplazamiento negativo (roto-dinámicas) .....	19
3.3.2 Bombas de desplazamiento positivo .....	19
3.3.3 Bombas periféricas .....	20
3.4 Ecuación general de la energía .....	20
3.5 Numero de Reynolds .....	21
3.6 Diagrama de Moody .....	21
3.7 Pérdidas de energía ( <i>hLT</i> ) .....	22

3.8	Sistema hidráulico cultivo – tanque de almacenamiento.....	24
3.9	Sistema de bombeo .....	24
3.10	Dispositivos de control hidráulico .....	24
3.11	Tanque de almacenamiento de agua elevado .....	29
3.11.1	Tipos de tanques .....	29
3.11.2	Estructura de soporte.....	29
<b>4.</b>	<b>Cálculos y criterios de diseño .....</b>	<b>32</b>
4.1	Requerimiento hídrico del cultivo.....	32
4.2	Diseño hidráulico cultivo – tanque de almacenamiento .....	34
4.2.1	Distribución de las tuberías.....	35
4.2.2	Dimensionamiento de tubería porta goteros (TPG).....	36
4.2.3	Dimensionamiento de la tubería porta ramales (TPR).....	40
4.2.4	Dimensionamiento de la tubería principal (TP).....	44
4.3	Diseño y selección del sistema de bombeo.....	50
4.4	Selección de tanque de almacenamiento .....	56
4.5	Diseño de estructura de soporte para tanque de almacenamiento .....	57
4.5.1	Metodología de diseño y modelo geométrico inicial .....	58
4.5.2	Resultados en el modelo geométrico inicial para cargas muertas, vivas y sísmicas.....	59
4.5.3	Dimensionamiento de vigas, diseño de apoyos y conexiones .....	62
4.6	Automatismo del sistema .....	73
<b>5.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>76</b>
5.1	Conclusiones.....	76
5.2	Recomendaciones.....	79
	<b>Bibliografía .....</b>	<b>81</b>
<b>A.</b>	<b>Anexo: Datos climatológicos, croquis y desniveles del cultivo.....</b>	<b>85</b>
<b>B.</b>	<b>Anexo: Curva del sistema de bombeo.....</b>	<b>94</b>
<b>C.</b>	<b>Anexo: Curva de espectro de aceleración de diseño como fracción de la gravedad.....</b>	<b>99</b>
<b>D.</b>	<b>Anexo: Simulación en solidworks .....</b>	<b>106</b>
<b>E.</b>	<b>Anexo: herramientas para diseño de soldadura y tabla de selección de perno.....</b>	<b>107</b>
<b>F.</b>	<b>Anexo: Catálogos .....</b>	<b>110</b>
<b>G.</b>	<b>Anexo: Presupuesto .....</b>	<b>112</b>
<b>H.</b>	<b>Anexo: Planos.....</b>	<b>115</b>

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1-1:</b> Distribución del cultivo de mora.....	3
<b>Figura 1-2:</b> Riego desde la Quebrada Faratena.....	4
<b>Figura 1-3:</b> Tanque de almacenamiento de agua. ....	4
<b>Figura 1-4:</b> Riego con recolección de aguas lluvia.....	5
<b>Figura 1-5:</b> Ficha técnica de electrobomba QB 80.....	5
<b>Figura 1-6:</b> Panorámica del cultivo y planta de mora de castilla. ....	6
<b>Figura 3-1:</b> Ecuación de Penman – Monteith.....	13
<b>Figura 3-2:</b> Sistema de riego por goteo. ....	14
<b>Figura 3-3:</b> Tubería en serie. ....	17
<b>Figura 3-4:</b> Tubería en paralelo. ....	17
<b>Figura 3-5:</b> Bomba modelos BE 1 5-1 HF y la BE 1 10-1HF con curva característica. ....	19
<b>Figura 3-6:</b> Bomba modelos QB 60 y QB 80 con curva característica. ....	20
<b>Figura 3-7:</b> Coeficiente de resistencia ( $K$ ) para acoplamientos.....	24
<b>Figura 3-8:</b> Hidrociclón. ....	27
<b>Figura 3-9:</b> Filtro de arena. ....	27
<b>Figura 3-10:</b> Filtro de disco o anilla.....	28
<b>Figura 4-1:</b> Etapas de los cultivos.....	33
<b>Figura 4-2:</b> Sección superior y sección inferior. ....	35
<b>Figura 4-3:</b> Distribución de tuberías TP, TPR y TPG. ....	36
<b>Figura 4-4:</b> Electroválvula y características principales.....	47
<b>Figura 4-5:</b> Tanque cónico de diferentes tamaños.....	57
<b>Figura 4-6:</b> Modelo geométrico inicial. ....	59
<b>Figura 4-7:</b> Tensiones de Von Misses simulación estática.....	60
<b>Figura 4-8:</b> Factor de seguridad simulación estática.....	60
<b>Figura 4-9:</b> Desplazamientos de simulación sísmica. ....	61
<b>Figura 4-10:</b> Tensiones de Von Misses en simulación sísmica. ....	62
<b>Figura 4-11:</b> Viga y punto crítico de elementos sometidos a flexión.....	63
<b>Figura 4-12:</b> Esquema de placa base para columna.....	68
<b>Figura A-1:</b> Croquis del cultivo de mora.....	91
<b>Figura A-2:</b> Ubicación de tuberías en el sistema hidráulico 1. ....	92
<b>Figura C-1:</b> Espectro elástico de aceleración de diseño $S_a$ , extraída de la NSR 10. ....	100
<b>Figura E-1:</b> Factores geométricos para el análisis de soldaduras, casos del 1 al 5. ....	107
<b>Figura E-2:</b> Factores geométricos para el análisis de soldaduras, casos del 6 al 9. ....	108
<b>Figura E-3:</b> Esfuerzos cortantes y fuerzas sobre soldaduras. ....	108

X      Diseño de un sistema de riego para un cultivo de mora de castilla de 0.7 hectáreas  
de la finca La Esperanza en Chiquinquirá (Boyacá)

---

**Figura E-4:** Dimensiones de roscar métricas..... 109

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1-1:</b> Asistencia técnica agropecuaria Chiquinquirá.....	7
<b>Tabla 2-1:</b> Módulo de Young para diferentes materiales.....	11
<b>Tabla 3-1:</b> Rugosidad en tubería.....	21
<b>Tabla 3-2:</b> Valores para el factor de fricción ( $fT$ ) dependiendo el tamaño nominal de la tubería.....	23
<b>Tabla 3-3:</b> Longitud equivalente ( $Le/D$ ) de varios accesorios.....	23
<b>Tabla 3-4:</b> Dispositivos de control hidráulico.....	25
<b>Tabla 3-5:</b> Código de colores para filtros de anilla o disco.....	28
<b>Tabla 3-6:</b> Características mecánicas de la madera, hormigón y acero.....	30
<b>Tabla 4-1:</b> Calculo de evapotranspiración de referencia.....	32
<b>Tabla 4-2:</b> Cálculo de precipitación efectiva.....	33
<b>Tabla 4-3:</b> Variables para calcular el diámetro y pérdida de carga S. superior.....	41
<b>Tabla 4-4:</b> Selección de diámetro para el sistema estudiado S. superior.....	41
<b>Tabla 4-5:</b> Perdida de carga en accesorios sección superior.....	42
<b>Tabla 4-6:</b> Variables para calcular el diámetro y pérdida de carga S. inferior.....	43
<b>Tabla 4-7:</b> Selección de diámetro para el sistema estudiado S. inferior.....	43
<b>Tabla 4-8:</b> Pérdidas de carga en electroválvula modelo 2W-250-25 (bar), según el $Q$ ... ..	47
<b>Tabla 4-9:</b> Pérdidas de carga en accesorios tramo O - A.....	48
<b>Tabla 4-10:</b> Pérdidas de carga en accesorios tramo O - D.....	50
<b>Tabla 4-11:</b> Pérdidas de carga en accesorios tramo S - O.....	52
<b>Tabla 4-12:</b> Fracción de la tabla B-1 para creación de la curva del sistema.....	56
<b>Tabla 4-13:</b> Tiempos y horarios de riego.....	74
<b>Tabla A-1:</b> Valores mínimos mensuales de temperatura.....	85
<b>Tabla A-2:</b> Valores máximos mensuales de temperatura.....	86
<b>Tabla A-3:</b> Valores mensuales de dirección predominante y velocidad media del viento.....	87
<b>Tabla A-4:</b> Valores medios mensuales de humedad relativa.....	88
<b>Tabla A-5:</b> Valores totales mensuales de brillo solar.....	89
<b>Tabla A-6:</b> Valores totales mensuales de precipitación.....	90
<b>Tabla A-7:</b> Desniveles y distancias por tramos.....	93
<b>Tabla B-1:</b> Tabulación para encontrar curva característica del sistema.....	94

<b>Tabla C-1:</b> Clasificación de perfil del suelo D, extraído de la tabla A.2.4-1 de la NSR 10. .....	99
<b>Tabla C-2:</b> Datos para calcular $Sa$ , extraídos de la NSR 10 título A.....	101
<b>Tabla C-3:</b> Valores obtenidos para $Sa$ . .....	102
<b>Tabla C-4:</b> Datos para calcular $Sa$ modificado, extraídos de la NSR 10 título A. ....	103
<b>Tabla C-5:</b> Valores obtenidos para $Sa$ modificado. ....	104
<b>Tabla G-1:</b> Presupuesto para implementación del proyecto.....	112

## Lista de diagramas

	<b>Pág.</b>
<b>Diagrama 3-1:</b> Diagrama de Moody.....	22
<b>Diagrama 4-1:</b> Intersección curva del sistema y curva de bomba modelo QB 80.....	55
<b>Diagrama 4-2:</b> Diagrama de flujo del automatismo.....	75
<b>Diagrama B-1:</b> Curva característica del sistema de bombeo.....	94
<b>Diagrama C-1:</b> Curva inicial obtenida para $Sa$ .....	102
<b>Diagrama C-2:</b> Curva modificada obtenida para $Sa$ .....	103

## Lista de esquemas

	<b>Pág.</b>
<b>Esquema 4-1:</b> Plano TP y TPR con accesorios.....	44
<b>Esquema 4-2:</b> Esquema eléctrico del automatismo.....	74

## Lista de Símbolos y abreviaturas

### Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
$L$	Longitud	m	
$A$	Area	m <sup>2</sup>	
$V$	Volumen	m <sup>3</sup>	
$ET_o$	Evapotranspiración de referencia	mm/día	Sección 3.1
$ET_c$	Evapotranspiración del cultivo	mm/día	Ec. 3.1
$K_c$	Coefficiente único del cultivo	adimensional	Sección 4.1
$PE$	Precipitación media efectiva	mm de agua	Sección 3.1
$REQ$	Requerimiento hídrico del cultivo	m <sup>3</sup> /día	Ec. 3.2
$Z$	Cabeza de elevación	m	Sección 3.4
$v$	Velocidad	m/s	Ec. 3.10
$g$	Gravedad	m/s <sup>2</sup>	Ec. 3.10
$P$	Presión	Pa	Sección 4.2
$Q$	Caudal	m <sup>3</sup> /s	Sección 3.2
$h_A$	Energía adicionada por una bomba	Pa	Sección 3.4
$h_{LT}$	Energía perdida	Pa	Sección 3.4
$h_R$	Energía removida	Pa	Sección 3.4
$h_f$	Perdida de energía por fricción	Pa	Ec. 3.13
$h_L$	Perdida de energía por accesorios	Pa	Ec. 3.14
$\frac{P}{\gamma}$	Cabeza de presión	Pa	Ec. 3.10
$\frac{v^2}{2 * g}$	Cabeza de velocidad	Pa	Ec. 3.10
$N_R$	Numero de Reynolds	adimensional	Sección 3.5
$D$	Diámetro	m	Ec. 3.11
$f$	Factor de fricción	adimensional	Sección 3.6
$K$	Coefficiente de resistencia	adimensional	Ec.15
$L_e$	Longitud equivalente	m	Sección 3.7
$f_T$	Factor de fricción en accesorios	adimensional	Sección 3.7
$h_{Lv}$	Perdida de carga en electroválvula	Pa	Ec. 3.17
$C_v$	Coefficiente del caudal galones/min	m <sup>3</sup> /h	Sección 3.10
$K_v$	Coefficiente del caudal	m <sup>3</sup> /h	Ec. 3.17
$K_{GT}$	Coefficiente de flujo del gotero	adimensional	Ec. 4.1
$N$	Numero de goteros o ramificaciones	adimensional	Ec. 4.2

<b>Símbolo</b>	<b>Término</b>	<b>Unidad SI</b>	<b>Definición</b>
$F$	Factor de Christiansen	adimensional	Ec. 4.3
$m_1$	Coeficiente del Q en la ec. De Blasius	adimensional	Sección 4.2
$C$	Coeficiente de mayoración	adimensional	Ec. 4.4
$C_1$	Constante para curva característica del sistema	$s^2/m^4$	Sección 4.3
$m_a$	Masa	gr	Sección 4.5
$W$	Peso	N	Sección 4.5
$V_c$	Fuerza cortante	N	Sección 4.5
$M$	Momento flector	N*m	Sección 4.5
$F_1$	Fuerza por pulgada de soldadura fuerza cortante	N	Ec. 4.11
$F_2$	Fuerza por pulgada de soldadura momento flector	N	Ec. 4.12
$F_3$	Fuerza por pulgada de soldadura por carga axial	N	Ec. 4.17
$F_R$	Fuerza por pulgada de soldadura resultante	N	Sección 4.5
$A_w$	Área sección transversal de perfil de soldadura	m	Sección 4.5
$S_w$	Factor geométrico del cordón por flexión	$m^2$	Sección 4.5
$V_R$	Fuerza cortante resultante	N	Sección 4.5
$M_R$	Momento flector resultante	N*m	Sección 4.5
$w$	Ancho del cordón de soldadura	m	Sección 4.5
$d$	Longitud de cordón de soldadura	m	Sección 4.5
$b$	Ancho del perfil a soldar	m	Sección 4.5
$A_t$	Área transversal en pernos	m	Ec. 4.20
$F_e$	Fuerza externa que debe soportar cada perno	N	Ec. 4.21
$F_{et}$	Fuerza externa total ejercida en el apoyo	N	Sección 4.5
$S_y$	Esfuerzo de fluencia	Pa	Sección 4.5
$nt$	Numero de tornillos	adimensional	Sección 4.5
$T_u$	Fuerza mínima que deben soportar los pernos	N	Ec. 4.22
$P_u$	Fuerza axial	N	Sección 4.5
$V_{pR}$	Fuerza cortante resultante mínima que debe soportar un perno	N	Sección 4.5
$T_p$	Fuerza soportada por un perno	N	Ec. 4.25
$S_u$	Esfuerzo ultimo a la tracción	Pa	Sección 4.5
$V_{pp}$	Fuerza cortante soportada por un perno	N	Ec. 4.26
$f_c$	Resistencia máxima a compresión del concreto	Pa	Sección 4.5
$L_p$	Longitud mínima de embebido del perno	m	Ec. 4.27
$D_p$	Diámetro del perno	m	Sección 4.5
$N_p$	Profundidad de placa base	m	Ec. 4.28
$B_p$	Ancho de placa base	m	Ec. 4.29
$A_1$	Área de placa base	$m^2$	Sección 4.5
$N_z$	Profundidad de zapata de concreto	m	Sección 4.5
$B_z$	Ancho de zapata de concreto	m	Sección 4.5

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
$A_2$	Área de zapata de concreto	m <sup>2</sup>	Sección 4.5
$t_p$	Espesor de placa base	m	Ec. 3.31
$m$	Longitud de profundidad desde perfil estructural hasta borde de placa base	m	Figura 4-12
$n$	Longitud de ancho desde perfil estructural hasta borde de placa base	m	Figura 4-12

## Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
$\eta$	Viscosidad dinámica del agua	Kg/m*s	Sección 3.5
$\gamma$	Peso específico del agua	N/m <sup>3</sup>	Sección 3.5
$\rho$	Densidad del fluido	Kg/m <sup>3</sup>	Sección 3.5
$\epsilon$	Rugosidad del conducto	m	Tabla 3-1
$\phi_t$	Coefficiente de tracción para pernos	adimensional	Sección 4.5
$\psi_e$	Factor de revestimiento	adimensional	Sección 4.5
$\phi_c$	Coefficiente de reducción de carga por aplastamiento	adimensional	Sección 4.5
$\phi_c P_p$	Resistencia de diseño al aplastamiento del concreto	N	Sección 4.5

## Subíndices

Subíndice	Término
o	Punto de referencia o inicio
c	Pertenece al cultivo
A	Punto A
B	Punto B
C	Punto C
D	Punto D
E	Punto E
F	Punto F
O	Punto O
G	Punto G
S	Punto S
R	Punto R
Pe	Entrada de electrobomba
Ps	Salida de electrobomba

## Superíndices

Superíndice	Término
x	Exponente curva característica de gotero

## Abreviaturas

<b>Abreviatura</b>	<b>Término</b>
--------------------	----------------

---

<i>TP</i>	Tubería principal
<i>TPR</i>	Tubería porta ramales
<i>TPG</i>	Tubería porta goteros

## Introducción

El proyecto presentado en el siguiente texto consiste en el diseño de un sistema de riego para 0.7 hectáreas de un cultivo de mora de castilla ubicado en el municipio de Chiquinquirá en el departamento de Boyacá, actualmente se desarrollan proyectos similares para la instalación de sistemas de riego, que operan mediante automatismos, como el proyecto presentado por los estudiantes Adrián Morales y Alejandro Sánchez de la Universidad Antonio Nariño y nombrado “selección, diseño y construcción del sistema de riego para un cultivo de limón de la finca Santa Lucia”, en el cual implementan un proyecto de este tipo para un cultivo de limón en el Guamo Tolima; los proyectos tecnificados de riego, tienen gran importancia en un cultivo, en cuanto a la producción del fruto y el desarrollo de las plantas, cuando estas están en crecimiento; la finca La Esperanza, tiene el cultivo de mora de castilla hace algunos años con un total aproximado de 3000 plantas, a la cuales actualmente se les aplica agua, utilizando una bomba y una sola manguera, ya que el cultivo no cuenta un tendido de mangueras, por ende dicha labor requiere demasiado esfuerzo y tiempo por parte de los operarios que, por lo general son tres personas. El diseño se realizó para todo el cultivo, el cual no cuenta con ninguno de los elementos escogidos; lo primero fue definir la necesidad hídrica del cultivo, dependiendo de las condiciones climatológicas del mismo, según la información suministrada por el IDEAM, se encuentra la evapotranspiración de referencia para la zona, con dicho valor se encuentra el requerimiento hídrico del cultivo de 3954,3 l/riego.

El diseño hidráulico del proyecto, se divide en dos secciones, la primera es el sistema hidráulico entre el tanque de almacenamiento de agua y el cultivo de mora, el cual es un sistema de riego por gravedad y goteo, dividido en tres subsecciones: las tuberías porta goteros con diámetro de 16mm y longitud máxima de 61,4m, las tuberías porta ramales

con diámetro de 31,8mm y longitud máxima de 82m, la tubería principal con diámetro de 50,8mm y longitud máxima de 160m; la segunda sección es el sistema de bombeo ubicado entre el pozo de alimentación hasta el tanque elevado, el cual emplea una electrobomba QB 80 y tiene dos tramos de tubería, una es la tubería de succión (extracción de agua) con diámetro de 25mm y longitud 2m, la otra es de expulsión (llevar el agua hasta tanque elevado) con diámetro de 25mm y longitud 108m.

Los goteros son los dispositivos que entregan el agua a las plantas, para el proyecto se escogieron goteros de color amarillo que trabajan con un caudal de 2 l/h a una presión de 10,2m.c.a; el principal problema de estos dispositivos es que pueden sufrir taponamiento, igual que la electroválvula (empleada en el automatismo), es necesario seleccionar un sistema de filtración, por lo que se emplean dos filtros de discos de color rojo, uno ubicado en la tubería principal y el otro se emplea antes de la electrobomba, para evitar un mal funcionamiento de la misma. El agua llega al cultivo por gravedad, desde un tanque elevado, pero el terreno no cuenta con una estructura alta para la ubicación de este, fue necesario el diseño de una estructura capaz de soportar las cargas muertas, vivas y sísmicas a las cuales estará sometida, la altura mínima de la estructura se encuentra a partir de la ecuación general de la energía y es de 2,2 m, de tal manera que la altura aporte al agua la energía suficiente para llegar a todas las planta del cultivo; el modelo geométrico inicial se encuentra con solidworks empleando el módulo de simulación estático (cargas muertas y vivas) y dinámico lineal (carga sísmica), la estructura es diseñada en perfil estructural rectangular de 76mm\*38mm\*1,1mm, perfil cuadrado de 25mm\*25mm\*1,2mm y lámina de 50,8mm\*3,76mm, los perfiles y lamina son de acero ASTM A36, los apoyos son cinco (uno para cada columna) y cada uno tiene zapata de concreto para estructuras, placa base para cada columna y la placa base está sujeta a la zapata por medio de cuatro pernos de anclaje clase 4.6, con longitud de 150mm y diámetro de 14mm. Una parte importante del proyecto es el automatismo del sistema de bombeo, accionando la electrobomba solo cuando el tanque de almacenamiento, se encuentre en el nivel mínimo de líquido, también se emplea una electroválvula, encargada de restringir o permitir el flujo de agua hacia el cultivo; tanto la electrobomba como la electroválvula se accionan de acuerdo a la posición de flotadores eléctricos (ubicados uno en el pozo de alimentación y el otro en el tanque de almacenamiento), el circuito eléctrico funciona a 110 voltios corriente alterna, y se emplea un temporizador programable para activar y desactivar el automatismo, según horarios.

# 1. Problema de investigación

## 1.1 Planteamiento del problema

La finca La Esperanza se encuentra ubicada en el municipio de Chiquinquirá, en la vereda Quiche; para facilitar el análisis del problema actual, el terreno del cultivo se divide en tres sectores o sub-zonas (zona A, zona B y zona C), tal y como se ve en la figura 1-1, el área cultivada es de  $7263 \text{ m}^2$ .

**Figura 1-1:** Distribución del cultivo de mora.



Nombre de la fuente: Google Maps (2019).

Según el propietario de la finca, los sistemas de riego que se han estado utilizando son: Riego mediante la recolección de aguas lluvia en invierno, pero cuando la lluvia escasea las plantas se riegan haciendo uso del agua de la quebrada Faratena ubicada a 65 metros de la casa de la finca aproximadamente y en ocasiones de la quebrada Quiche. La finca cuenta con la quebrada Faratena que pasa por el borde de la zona B; cuando se utiliza agua de está, el cultivo se riega directamente, el procedimiento es el siguiente: Se utiliza la electrobomba para extraer agua de la quebrada por medio de conducto de succión con diámetro de 1", luego la electrobomba aporta la energía suficiente para que el agua llegue

a cada planta por medio de otro conducto con diámetro de 1", el cual tiene instalados goteros a lo largo con el fin de regar un surco completo, iniciando por el que está junto a la fuente hídrica, como se observa en la figura 1-2.

**Figura 1-2:** Riego desde la Quebrada Faratena



Nombre de la fuente: Google Maps (2019).

En invierno, se utiliza un sistema de recolección de aguas lluvia por medio de canales que están en el techo de la casa y que transportan agua hacia tres tanques uno de 1000 litros y dos pequeños uno azul oscuro de 255 litros y otro azul claro de 208 litros, como se observa en la figura 1-3, ubicados atrás de la casa, en ocasiones los tanques se llenan con la quebrada Quiche, la cual está a una distancia de 500 metros de la ubicación de los tanques; después se conecta la electrobomba (el conducto de succión, sumergido en la fuente de alimentación, en este caso los tanques y conducto de riego ubicado en un surco), regando las plantas del primer surco con aspersores de riego por goteo, como se evidencia en la figura 1-4; con el actual sistema de riego en necesario regar surco por surco y se desconoce la cantidad de agua suministrada al cultivo.

**Figura 1-3:** Tanque de almacenamiento de agua.



Nombre de la fuente: Propia

**Figura 1-4:** Riego con recolección de aguas lluvia.

Nombre de la fuente: Google Maps (2019).

En la figura 1-5 se muestra la ficha técnica de la electrobomba utilizada actualmente en la finca, la cual tiene capacidad de 1 hp (caballo de fuerza) y un caudal máximo de 50 l/min, la bomba se utiliza para extraer agua de los tanques y llevarla hacia el cultivo, ya sea que estos se llenen con agua de la quebrada Quiche o con las aguas lluvia, y en temporada de sequía se emplea para extraer el agua de la quebrada y enviarla directo al primer surco, por lo que es necesario estar moviendo la bomba de un lado a otro. Según el propietario de la finca, cuando él compro el terreno en el 2016 la zona A, ya tenía el cultivo con 914 plantas; en la zona B hace algunos meses se cultivaron 608 plantas y en la zona C en la misma ocasión se cultivaron 1480 plantas adicionales de mora de castilla, para un total de 3000 plantas aproximadamente, de las cuales 600 están en desarrollo y 2400 en producción, tal y como se muestra en la figura 1-6.

**Figura 1-5:** Ficha técnica de electrobomba QB 80.

Nombre de la fuente: Propia.

**Figura 1-6:** Panorámica del cultivo y planta de mora de castilla.



Nombre de la fuente: Propia.

Las plantas de las diferentes zonas tienen diferentes tamaños, ya que debido a la falta del recurso hídrico, algunas de ellas no tuvieron un desarrollo normal, incluso algunas fueron muriendo, por lo que fue necesario realizar en la zona B y C re-siembras, una en el mes de octubre del 2017 y otra en el mes de abril de 2018.

El sistema de riego actual ha funcionado, pero no es óptimo, ya que requiere de tres personas para poder realizar la labor, en un tiempo aproximado de 5 a 6 horas, sin parar, la fuente de alimentación no es fija, se extrae agua de distintas partes de la finca, no se cuenta con un depósito de almacenamiento de agua favorable, es obligatorio regar surco por surco, ya que no hay un tendido de tubería y no tiene un sistema de bombeo, por lo que es necesario el diseño y selección de los sistemas mencionados, además del automatismo con el fin de que el riego sea eficiente; se propone el riego por gravedad con la finalidad de aprovechar las diferencias de nivel del terreno (la cual es de 18 m aproximadamente, desde el punto en el cual se piensa instalar la estructura, respecto al punto inferior del cultivo, el cual es tomado como punto de referencia), y poder economizar la mayor cantidad de energía eléctrica en la electrobomba, además de utilizar el agua de forma eficiente, por lo que es necesario el diseño de una estructura con una altura capaz de aportar la energía suficiente al sistema hidráulico garantizando, que el agua llegue a cada gotero con la presión necesaria, la estructura deberá soportar las cargas muertas, vivas y sísmicas a las cuales pueda estar sometida.

En la tabla 1-1 se muestra la actividad agropecuaria del municipio de Chiquinquirá, en la cual se logra evidenciar que las hectáreas dedicadas al cultivo de mora son bajas en

comparación con las de maíz y papa, a pesar de que la cantidad de productores de papa y mora solo se diferencia por 45, la cantidad de hectáreas dedicadas a cada labor es de 216,6 para la papa y tan solo 81,7 para la mora.

**Tabla 1-1:** Asistencia técnica agropecuaria Chiquinquirá.

ACTIVIDAD AGROPECUARIA	HECTAREAS	CANTIDAD DE PRODUCTORES
MAIZ	234,7	244
PAPA	216,6	165
MORA	81,7	120
GANADERIA DE DOBLE PROPOSITO	785,9	252
GANADERIA DE LECHE	465	1519,9
Total	1783,9	2300,9

Nombre de la Fuente: Alcaldía municipal de Chiquinquirá (2016).

En el 2016, según el ministerio de agricultura, el departamento de Boyacá contaba con 1032 hectáreas cultivadas de mora, siendo el sexto departamento del país, después de Cundinamarca, Santander, Huila, Antioquia y Nariño; analizando los datos de la tabla 1-1, se puede decir, que tan solo el 4,5% del área explotada para cultivos de toda clase en el municipio de Chiquinquirá, pertenece a cultivos de mora de castilla; en el departamento de Boyacá, Chiquinquirá aporta 7,92% de la producción total de mora del departamento.

## 1.2 Justificación

La Finca actualmente no cuenta con un sistema de riego tecnificado, lo que obliga a recurrir a métodos empíricos, para el diseño del sistema de riego se debe tener en cuenta factores como: caudal, presión, bombas, transporte del fluido, esfuerzos, entre otros factores que van a intervenir para el cálculo del sistema de riego, como también para el diseño de la estructura; factores que no se tienen en cuenta en la actualidad; adicionalmente el sistema de riego que se utiliza requiere de mínimo dos personas para ejecutarlo y de varias horas de trabajo, aunque por lo general se realiza entre tres personas para reducir el tiempo de trabajo, las tres personas demoran entre 5 a 6 horas de trabajo continuo en regar todas las plantas. El diseño de este sistema de riego para el cultivo y la posterior implementación es de vital importancia, ya que las plantas se han visto afectadas por la mala distribución y desperdicio del recurso hídrico, a pesar que la finca cuenta con varias fuentes hídricas

como pozos artificiales, quebradas y un nacedero; por otra parte la implementación del sistema llegaría con ventajas como mejoras en el desempeño de la finca por parte del cultivo de mora de castilla, tanto en el crecimiento de la planta como en la producción del fruto.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Diseñar un sistema de riego para un cultivo de mora de castilla de 0,7 hectáreas de la finca La Esperanza ubicada en Chiquinquirá (Boyacá).

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Recolectar información necesaria del terreno y estimar requerimientos hídricos del cultivo.
- Diseñar y calcular sistema hidráulico para el riego del cultivo de mora de castilla.
- Seleccionar bomba para el transporte del agua desde el pozo de alimentación hasta el tanque de almacenamiento.
- Seleccionar sistemas de filtración, tanto para la bomba como para la tubería de los goteros.
- Seleccionar tanque de almacenamiento, según los requerimientos hídricos de riego del cultivo.
- Calcular y analizar variables para la estructura de soporte del tanque de almacenamiento de agua, acudiendo a la simulación de cargas estáticas mediante solidworks.
- Diseñar estructura de soporte para el tanque de almacenamiento del agua.
- Diseñar el automatismo del sistema de accionamiento de la bomba, llenado del tanque de almacenamiento, la frecuencia y el tiempo de duración de riego por medio de electroválvula y temporizador.
- Realizar el documento que describa el proceso de diseño, memorias de cálculo, la operación y el mantenimiento del sistema de riego mencionado.

## 1.4 Alcance

La finca La Esperanza se encuentra ubicada en el municipio de Chiquinquirá en el departamento de Boyacá, situada en el valle del río Suárez. Según el censo del 2005 del DANE, el municipio contaba con 55786 habitantes entre cabecera rural y urbana; se proyecta una población en el municipio de 62453 habitantes para el año 2012, los cuales se distribuyen de la siguiente forma: 86,11% zona urbana, y el 13,89% zona rural; el municipio cuenta con una extensión territorial de 125 km<sup>2</sup>. **Límites del municipio:** El municipio de Chiquinquirá limita por el norte con el municipio de Saboya, por el sur con los municipios de San Miguel de Sema, Simijaca y Caldas; por el oriente con Tinjacá y Simijaca; y por el occidente con Caldas y Briceño. **Extensión total:** 125 km<sup>2</sup>. **Extensión área urbana:** 5,07 km<sup>2</sup>. **Extensión área rural:** 119,93 km<sup>2</sup>. **Altitud de la cabecera municipal (metro sobre el nivel del mar):** 2580 m.s.n.m. **Temperatura media:** La temperatura promedio es de 15°C. **Distancia de referencia:** 134 km al norte de la capital del país (Bogotá D.C) y a 70 Km de la capital del departamento (Tunja). El sistema se diseña para los tres sectores mencionados con anterioridad (zona A, B y C), ya que ninguna de estas zonas cuenta con un sistema de riego óptimo, que aproveche al máximo la distribución del recurso, a pesar que la finca cuenta con varias fuentes hídricas como lo son: la quebrada Faratena, la quebrada Quiche, varios pozos artificiales y un pozo que según el dueño de la finca es nacedero de agua. El proyecto servirá de ejemplo para otros cultivos presentes en el lugar y no solo de mora de castilla, por ende se piensa hacer de una manera económica, que pueda ser asequible para los demás habitantes de la zona, ya que es de vital importancia que en el sector se tenga conciencia en cuanto al consumo desmedido de agua, puesto que actualmente esta es una problemática en la vereda y como tal en el municipio de Chiquinquirá.

## 2. Generalidades

### 2.1 Glosario

En seguida se presentan algunos términos con sus definiciones que servirán para la mejor comprensión de este documento.

- Evapotranspiración: Es la acción combinada de dos procesos el de evaporización y el de transpiración.
- Evaporación: Proceso físico en el cual la materia cambia de estado líquido a vapor.
- Transpiración: En las plantas se define como “el proceso que desarrollan los vegetales para la expulsión de vapor de agua. Esto se realiza mediante los estomas y las membranas que se hallan en células superficiales” (Pérez, 2020).
- Estática: En física se define como “la rama de la mecánica centrada en el análisis de las cargas (fuerza y momento) y el estudio de las leyes que regulan el equilibrio estático de fuerzas, o sea, en un estado en el cual los subsistemas no atraviesen cambios en sus posiciones relativas a pesar del paso del tiempo” (Pérez & Gardey, Estática, 2017).
- Compresión: “La compresión puede ser un proceso físico o mecánico que consiste en someter a un cuerpo a la acción de dos fuerzas opuestas para que disminuya su volumen. Se conoce como esfuerzo de compresión al resultado de estas tensiones” (Pérez & Merino, Compresión, 2011).
- Flexión: “Un elemento estará sometido a flexión cuando actúen sobre él cargas que tiendan a doblarlo. En un esfuerzo de flexión se dan los esfuerzos de tracción y compresión a la vez, pues cuando el cuerpo se hunde, una parte sube hacia fuera (tracción), mientras que otra se hunde hacia dentro (compresión) (Elementos amovibles y fijos no estructurales, 2015).

- Deformación: “Consideremos un cuerpo sometido a la acción de fuerzas aplicadas, y con vínculos suficientes como para impedirle movimientos de sólido rígido. Dado que no existe material alguno que se infinitamente rígido, la acción de las fuerzas se traduce en que el cuerpo se deforma, es decir, cambia de tamaño y de forma” (Cervera & Blanco , 2015).
- Módulo de Young: Esta es una propiedad de cada material y se determina experimentalmente, en la tabla 2-1, se muestra el valor del módulo de Young para diferentes materiales.

**Tabla 2-1:** Módulo de Young para diferentes materiales.

Material	$E$ [GPa]	Material	$E$ [GPa]
Acero	210	Hormigón	20
Cobre	120	Cinc	100
Latón	100	Duraluminio	70
Bronce	110	Aluminio	76
Granito	50	Fundición	170
Madera	10	Estaño	40

Nombre de la fuente: Cervera, M (2015).

- Vigas y columnas: “Se define como Viga a un elemento estructural que trabaja principalmente a flexión y cuya longitud predomina sobre las otras dos dimensiones, suele ser horizontal. Columna se define en ingeniería y arquitectura como aquel soporte vertical de longitud larga respecto a su sección transversal” (Parra, 2017).
- Estructura de barras: “Se llama estructura de barras al sistema mecánico formado por el ensamblaje de piezas prismáticas” (Cervera & Blanco , 2015).
- Presión: “Se define como el valor absoluto de la fuerza por unidad de superficie a través de una pequeña superficie que pasa por ese punto y en el sistema internacional su unidad es el Pascal (1 Pa=1 N/m<sup>2</sup> )” (Domingo, 2011).

## 3. Marco teórico

El avance de la ciencia y la tecnología en la actualidad se hace con el objetivo de mejorar los procesos usados en diferentes aplicaciones, ya sea en la industria o en el campo agrícola, por lo que la tecnificación de sistemas de riego en Colombia, trae consigo mejoras, en cuanto a la producción de los cultivos y la producción de las fincas, en el caso específico de la finca La Esperanza se ignoran factores que son importantes para la optimización del sistema de riego.

### 3.1 Requerimiento hídrico del cultivo

#### 3.1.1 Evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ )

La FAO (Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación) en su cartilla evapotranspiración del cultivo dice que “la evapotranspiración ( $ET$ ) es la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo, uno es por evaporación y otra parte mediante transpiración del cultivo”. (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006, pág. 1). La determinación de la cantidad de agua que se necesita para cumplir a cabalidad las necesidades del cultivo se halla haciendo uso de la siguiente ecuación, según la FAO (ver ecuación (3.1)):

$$ET_c = ET_o * K_c \quad (3.1)$$

Donde  $ET_c$ : Es la evapotranspiración del cultivo (mm/día);  $ET_o$ : Es la evapotranspiración de referencia (mm/día);  $K_c$ : Es el coeficiente único del cultivo (adimensional). La evapotranspiración de referencia, es la que ocurre sin restricciones de agua (por lo general se usa el pasto como referencia) y se calcula a partir de las variables climáticas del terreno como la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del

viento. El factor  $K_c$  depende del tipo de cultivo, la variedad y la etapa de desarrollo, la FAO en su cartilla muestra un  $K_c$  para el cultivo de mora. (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006, págs. 5-7).

Para calcular la evapotranspiración de referencia y la precipitación efectiva se usó el software de la FAO, llamado CROPWAT, el cual usa la ecuación de Penman – Monteith mostrada en la figura 3-1, para hallar la evapotranspiración de referencia, la cual emplea las siguientes variables: temperatura máxima y mínima, humedad relativa, velocidad del viento y horas de sol al día, los datos son descargados de la página del IDEAM (Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales), y se presentan en las tablas A-1, A-2, A-3, A-4 y A-5 del anexo A, la precipitación efectiva se encuentra con la precipitación media mensual mostrada en la tabla A-6; la finca pertenece al municipio de Chiquinquirá, ubicada en los límites de Chiquinquirá con el municipio de San Miguel de Sema, estando más cerca de San Miguel, debido a esto se opta por hacer el cálculo con los datos medidos por la estación de dicho municipio, ya que los datos no están completos, se promedian los valores de cada mes entre el 2013 y el 2019.

**Figura 3-1:** Ecuación de Penman – Monteith.

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 u_2)} \quad (6)$$

donde:

$ET_o$	evapotranspiración de referencia (mm día <sup>-1</sup> )
$R_n$	radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> )
$R_s$	radiación extraterrestre (mm día <sup>-1</sup> )
$G$	flujo del calor de suelo (MJ m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> )
$T$	temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)
$u_2$	velocidad del viento a 2 m de altura (m s <sup>-1</sup> )
$e_s$	presión de vapor de saturación (kPa)
$e_a$	presión real de vapor (kPa)
$e_s - e_a$	déficit de presión de vapor (kPa)
$\Delta$	pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C <sup>-1</sup> )
$\gamma$	constante psicrométrica (kPa °C <sup>-1</sup> )

Nombre de la fuente: Allen, Pereira, Raes, & Smith (2006).

Es posible descargar CROPWAT en línea. Al abrir el software, en la parte izquierda se tienen diferentes ítem (clima/ $ET_o$ , precipitación, cultivo suelo, requerimiento hídrico, entre otros); sin embargo en el presente texto solo se emplean los dos primeros para encontrar

la evapotranspiración de referencia del cultivo y la precipitación efectiva, los cálculos se muestran a detalle en el capítulo 4.

### 3.1.2 Requerimiento hídrico del cultivo (*REQ*)

El requerimiento hídrico del cultivo “es la lámina de agua adicional por día que necesita el cultivo” (Guamán, 2014, pág. 4) y se halla con la ecuación (3.2):

$$REQ = \frac{ETc - PE}{Eficiencia\ del\ riego} \quad (3.2)$$

Donde *PE*: Precipitación efectiva.

## 3.2 Sistemas de riego

El Ing. Edgar Valle y otros, en su libro manual del cultivo de mora de castilla plantean que “Es preferible ubicar la planta en suelos húmedos pero bien drenados, debido a que la planta sufre cuando el suelo se encharca. Los métodos de riego más convenientes para el cultivo de la mora son el goteo, micro-aspersión y riego corrido, suministrándole una lámina equivalente a 3 milímetros diarios” (2007), los sistemas de riego mencionados anteriormente, se describen a continuación:

- **Sistema de riego por goteo:** Esta técnica consiste en transportar agua al cultivo por medio de tuberías de plástico y de bajo calibre, extendiéndolas por los surcos de tal forma que el agua llegue a la base de la planta en forma de gotas, mojando solo parte del volumen del suelo, el agua se rocía en la planta por medio de los goteros o emisores (Demin, 2014) (Figura 3-2). Con este tipo de riego la eficiencia en referencia a la distribución del agua se encuentra entre 90% y 95% (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, s.f), la inspección visual para el mantenimiento es un poco demorada, ya que los goteros están instalados en el pie de las plantas, por lo que es necesario revisar planta por planta.

**Figura 3-2:** Sistema de riego por goteo.



Nombre de la fuente: Demin, P. (2014).

- **Sistema de riego por micro-aspersión:** El sistema de riego por micro-aspersión es muy similar al riego por goteo, con la diferencia que el agua se lleva a las plantas en forma de lluvia con la presión indicada, por medio de dispositivos llamados micro-aspersores y microjets (Demin, 2014). Este sistema de riego presenta ventajas respecto al riego por goteo, en cuanto a la inspección visual del sistema para mantenimientos y en relación a los emisores, ya que estos tienen la capacidad de rociar una mayor área de terreno.
- **Sistema de riego corrido:** “En el método de riego por melgas el agua avanza por un espacio de suelo a modo de franjas que queda entre dos bordos construidos para tal fin” (Demin, 2014). El agua es transportada de franja en franja por rebosamiento, por lo que la aplicación del agua debe ser en la parte más alta del lote, este tipo de riego, se utiliza en Colombia para cultivos de arroz. “Los sistemas de riego tales como riego por goteo y riego con micro-aspersores pertenecen al tipo de sistemas de riego presurizados” (Demin, 2014).

En todo sistema presurizado, el agua, que es conducida por tuberías, se encuentra con una presión determinada, llegando directamente a la planta o a las plantas. Con el riego presurizado se evitan las pérdidas por infiltración en la conducción y distribución, logrando de esa manera que quede más agua disponible para la planta (Demin, 2014, pág. 15). La fuente hídrica utilizada para el sistema, es un aljibe, en donde nace el agua, dicho pozo está ubicado a una distancia de 65 metros de la casa (Punto de referencia), de dicho punto se transporta el agua hasta el tanque, el cual se ubica a la altura necesaria para que el agua llegue con la suficiente fuerza a cada gotero, y a cada planta; ya sea que se utilice la bomba o se aproveche la gravedad como fuente de alimentación, las pérdidas de presión por rozamiento generado al interior de las tuberías son inevitables, estas pérdidas dependen de: caudal, diámetro interno y longitud de las tuberías; dichas variables se deben tener en cuenta para el cálculo de sistema de tuberías a emplear, con la finalidad de tener en la salida el caudal y la presión que se requiera; por otra parte es necesario que el diseño hidráulico del sistema tenga en cuenta la distancia entre plantas y la lámina de riego necesaria, entre otros factores que inciden en el montaje final del sistema.

El sistema de riego por micro-aspersión requiere una presión de 1,6 kg/cm<sup>2</sup>, es decir, mucho más baja que la presión de aspersión que esta entre 2,5 kg/cm<sup>2</sup> y 4,5 kg/cm<sup>2</sup> con caudales de 600 Litros/hora o más. El diámetro de mojado que genera el micro-aspersor puede ser alrededor de 3 a 4 metros. Es recomendable para cultivos como frutales, riego en viveros y algunas hortalizas (Demin, 2014, pág. 16).

### **3.2.1 Tubería**

#### **▪ Materiales**

Las tuberías de un sistema de riego presurizado son conductos circulares, con la función de transportar el agua desde la fuente de alimentación (como ya se mencionó, puede ser una bomba y de forma natural haciendo uso de la gravedad) hasta las plantas. Las tuberías pueden estar construidas de diferentes materiales, tales como: conductos de cemento, tuberías en PVC, polietileno, aceros, aluminio, entre otros (Demin, 2014). “La conducción del agua desde el cabezal de riego hasta los laterales de goteo se realiza mediante las tuberías primarias, secundarias y terciarias que pueden ser de polietileno o PVC” (Demin, 2014), dichos materiales presentan ventajas frente a materiales como el acero expuestos al ambiente, el sistema de tubería se emplea para el transporte de agua, la tubería seleccionada, deberá tener buenas características frente a la corrosión.

#### **▪ Sistemas de tuberías**

La red de distribución para el cultivo puede ser de tres tipos fija, móvil, o un tipo que es la unión de los dos anteriores se conoce con el nombre de semi-fijo. Las tuberías fijas con frecuencia se instalan subterráneas a diferencia de las tuberías móviles que se instalan sobre la superficie para poder hacer modificaciones a la red de distribución; el sistema semi-fijo tiene la particularidad de emplear tuberías tanto fijas (pueden ser subterráneas) como móviles (instaladas en la superficie del terreno) (Fernández Gomez, 2010). En la actualidad, existe una gran variedad de tuberías que se pueden emplear para el transporte de líquidos o gases, con diferente sección transversal. Para este caso se emplean sistemas de tuberías para el transporte de agua cumpliendo con las necesidades hídricas del cultivo de mora de castilla; debido a que el terreno es demasiado extenso se van a emplear diferentes tipos de sistemas de tuberías como lo son: conexiones en serie, conexiones en paralelo, tuberías ramificadas y red de tuberías; las cuales tienen diferentes características.

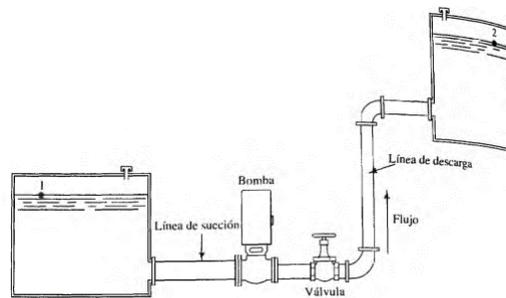
Tuberías en serie: Se conoce por tuberías en serie a sistemas de ductos ensamblados una tras de otro, formando un solo camino para transportar el fluido de un punto a otro (Figura 3-3), como se mencionó con anterioridad, los sistemas de tubos en serie tienen características específicas como por ejemplo: el caudal ( $Q$ ) es igual en cualquier punto del trayecto por lo que se cumple que, al analizar dos puntos se puede afirmar (ver ecuación (3.3)):

$$Q = Q_1 = Q_2 \quad (3.3)$$

Las pérdidas de energía ( $h$ ) por cada accesorio o acoplamiento se suman para encontrar la pérdida total a lo largo del tramo analizado (ver ecuación (3.4)); por lo tanto:

$$h_{LT} = h_{L1} + h_{L2} + \dots + h_{Ln} \quad (3.4)$$

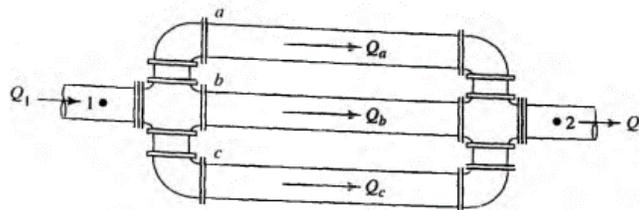
**Figura 3-3:** Tubería en serie.



Nombre de la fuente: Mott, R. (2006).

Tuberías en paralelo: Las tuberías en paralelo son sistemas de tubos que inician y finalizan en un mismo punto, pero con diferentes trayectorias, por lo que este tipo de sistema tiene características diferentes al sistema en serie, como por ejemplo: el flujo es distribuido en el número de trayectos que estén posicionados en paralelo (Figura 3-4).

**Figura 3-4:** Tubería en paralelo.



Nombre de la fuente: Mott, R. (2006).

Por lo que se cumple que el caudal total es la sumatoria de todos los caudales (ver ecuación (3.5)):

$$Q_1 = Q_a + Q_b + Q_c = Q_2 \quad (3.5)$$

Todos los elementos que convergen en la intersección del lado derecho del sistema tienen la misma energía total por unidad de peso. Es decir, todos tienen la misma carga total. Por tanto, cada unidad de peso del fluido debe tener la misma cantidad de energía. (Mott, 2006) (Ver ecuación (3.6)). Por lo que se cumple la siguiente expresión para un sistema de tres trayectos:

$$h_{LT1-2} = h_a = h_b = h_c \quad (3.6)$$

Tuberías ramificadas: Se conoce como tuberías ramificadas al sistema que transporta fluido desde un punto inicial (nodo) hasta diferentes puntos o nodos finales. El sistema ramificado consiste en una arteria principal de la cual se derivan conductos secundarios y de estos a su vez se deriva a conductos terciarios, cada vez menores y de forma análoga a los nervios de una hoja (Palomino, 2014, pág. 40). Para este sistema se cumple que  $\sum Q = 0$ . En cada tramo, entre dos nodos se cumple la ecuación 3.7 que es la ecuación generalizada de Bernoulli:

$$Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + h_{A1-2} - h_{LT1-2} = Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} \quad (3.7)$$

Donde  $Z$ : Cabeza de elevación (*m. c. a.*);  $\frac{v^2}{2g}$ : Cabeza de velocidad (*m. c. a.*);  $\frac{P}{\gamma}$ : Cabeza de presión (*m. c. a.*);  $h_A$ : Energía total adicionada por un mecanismo mecánico (bomba) (*m. c. a.*) en el tramo 1-2;  $h_{LT}$ : Energía total perdida (*m. c. a.*) por la fricción en las tuberías, más pérdidas menores por accesorios en el tramo 1-2 (Mott, Mecánica de fluidos, 2006).

Red de tuberías: Se habla de redes de tuberías cuando el fluido se lleva de un punto hacia diversos puntos a través de varios caminos. Este tipo de configuración es común en sistemas de acueductos, en donde se forman ramificaciones complicadas formando malla (Dulhoste, 2018). Se cumplen las siguientes leyes:

La ley de pérdida de carga.

La ley de los nodos

$$\sum Q = 0 \quad (3.8)$$

La ley de las mallas

$$\sum h_{LT} = 0 \quad (3.9)$$

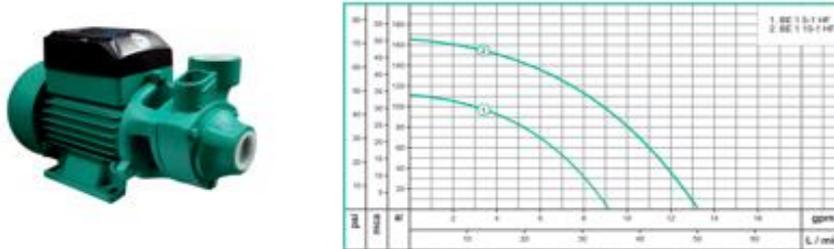
### 3.3 Bombas hidráulicas

Las bombas hidráulicas son dispositivos, por lo general utilizados para el transporte de fluidos, ya que aumentan la energía hidráulica que lleva el fluido en cuestión, haciendo uso de la energía mecánica que se genera al interior de las mismas (torque y velocidad del motor) por medio de hidrocarburos, electricidad, entre otros; aumentando el caudal del fluido a ser transportado. En la actualidad se conoce gran variedad de bombas hidráulicas, principalmente se clasifican en dos grandes grupos desplazamiento negativo (roto-dinámicas) y desplazamiento positivo. Cuando una bomba opera, cumple dos funciones: primero, su acción mecánica crea un vacío en la succión lo cual permite que la presión atmosférica fuerce líquido del tanque o reservorio hacia la entrada de la misma. Segundo, la misma acción entrega éste líquido a la salida de la bomba y lo empuja hacia el circuito hidráulico (Solórzano, 2016).

#### 3.3.1 Bombas de desplazamiento negativo (roto-dinámicas)

Son bombas de flujo continuo, sin embargo tienen deslizamiento en el interior, ya que no cuentan con un sistema de sellado positivo interno. Ejemplos de este tipo de bombas son las centrifugas, de hélice y periféricas. En la figura 3-5 se muestra una bomba centrífuga periférica marca Barnes con su respectiva curva característica, está disponible en dos modelos la BE 1 5-1 HF y la BE 1 10-1HF de medio caballo de fuerza y un caballo de fuerza, respectivamente (Barnes de Colombia, s.f).

**Figura 3-5:** Bomba modelos BE 1 5-1 HF y la BE 1 10-1HF con curva característica.



Nombre de la fuente: Barnes de Colombia (s.f).

#### 3.3.2 Bombas de desplazamiento positivo

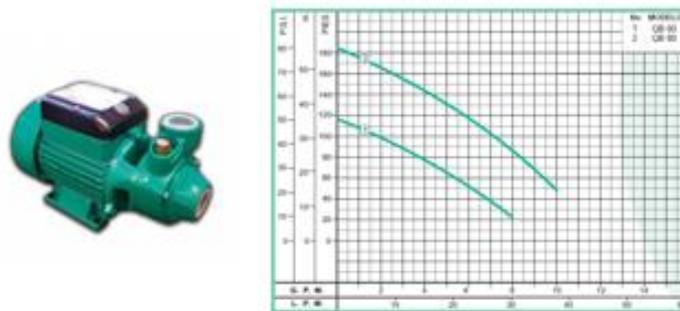
Una bomba de desplazamiento positivo entrega la misma cantidad de fluido por cada ciclo de funcionamiento. Según Solórzano las bombas de desplazamiento positivo pueden ser

de dos tipos fijas o variables. El caudal de una bomba de desplazamiento fijo se mantiene constante a lo largo del ciclo de bombeo y a una velocidad específica, mientras que aquél en una bomba de desplazamiento variable puede ser modificado alterando la geometría de la cavidad de desplazamiento (Solórzano, 2016). Las bombas de desplazamiento positivo son de alto costo de adquisición.

### 3.3.3 Bombas periféricas

En estos dispositivos se producen remolinos en el líquido por medio de alabes que giran a velocidades elevadas, dentro del canal anular donde gira el impulsor. Son utilizadas para alturas mayores de 14 m, los modelos QB 60 y QB 80 son del tipo de bomba regenerativa y tienen una potencia de medio caballo de fuerza y un caballo de fuerza, respectivamente, en la figura 3-6 se presenta la bomba con su respectiva curva característica (Barnes de Colombia, s.f).

**Figura 3-6:** Bomba modelos QB 60 y QB 80 con curva característica.



Nombre de la fuente: Barnes de Colombia, (s.f).

## 3.4 Ecuación general de la energía

Se hace uso de la ecuación general de la energía (ver ecuación (3.10)), para calcular las pérdidas por aditamentos, cantidad de energía necesaria a agregar, entre otros:

$$Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + h_A - h_{LT} - h_R = Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} \quad (3.10)$$

Donde **Z**: Cabeza de elevación (**m. c. a**);  $\frac{v^2}{2g}$ : Cabeza de velocidad (**m. c. a**);  $\frac{P}{\gamma}$ : Cabeza de presión (**m. c. a**); **h<sub>A</sub>**: Energía total adicionada por un mecanismo mecánico (bomba) (**m. c. a**) en el tramo 1-2; **h<sub>LT</sub>**: Energía total perdida (**m. c. a**) por la fricción en las tuberías, más pérdidas menores por accesorios en el tramo 1-2; **h<sub>R</sub>**: Energía total removida (**m. c. a**)

del fluido por un dispositivo mecánico (motor de fluido) en el tramo 1-2. Los puntos 1 y 2 se utilizan para simplificar el problema por tramos, los cuales irán cambiando a medida que se requiere para el cálculo del sistema hidráulico (Mott, Mecanica de fluidos, 2006).

### 3.5 Numero de Reynolds

EL Número de Reynolds es un valor adimensional que es utilizado para establecer el tipo de flujo de un fluido, ya sea laminar o turbulento; el número de Reynolds es directamente proporcional al producto del diámetro del tubo con la velocidad y densidad del fluido e inversamente proporcional a la viscosidad del mismo (ver ecuación (3.11)):

$$N_R = \frac{vD\rho}{\eta} \quad (3.11)$$

Dónde  $v$ : Velocidad del fluido (m/s);  $D$ : Diámetro interior del tubo (m);  $\rho$ : Densidad del fluido (Kg/m<sup>3</sup>);  $\eta$ : Viscosidad del fluido (Kg/m\*s). Existe un criterio para determinar si el flujo es laminar o turbulento:

- Flujo turbulento  $N_R > 4000$
- Flujo laminar  $N_R < 2000$

### 3.6 Diagrama de Moody

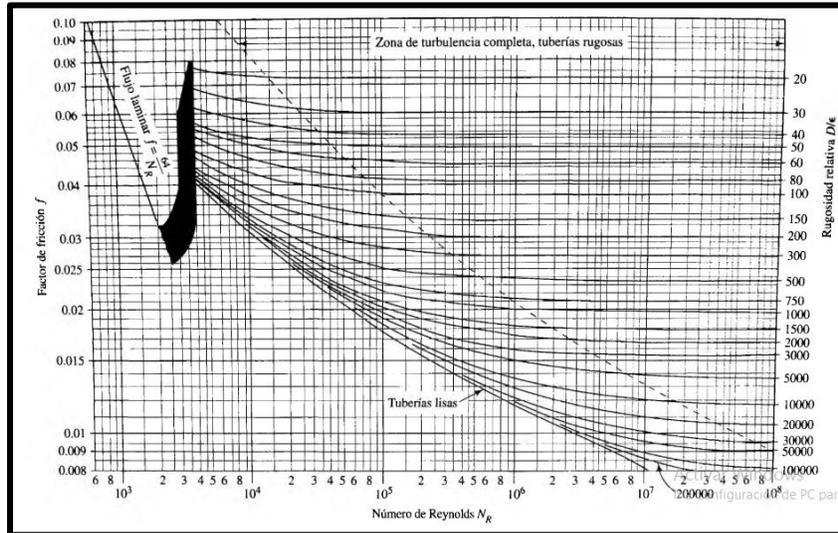
El diagrama de Moody se utiliza para hallar el valor adimensional  $f$  (factor de fricción) de una superficie, debido a que el diagrama 3-1, que es el diagrama de Moody muestra diferentes gráficas de  $f$  en función de  $N_R$  y  $\epsilon$  que es la rugosidad (es un valor adimensional) de la superficie por donde se mueve el fluido. Para hallar  $\epsilon$ : Si el flujo es turbulento se utiliza la tabla 3-1 de rugosidad en tubos y si es laminar se emplea la ecuación de la línea recta del diagrama 3-1 (ver ecuación (3.12)).

**Tabla 3-1:** Rugosidad en tubería.

Material	Rugosidad $\epsilon$ (m)	Rugosidad $\epsilon$ (pie)
Vidrio	Liso $3.0 \times 10^{-7}$	Liso $1.0 \times 10^{-6}$
Plástico	$1.5 \times 10^{-6}$	$5.0 \times 10^{-6}$
Tubo extruido; cobre, latón y acero	$4.6 \times 10^{-5}$	$1.5 \times 10^{-4}$
Acero, comercial o soldado	$1.5 \times 10^{-4}$	$5.0 \times 10^{-4}$
Hierro galvanizado	$1.2 \times 10^{-4}$	$4.0 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil, recubierto	$2.4 \times 10^{-4}$	$8.0 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil, no recubierto	$1.2 \times 10^{-4}$	$4.0 \times 10^{-4}$
Concreto, bien fabricado	$1.8 \times 10^{-3}$	$6.0 \times 10^{-3}$
Acero remachado		

Nombre de la fuente: Mott, R. (2006).

**Diagrama 3-1:** Diagrama de Moody.



Nombre de la fuente: Mott, R. (2006).

$$f = \frac{64}{N_R} \tag{3.12}$$

### 3.7 Pérdidas de energía ( $h_{LT}$ )

Las pérdidas mayores de energía, en un sistema hidráulico se deben a la fricción que tiene el fluido, respecto a la superficie conductora en un tramo recto extenso de tubería. Las pérdidas menores de energía, corresponden a los accesorios (codos, válvulas, conexiones en T, reducción o aumento de sección transversal de la tubería de transporte, etc.); dichas pérdidas constituyen a la pérdida de energía global del sistema ( $h_{LT}$ ). Las pérdidas por fricción en un tramo recto de tubería se calculan partiendo de la ecuación de Darcy (ver ecuación (3.13)).

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \tag{3.13}$$

Dónde  $L$ : Longitud del tramo recto de tubería (m). A continuación se presenta una ecuación para la pérdida de energía en los accesorios ( $h_L$ ) (ver ecuación (3.14)):

$$h_L = K \times \frac{v^2}{2g} \tag{3.14}$$

Dónde  $K$ : Coeficiente de resistencia (adimensional).

La ecuación de pérdida de energía por accesorios no varía, lo que cambia es el punto que se analiza, ya que se toma la velocidad del fluido cuando pasa por el diámetro menor en

contracción súbita o gradual y expansión súbita o gradual, para accesorios se utiliza el valor de la velocidad promedio del fluido al pasar por el elemento; el valor de  $K$  varia, dependiendo del tipo de accesorio que se esté analizando, puede ser una contracción súbita o gradual, expansión súbita o gradual, válvula, conexión en T, etc. A continuación se presentan tres métodos para el cálculo de  $K$ , el primero es la ecuación para calcular el coeficiente de resistencia para accesorios (ver ecuación (3.15)).

$$K = \frac{L_e}{D} \times f_T \quad (3.15)$$

Dónde  $f_T$ : Es el factor de fricción de la tubería a la que se encuentra conectado al accesorio (adimensional).

Los valores de  $f_T$  varían dependiendo el diámetro del tubo que está acoplado al accesorio, lo que hace que también cambie el valor de  $K$ , los datos para el coeficiente de fricción se pueden tomar de la tabla 3-2. La tabla 3-3 presenta valores para  $L_e$  (longitud equivalente) por tipo de accesorio. El segundo método es utilizado dependiendo el tipo de acoplamiento a emplear, como se logra evidenciar en la figura 3-7. El tercer método es utilizado para la contracción súbita (Morales & Sánchez , 2015).

**Tabla 3-2:** Valores para el factor de fricción ( $f_T$ ) dependiendo el tamaño nominal de la tubería.

Tamaño nominal de la tubería (pulg)	Factor de fricción $f_T$	Tamaño nominal de la tubería (pulg)	Factor de fricción $f_T$
1/2	0.027	3 1/2, 4	0.017
3/4	0.025	5	0.016
1	0.023	6	0.015
1 1/4	0.022	8-10	0.014
1 1/2	0.021	12-16	0.013
2	0.019	18-24	0.012
2 1/2, 3	0.018		

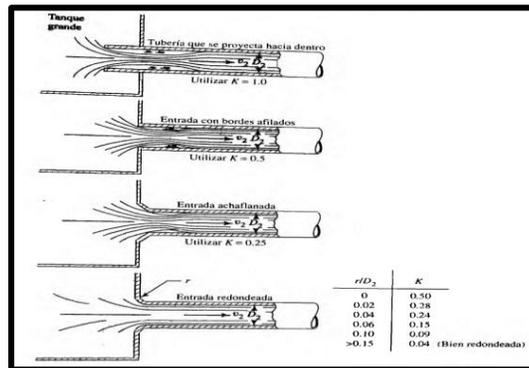
Nombre de la fuente: Mott, R. (2006).

**Tabla 3-3:** Longitud equivalente ( $L_e/D$ ) de varios accesorios.

Tipo	Longitud equivalente en diámetros de tubería $L_e/D$
Válvula de globo—abierta por completo	340
Válvula de ángulo—abierta por completo	150
Válvula de compuerta—abierta por completo	8
—3/4 abierta	35
—1/2 abierta	160
—1/4 abierta	900
Válvula de verificación—tipo giratorio	100
Válvula de verificación—tipo bola	150
Válvula de mariposa—abierta por completo, 2 a 8 pulg	45
—10 a 14 pulg	35
—16 a 24 pulg	25
Válvula de pie—tipo disco de vistago	420
Válvula de pie—tipo disco de bisagra	75
Codo estándar a 90°	30
Codo a 90° de radio largo	20
Codo roscado a 90°	50
Codo estándar a 45°	16
Codo roscado a 45°	26
Vuelta cerrada en retorno	90
Te estándar—con flujo directo	20
—con flujo en el ramal	60

Nombre de la fuente: Mott, R. (2006).

**Figura 3-7:** Coeficiente de resistencia ( $K$ ) para acoplamientos.



Nombre de la fuente: Mott, R. (2006).

### 3.8 Sistema hidráulico cultivo – tanque de almacenamiento

Esta sección comprende las tuberías encargadas de transportar el agua desde el tanque de almacenamiento hasta el cultivo de mora, el tanque deberá estar a la altura capaz de aportar la energía que requiera el fluido para llegar a la base de cada planta, teniendo en cuenta que el riego es por gravedad.

### 3.9 Sistema de bombeo

El riego al cultivo se realiza por gravedad mediante un tanque elevado, sin embargo, para garantizar que el tanque este lleno cuando se requiera, es necesario emplear una bomba capaz de transportar el fluido desde el pozo de alimentación hasta el tanque de almacenamiento, por medio de tuberías, también se deben utilizar diferentes dispositivos de control hidráulico.

### 3.10 Dispositivos de control hidráulico

Son dispositivos instalados en diferentes secciones de tubería y que realizan diferentes funciones, en la tabla 3-4 se evidencian los dispositivos que se emplean en el proyecto con una breve descripción de cada uno, en el mercado se encuentran dos tipos de goteros, los integrados, tienen un costo elevado, sin embargo cuentan con mejor tecnología (no aspiran tierra, están al interior de la cinta de riego, aseguran lavado continuo de sedimentos y escoria, entre otros), y los goteros de botón, estos son económicos, el mantenimiento es

algo que tienen a favor ya que algunos son desarmables. En Colombia actualmente se distribuyen diferentes tipos de electroválvulas, de diferentes materiales (acero, latón y plástico), sin embargo es necesario saber que “una válvula solenoide es una válvula eléctrica utilizada para controlar el paso de gas (sistemas neumáticos) o fluidos (sistemas hidráulicos). La apertura o cierre de la válvula se basa en impulsos electromagnéticos de un solenoide, un tipo de electroimán” (Curiosoando, 2020). Las electroválvulas con solenoide trabajan de la siguiente manera: el solenoide está compuesto por un alambre enrollado en espiral sobre un armazón cilíndrico, cuando se alimenta el solenoide con una corriente, se genera un campo magnético más fuerte al interior del embobinado que por fuera, la electroválvula cuenta con un núcleo de cierre, el cual es atraído cuando se genera el campo magnético, el núcleo es encargado de permitir o restringir el paso del fluido en este caso agua (lo que quiere decir que cuando se agregue corriente eléctrica al sistema, el fluido pasará a través de la válvula solenoide, pero cuando no haya corriente, el muelle cumplirá la función de volver a la posición inicial al núcleo de cierre), en la parte interna de la válvula hay una recámara dividida por la membrana plástica, la cual tiene dos agujeros que conecta a los dos compartimientos (uno central y otro perimetral), el compartimiento central estará vacío siempre y cuando el embobinado este sin energía eléctrica, cuando se energice el sistema, habrá flujo de agua en el compartimiento central dirigido hacia la salida de la válvula, el compartimiento perimetral siempre tendrá agua en su interior.

**Tabla 3-4:** Dispositivos de control hidráulico.

Dispositivo	Imagen	Descripción
Goteros		Son los encargadas de permitir el paso del fluido a las plantas
Válvula de globo		Se emplean para restringir el paso del fluido de un sector a otro, cuando sea necesario
Codo estandar a 90°		Son utilizados para dirigir el fluido hacia donde se requiera, girando el recorrido del agua por la tubería 90°
Codo estandar a 45°		Son utilizados para dirigir el fluido hacia donde se requiera, girando el recorrido del agua por la tubería 45°
Unión en Te		Generalmente son usadas para las ramificaciones de un sistema hidráulico
Filtros		Encargados de retener el material particulado o escoria que pueda traer el agua
Electroválvula		Cuenta con un solenoide el cual permite el paso del fluido cuando es energizado
Control de nivel		Es encargado de evitar el rebose de agua en el tanque de almacenamiento y también que la bomba no opere sin fluido en el pozo de alimentación
Temporizador		Dispositivo encargado de activar o desactivar el riego de acuerdo a los horarios y tiempos establecidos

Nombre de la fuente: Propia.

Las pérdidas de carga  $h_{Lv}$  de este tipo de válvulas se determinan a partir del coeficiente  $C_v$  del caudal en galones por minuto, por medio de las ecuaciones (3.16) y (3.17).

$$K_v = 0,865 \times C_v \quad (\text{Coeficiente del caudal en m}^3/\text{h}) \quad (3.16)$$

$$h_{Lv} = \frac{Q^2}{K_v^2} \quad (3.17)$$

Los sensores de nivel son de varios tipos, existen sensores ultrasónicos sin contacto y con contacto, flotadores eléctricos y sensor de nivel por capacitancia, los cuales presentan diferentes características, por ende se emplean en funciones diferentes, por ejemplo la mayoría de sensores ultrasónicos tienen un rango pequeño, en comparación con los flotadores eléctricos, ya que estos pueden ampliar el rango de medición graduando el cable del flotador, sin embargo un flotador eléctrico funciona como interruptor, a diferencia de un nivel ultrasónico, el cual puede retroalimentar un sistema. En los sistemas de riego por goteo, uno de los principales problemas es el taponamiento de los emisores, por lo que es necesario el uso de filtros en diferentes secciones del sistema hidráulico, en el caso de estudio se utilizarán dos filtros, se debe usar uno entre el pozo de alimentación y la bomba a emplear y otro entre el tanque de almacenamiento y el cultivo. En la actualidad existen diferentes tipos de filtros, cada uno tiene diferentes ventajas y desventajas, para el sistema de riego por goteo normalmente se utilizan hidrociclones, filtros de arena, filtros de disco y filtros de malla; los cuales se describen a continuación:

**Hidrociclón:** El filtro consta de cuatro partes importantes, un tubo de entrada, uno de salida, válvula de drenaje y el depósito acumulador, el funcionamiento inicia cuando ingresa agua al filtro por el tubo de entrada, el cuerpo del filtro tiene forma de ciclón, el fluido genera un vórtice, el cual expulsa las partículas suspendidas en el agua hacia el cuerpo del filtro debido a la fuerza centrífuga y después descienden por gravedad hacia el depósito, el cual cuenta con una válvula de drenado para la limpieza (ver figura 3-8), “es recomendable, instalar en serie con el hidrociclón un filtro de malla como medida de seguridad, dado que hasta que el hidrociclón no alcanza el régimen de trabajo puede dejar pasar algunas partículas” (Ingemecanica, s.f). La pérdida de carga de este tipo de filtro es constante, está entre 3 y 7 *m. c. a.*, “la eficiencia de este tipo de filtros permite retener partículas presentes en el flujo de un tamaño mayor a 74 *micras* (200 *mesh* aprox.) y densidad superior a 1,5  $\text{gr}/\text{cm}^3$ ” (Ingemecanica, s.f). Los hidrociclones “se utilizan

cuando se tienen arenas en suspensión que aparecen en aguas de pozos profundos” (Novagric, s.f).

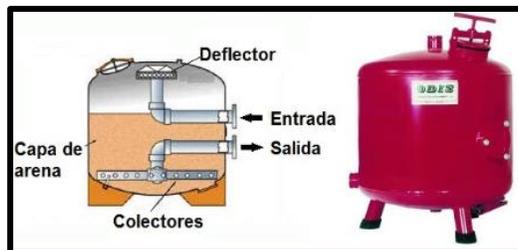
**Figura 3-8:** Hidrociclón.



Nombre de la fuente: Ingemecanica (s.f).

**Filtros de Arena:** En la figura 3-9 se muestran cinco partes importantes del filtro, un tubo de entrada y uno de salida, deflector, capa de arena y colectores. El agua entra al filtro por la tubuladura superior que se prolonga por el interior del tanque hasta terminar en un deflector que hace que el chorro de agua no incida directamente sobre la capa de arena y la remueva. La salida del agua ya filtrada se realiza por la tubuladura inferior del tanque. Dicha tubería se prolonga por el interior del tanque en unos colectores perforados y protegidos por una especie de malla que evita que el flujo de agua en su salida arrastre la arena hacia afuera (Ingemecanica, s.f). “Las pérdidas de presión admisibles, con filtro limpio, son del orden de **1 a 3 m.c.a.**, efectuándose la limpieza cuando estas pérdidas alcancen **4 o 5 m.c.a**” (Monge Redondo, 2018).

**Figura 3-9:** Filtro de arena.

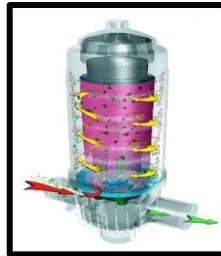


Nombre de la fuente: Ingemecanica (s.f).

**Filtros de disco:** Son usualmente utilizado en la industria agrícola, ya que presenta ventajas en cuanto a la limpieza ya que puede ser manual o automática en la figura 3-10 se presenta el dispositivo, la limpieza manual es sencilla de realizar, las anillas o discos son bastante resistentes y según el color de estas es el tipo de filtración, en la tabla 3-5 se

muestra el código de colores con la respectiva retención de partículas en micras y su aplicación.

**Figura 3-10:** Filtro de disco o anilla.



Nombre de la fuente: Monge Redondo (2018).

La filtración física a través de anillas se lleva a cabo por retención de los sólidos en suspensión del agua en los canales originados por la superposición de un conjunto de anillas, montadas en una estructura de alta seguridad. Los canales de las anillas tienen capacidad de realizar filtración en profundidad (Gestiriego, 2019). “Las pérdidas de presión admisibles con filtro limpio son del orden de 1 a 3 *m. c. a* efectuándose la limpieza cuando estas pérdidas alcancen 4 o 5 *m. c. a*” (Monge Redondo, 2018).

**Tabla 3-5:** Código de colores para filtros de anilla o disco.

Color	Mesh	Micras (µm)	Utilización
Oliva	30	500	Aspersión, filtración gruesa
Naranja	40	400	Aspersión, filtración gruesa
Amarillo	50	300	Aspersión, difusión, filtración semigruesa
Celeste	75	200	Difusión, microaspersión, filtración media
Gris	85	175	Microaspersión, filtración media
Verde	100	150	Microaspersión, filtración media fina
Azul	120	125	Goteo, filtración media fina
Rojo	150	100	Goteo, filtración fina
Marrón	200	75	Cinta, goteros, filtración fina
Negro	300	50	Filtración muy fina
Verde claro	750	20	Tratamientos primarios del agua
Rosa	1500	10	Tratamientos de agua, filtración ultrafina
Verde mar	3000	5	Aguas potables, filtración ultrafina

Nombre de la fuente: Ingemecanica (s.f).

**Filtros de malla:** Como el nombre lo indica están compuestos por una malla, la cual está encargada de la retención de partículas suspendidas de diámetro mayor a los orificios de la malla, son económicos, respecto a los filtros de disco, son muy eficaces con residuos o partículas minerales y la limpieza puede hacerse manual retirando la malla del filtro. Este tipo de filtros tienen la función de realizar un tamizado superficial del agua, reteniendo las partículas que tienen un tamaño mayor que los orificios de la malla. Se suelen usar en

aguas no demasiado sucias o como elementos de seguridad después de hidrociclones, equipos de fertirrigación o filtros de arena, que cada vez van teniendo menor uso debido a su costoso mantenimiento. Los filtros de malla están especialmente indicados para retener las partículas de origen mineral puesto que toda la orgánica que tiene una estructura más fibrosa se cuela con facilidad a través de los orificios de la misma (Gestiriego, 2019). Las pérdidas de presión admisibles son iguales a las pérdidas de los filtros de disco.

### **3.11 Tanque de almacenamiento de agua elevado**

Partiendo del requerimiento hídrico del cultivo se elige un tamaño adecuado para el tanque de almacenamiento, teniendo en cuenta el volumen de agua que almacena la fuente hídrica (aljibe), ya que si se extrae agua de dicho punto y se distribuye de forma incorrecta al cultivo, en algún momento se puede secar el aljibe, por ende el cultivo estaría sin agua cuando la necesite.

#### **3.11.1 Tipos de tanques**

Se clasifican según el material de construcción.

- Tanques de plástico: Alta resistencia a la corrosión, son de fácil transporte, uso y almacenamiento.
- Tanque de fibra de vidrio: Son resistentes a altas temperaturas, son difíciles de deformar y poseen alta resistencia a la corrosión.
- Tanques de hierro: Se deben instalar en concreto, el material debe recubrirse para evitar corrosión, son pesados y son resistentes a altos contenidos tóxicos.

#### **3.11.2 Estructura de soporte**

El diseño de la estructura de soporte del tanque elevado, inicia con el peso total que está tiene que resistir, que en teoría es el peso del tanque cuando esté completamente lleno de agua y la altura del mismo, la cual va a depender de la energía que se necesite aportar al fluido con el fin de que llegue a todas las plantas, debido a que el terreno posee diferencias de altura en diversos puntos y que el agua se transportará sin ayuda mecánica solo con la fuerza de la gravedad, el tanque con su estructura se ubica en el punto más elevado posible, para poder aprovechar al máximo las condiciones del terreno. Los materiales

empleados usualmente en este tipo de estructuras son acero, madera y concreto; en cuanto a las uniones, si la estructura se diseña en acero pueden ser pernadas o soldadas, pero si se diseña en madera son netamente pernadas, la estructura se diseña de acuerdo a la norma NSR 10, la cual es la norma de sismo resistencia que rige en Colombia. La madera es un material diseñado para trabajar en dirección de la fibra, las mejores prestaciones de este material son trabajando a flexión con una buena relación resistencia peso. El hormigón está diseñado para trabajar a compresión donde se obtienen los mejores resultados. El acero tiene muy buenas resistencias pero trabajando a compresión puede presentar problemas de pandeo por su esbeltez (Maderae, 2017). En la tabla 3-6 se muestran diferentes características para los tres materiales.

**Tabla 3-6:** Características mecánicas de la madera, hormigón y acero.

Material	Flexión (N/mm <sup>2</sup> )	Tracción (N/mm <sup>2</sup> )		Compresión (N/mm <sup>2</sup> )		Cortante (N/mm <sup>2</sup> )	Módulo de elasticidad medio (N/mm <sup>2</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Precios (euros/m <sup>3</sup> )*
		0°	90°	0°	90°				
Madera- C24	24	14	0,5	21	2,5	2,5	11.000	420	300 – 400
Hormigón- HA25	–	1,79		25		1,79	32.000	2.500	60 – 80
Acero-S275	275	275		275		158	210.000	7.850	8.000

Nombre de la fuente: [www.maderea.es](http://www.maderea.es) (2017).

La estructura debe ser capaz de soportar como mínimo las siguientes condiciones:

- Cargas muertas: Corresponden a las cargas debidas por el peso propio del sistema estructural, que para este caso en específico, será el peso de la estructura más el peso del tanque.
- Cargas vivas: Son las cargas que debe soportar la estructura, consideradas variantes en algún instante de tiempo, las cuales corresponde al peso del agua almacenada en el depósito más el peso de una persona promedio (este se considera para situaciones de mantenimiento).

- Cargas sísmicas: Corresponden a posibles movimientos oscilatorios causados por los movimientos de las placas tectónicas que conforman la estructura de la superficie de la tierra y que pueden llegar a deformar o incluso derribar una estructura; esta parte del diseño se realiza de acuerdo a la norma de construcciones sismo resistentes que rige en Colombia en la actualidad la NSR 10.
- Cargas por el viento: Son las ejercidas por el movimiento de partículas de aire a altas velocidades como los huracanes, las estructuras se ven afectadas por este tipo de cargas cuando la altura de la estructura es grande respecto al ancho del área de la base.

Cuando se realiza un diseño mecánico de este tipo, se deben tener claros los conceptos esfuerzo y deformación, el esfuerzo es el agotamiento que sufre un elemento sometido a una fuerza, y se define como la fuerza aplicada por unidad de área, los miembros estructurales estarán sometidos a esfuerzos axiales (tensión y compresión), cortantes y de flexión. Los esfuerzos axiales se producen cuando la fuerza se aplica perpendicularmente a la superficie del elemento, los esfuerzos cortantes se producen por la acción de dos fuerzas no alineadas, es decir con ejes de acción diferentes, pero muy cercanos, de la misma manera que una tijera corta un papel, y los esfuerzos debidos a la flexión se producen cuando se aplica una fuerza en un punto retirado del eje de acción de la reacción o apoyo, generando esfuerzos de tensión y compresión en un mismo elemento pero en diferentes zonas. La deformación de un material va depender de la resistencia a la fluencia que este tiene frente a los esfuerzos a los cuales estará sometido y corresponde a una reducción o ampliación de área dependiendo de las fuerzas aplicadas en los elementos; la resistencia a la fluencia es una característica de cada material, y corresponde al límite de esfuerzo que se puede aplicar a un material, de tal forma que al retirar la fuerza cada punto del elemento regrese a su posición inicial (zona elástica), después de pasar este límite se encuentra la zona plástica en la cual el material ha cambiado sus propiedades físico-mecánicas. Las uniones de un sistema estructural pueden ser fijas (soldaduras) o móviles (pernos), normalmente este tipo de estructuras deben estar apoyadas en cimentaciones de concreto (zapatas), con el fin de asegurar la estructura al suelo, ya que la tierra es blanda y genera movimiento de los componentes, la zapata se une con pernos de anclaje a la placa base soldada a cada columna, el concreto deberá soportar la carga de aplastamiento generada por la estructura.

## 4. Cálculos y criterios de diseño

### 4.1 Requerimiento hídrico del cultivo

La  $ET_c$  va a depender de la  $ET_o$  y del valor de  $K_c$  para el cultivo de mora. La  $ET_o$  se encuentra con CROPWAT, al abrir el programa en el costado izquierdo aparecen diferentes ítem, se escoge **clima/  $ET_o$** , y se abre la ventana mostrada en la tabla 4.1, en la cual se ingresan los valores promedio de las variables para cada mes desde el año 2013 hasta el 2019, resaltados para cada mes en las tablas desde la A-1, hasta A-5 del anexo A.

**Tabla 4-1:** Calculo de evapotranspiración de referencia.

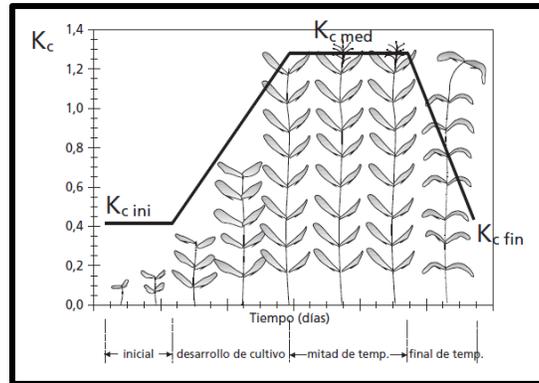
Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ET <sub>o</sub>
	°C	°C	%	m/s	horas	MJ/m <sup>2</sup> /día	mm/día
Enero	3.5	24.1	78	2.1	6.5	17.9	3.54
Febrero	4.8	24.9	78	2.0	6.4	18.7	3.76
Marzo	5.2	23.3	80	2.1	5.5	17.9	3.55
Abril	6.5	22.1	81	2.4	4.6	16.5	3.26
Mayo	6.9	22.5	82	2.0	4.5	15.8	3.14
Junio	5.3	21.2	79	2.3	4.4	15.2	3.05
Julio	5.8	21.8	79	2.4	5.6	17.1	3.30
Agosto	5.6	22.4	78	2.3	6.0	18.3	3.54
Septiembre	5.3	22.9	78	2.7	5.4	17.6	3.59
Octubre	5.5	23.6	81	2.1	5.1	16.8	3.37
Noviembre	6.1	22.4	82	1.6	4.3	14.8	2.90
Diciembre	3.9	23.4	79	1.9	6.0	16.8	3.28
Promedio	5.4	22.9	80	2.2	5.4	17.0	3.36

Nombre de la fuente: CROPTWAT (2020).

El coeficiente único del cultivo  $K_c$  se toma del cuadro 12, del libro evapotranspiración del cultivo de la FAO, en el cual se muestran tres valores diferentes para  $K_c$ , dependiendo de las etapas del cultivo ilustradas en la figura 4-1, el primero es de **0,30** el inicial ( $K_{c\text{ini}}$ ), el segundo de **1,05** es de mediados de temporada ( $K_{c\text{med}}$ ) y el tercero es el final de **0,50**

$(K_c fin)$ ,  $K_c$  es directamente proporcional a la evapotranspiración del cultivo, por ende, para que el tanque de almacenamiento garantice el abastecimiento de agua en todo el cultivo y para las tres etapas de las plantas, se debe tomar el valor de  $K_c med$ , ya que es el mayor de los tres.

**Figura 4-1:** Etapas de los cultivos.



Nombre de la fuente: Allen, R (2006).

Haciendo uso de la ecuación (3.1), se obtiene un valor para la evapotranspiración del cultivo de:

$$ET_c = 3,53 \text{ mm/día}$$

Ahora en CROPTWAT se ingresa a precipitación, para calcular la precipitación efectiva del sector, partiendo de los valores promedio de precipitación mensual, desde el año 2013 hasta el 2019, resaltados en la tabla A-6 para cada mes, los resultados de la precipitación efectiva son los de la tabla 4-2 y su promedio es de **76,6 mm/mes (2,55 mm/día)**.

**Tabla 4-2:** Cálculo de precipitación efectiva.

	Precipit.	Prec. efec
	mm	mm
<b>Enero</b>	6.9	6.8
<b>Febrero</b>	93.3	79.4
<b>Marzo</b>	209.8	139.4
<b>Abril</b>	174.7	125.9
<b>Mayo</b>	124.3	99.6
<b>Junio</b>	51.4	47.2
<b>Julio</b>	27.0	25.8
<b>Agosto</b>	21.0	20.3
<b>Septiembre</b>	42.8	39.9
<b>Octubre</b>	170.7	124.1
<b>Noviembre</b>	186.1	130.7
<b>Diciembre</b>	94.1	79.9
<b>Total</b>	<b>1202.1</b>	<b>918.9</b>

Nombre de la fuente: CROPTWAT (2020).

Para el requerimiento hídrico del cultivo se reemplazan los valores de  $ET_c$  y  $PE$  en la ecuación (3.2), y la eficiencia del cultivo se toma a partir de las características de los diferentes tipos de riego estudiados en la sección anterior, como lo son riego por goteo con una eficiencia mínima de 90%, riego con micro-aspersión con eficiencia mínima de 80% y el riego corrido con eficiencia mínima de 40% (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, s.f). Se decide diseñar el sistema con un riego por goteo, asumiendo la eficiencia mínima de este del 90%, la energía que se piensa adicionar al fluido desde el tanque de almacenamiento hasta cultivo, se hace utilizando la fuerza gravitacional, por lo que este sistema presenta ventajas (menor costo de implementación, los goteros requieren de menor presión para su activación respecto a los micro-aspersores y se aprovecha el recurso hídrico) frente a los otros dos. El  $REQ$  se calcula por medio de la ecuación (3.2):

$$REQ = \frac{3,53-2,55}{0,90} = 1,088 \text{ mm/día}, \text{ que equivale a: } REQ = 1,088 \text{ litros/m}^2 * \text{ día}$$

El área del terreno se midió usando el google maps y se corrobora la información midiendo el perímetro del cultivo (los datos se muestran en la tabla A-7 del anexo A), para realizar el croquis mostrado en la figura A-1 del anexo A, obteniendo un área aproximada de  $7263 \text{ m}^2$ ; por lo que el  $REQ$  de todo el cultivo es de:

$$REQ = 7908,6 \text{ litros/día}$$

De acuerdo a conversaciones con el dueño del terreno se decide hacer en un día dos riegos, por lo que en cada uno se administra al cultivo  $3954,3 \text{ litros (l)}$ . Este resultado es favorable debido a que la fuente hídrica (pozo de alimentación), tiene una capacidad de  $10000 \text{ l}$  aproximadamente, valor obtenido empleando la electrobomba disponible de un caballo de fuerza y caudal de  $3 \text{ m}^3/\text{h}$ , para vaciar el pozo, el cual tardó  $4,5 \text{ horas}$  en quedar vacío, después de la prueba se dejó llenar por doce horas, llegando de nuevo al nivel máximo.

## 4.2 Diseño hidráulico cultivo – tanque de almacenamiento

El sistema seleccionado es riego por goteo, debido a los beneficios que brinda al cultivo de mora en cuanto a producción, se asume una eficiencia hídrica de 90% y teniendo en

cuenta que el riego es por gravedad; el caudal necesario para la implementación de este sistema depende del requerimiento hídrico del cultivo que es **3954,3 l/riego**, de acuerdo a conversaciones realizadas con el dueño del terreno se decide realizar esta labor en **1 hora (h)** y media (por lo que al día el riego duraría **3 h**), aportando a las plantas un caudal total de **2636,2 l/h**, lo que correspondería a un suministro de agua en cada planta de **0,88 l/h**, la separación de las plantas es de **1,20 metros (m)** y se desea colocar un gotero en la base de cada planta, instalado en la tubería porta goteros. La energía que requiere el agua para llegar a cada planta, depende de la altura a la cual se instale el tanque de almacenamiento, ya que el riego se realiza por gravedad, con el fin de poder usar una electrobomba pequeña solo para el sistema de bombeo.

#### 4.2.1 Distribución de las tuberías.

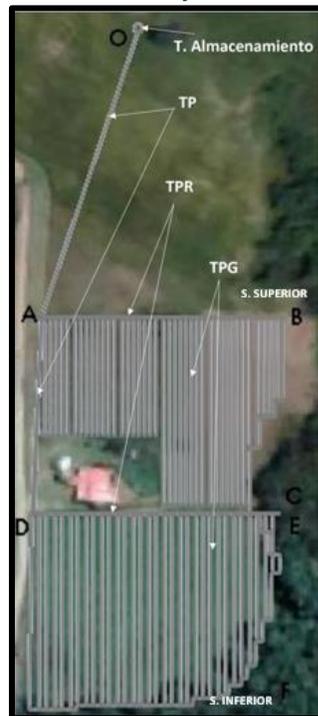
El terreno se divide en dos sectores (sector superior y sector inferior), mostrados en la figura 4-2; el tendido de las tuberías se muestra en la figura 4-3, la tubería principal (TP), comienza en el tanque de almacenamiento (punto O) y se dirige hacia una T ubicada en la esquina superior izquierda del sector superior (punto A), en ese punto se divide la línea de tubería en dos tuberías secundarias o tuberías porta ramales (TS o TPR) hacia los dos sectores; el riego inicia en el sector inferior con un total de **31 ramales** (a lo largo del tramo A – B) y luego en el sector superior con **41 ramales** (a lo largo del tramo A – E, pasando por D), lo que quiere decir que cuando se riegue una zona no se regará la otra; el agua llega a las plantas por medio de goteros instalados en la tubería porta goteros (TPG), separados cada **1,2 m**.

**Figura 4-2:** Sección superior y sección inferior.



Nombre de la fuente: Propia.

**Figura 4-3:** Distribución de tuberías TP, TPR y TPG.



Nombre de la fuente: Propia.

#### 4.2.2 Dimensionamiento de tubería porta goteros (TPG)

##### ▪ Sección superior

Para seleccionar un gotero adecuado, se utiliza el caudal a suministrar a cada planta (**0,88 l/h**), y se escoge uno con un caudal por encima al requerido, económico, durable y que se accione a presiones bajas, se opta por un gotero desarmable de botón de color amarillo, ya que es económico y se puede limpiar, entrega un caudal de **2,0 l/h** a una presión nominal de **1 bar (10,2 metros de columna de agua (m.c.a))**, la curva característica de éste se representa mediante la ecuación (4.1), la cual es la ecuación característica general del caudal de un gotero en función de la presión (ver anexo F catálogo del gotero); con el caudal del gotero se encuentra un tiempo de **0,7 h (42 minutos)** en realizar un riego, un total de **1,4 h (1 h y 24 minutos)** diarias en esta labor.

$$Q = K_{GT} * P^x \quad (4.1)$$

Donde  $Q$ : Es el caudal del gotero =  $2 \text{ l/h}$ ;  $P$ : Es la presión del gotero =  $1 \text{ bar}$ ;  $K_{GT}$ : Coeficiente de flujo del gotero =  $2$ ;  $x$ : Exponente del emisor =  $0,48$ . Para el gotero seleccionado la ecuación característica es de la siguiente forma:  $Q = 2 * P^{0,48}$ . Para garantizar una distribución uniforme del recurso hídrico se considera una variación admisible de caudales  $\frac{dq}{Q}$  de  $0,1$  ( $10\%$ ), y derivando la ecuación (4.1), se tiene que:

$$dq = K_{GT} * x * P^{x-1} dp = Q * x * \frac{dp}{P}$$

Por lo que:

$$\frac{dq}{Q} = x * \frac{dp}{P} = 0,1$$

El cambio admisible en la presión  $dp$  en un gotero viene dado por:

$$dp = \frac{0,1}{x} * P$$

Entonces el cambio de presión admisible  $dp$  para el caso específico de riego, es de:

$$\frac{\Delta P}{\gamma} = dp = \frac{0,1}{0,48} * 10,2 \text{ m. c. a} = 2,13 \text{ m. c. a}$$

Lo que quiere decir que el cambio en las presiones a lo largo del sistema, no debe superar dicho valor. El diseño se realiza en tubería de polietileno, ya que este material es económico y tiene buenas características en cuanto a durabilidad expuesto al ambiente y la oxidación es casi nula, teniendo en cuenta que el fluido de trabajo es agua. El flujo va ser turbulento en algunas partes del sistema de tuberías y en otras laminar, se utiliza la ecuación de Blasius, para determinar la pérdida de energía por fricción en tubería cerrada y se multiplica por el factor de Christiansen para tener en cuenta las pérdidas en tubería con múltiples salidas (ver ecuación (4.2)).

$$h_{fB-C} = 0,465 * Q^{1,75} * D^{-4,75} * (L + N * L_e) * F \quad (4.2)$$

Donde  $N$ : Numero de goteros, debido a que la distribución de las líneas no es uniforme se toma la línea de mayor longitud y se ubican goteros cada  $1,2 \text{ m}$ , por lo que para la sección superior serian  $49 \text{ goteros}$  por línea;  $Q$ : Caudal de la línea TPG, se estudia un tramo supuesto desde el punto B, hasta el punto C ( $N * \text{caudal del gotero} = 98 \text{ l/h}$ );  $L$ : Longitud

de la línea porta goteros **59 m**;  $L_e$ : Longitud equivalente de las pérdidas de carga por conexión, para este caso es de **1,2 m**;  $F$ : Factor de Christiansen, el cual representa la disminución del caudal a lo largo del ramal y se expresa mediante la siguiente formula (Ver ecuación (4.3)):

$$F = \frac{1}{1+m_1} + \frac{1}{2*N} + \frac{(m_1-1)^{0.5}}{6*N^2} \quad (4.3)$$

Donde  $m_1$ : Es el coeficiente de  $Q$  en la expresión de Blasius de pérdida de energía por fricción y equivale a **1,75** para el PVC o polietileno. Ahora se emplea el coeficiente de mayoración  $C$  el cual “consiste en representar las pérdidas de carga singulares como un porcentaje de las continua, el cual suele oscilar entre 10 y 25% de las mismas” (Khouri, 2004); dicho coeficiente se puede representar como una función de  $L_e$  (Ver ecuación (4.4)), como se ve a continuación:

$$C = \frac{L+N*L_e}{L} \rightarrow C * L = L + N * L_e \quad (4.4)$$

Reemplazando en (4.2) se encuentra la ecuación (4.5):

$$h_f = 0.465 * Q^{1.75} * D^{-4.75} * C * L * F \quad (4.5)$$

El  $Q$  se expresa en función de la velocidad del fluido ( $v$ ) y del área de la sección transversal del mismo ( $A$ ), que será el área interna del conducto (ver ecuación (4.6)).

$$Q = v * A \quad (4.6)$$

La velocidad media del agua debe estar comprendida entre **0,6 y 2,25  $\frac{\text{metros (m)}}{\text{segundo (s)}}$**  (Pizarro, 1996), por debajo de **0,6 m/s** los diámetros son excesivos y la tubería resulta extremadamente cara, además las bajas velocidades favorecen el depósito de sedimentos; para velocidades superiores a **2,25 m/s**, las pérdidas de carga adquieren valores muy elevados, se acelera el envejecimiento de las tuberías (Linares, 2011, pág. 188); por lo que se decide un valor mínimo de **0,6 m/s**, se asume la velocidad del agua constante en todo el recorrido del sistema hidráulico desde el tanque de almacenamiento hasta el cultivo, velocidades mayores a la seleccionada incrementaría la pérdida de carga en los accesorios y por ende la cantidad de energía que se debe adicionar al fluido. Se procede a encontrar un diámetro para el caudal requerido despejando  $D$  de 4.6.

$$Q = v * A = v * \left( \frac{\pi x D^2}{4} \right)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{v * \pi}} = \sqrt{\frac{4 (2,72 * 10^{-5})}{\pi(0,6)}} = 0,007597 \text{ m} \approx 7,597 \text{ mm.}$$

Comercialmente el mínimo diámetro en manguera de polietileno es **16 milímetros (mm)**, con diámetro interno de **13,2 mm**; el factor de Christiansen será:  **$F = 0,3739 \approx 0,374$** . Utilizando la ecuación (4.2) se tiene que:

$$h_{fB-C} = 0,465 * (98)^{1,75} * (13,2)^{-4,75} * (59 + 49 * 1,2) * 0,374 = 0,298 \text{ m. c. a}$$

$$h_{fC-B} = h_{LTC-B} = 0,298 \text{ m. c. a} < 2,13 \text{ m. c. a}$$

La pérdida de carga en este tramo no supera la pérdida de carga máxima admisible. Ahora se procede a encontrar la cabeza de presión en el punto B (cabeza de presión en tubería porta goteros), ya que la distribución de caudales de esta línea depende de ella y se encuentra por medio de la ecuación (4.7):

$$\frac{P_B}{\gamma} = \frac{P_C}{\gamma} + 0,5 \Delta Z_{C-B} + 0,75 \Delta h_{LTC-B} \quad (4.7)$$

Donde  $\frac{P_B}{\gamma}$ : Presión en el origen de la tubería (**m. c. a**);  $\frac{P_C}{\gamma}$ : Presión nominal de funcionamiento del gotero (**m. c. a**) = **10,2**;  $\Delta Z_{C-B}$ : Diferencia de cotas entre los extremos de la tubería (**m**) = **2,79 - 3,86**, el símbolo negativo indica que el sentido del fluido es el descenso;  $\Delta h_{LTC-B}$ : Pérdida de carga total en la tubería (**m. c. a**) = **0,298**. Entonces:

$$\frac{P_B}{\gamma} = 10,2 + 0,5 (-1,07) + 0,75 (0,298) = 9,89 \text{ m. c. a}$$

#### ▪ Sección inferior

Para esta parte, **v**: La velocidad de diseño es la misma que para la tubería de la sección superior es de **0,6 m/s**; **m**: Es el coeficiente de **Q** en la expresión de Blasius de pérdida de energía por fricción, equivale a **1,75** para el PVC o polietileno; **N**: Numero de goteros, debido a que la distribución de las líneas no es uniforme se toma la línea de mayor longitud y se ubican goteros cada **1,2 m**, por lo que para la sección superior serian **51 goteros** por línea; **Q**: Caudal de la línea, se estudia un tramo supuesto desde el punto E hasta el punto

F (N \* caudal del gotero = **102 l/h**); **L**: Longitud de la línea porta goteros **61,4 m**; **L<sub>e</sub>**: Longitud equivalente de las pérdidas de carga por conexión, para este caso es de **1,2 m**, permanece igual. Se tiene que: **D = 0,00775 m ≈ 7,75 mm**. El mínimo diámetro externo comercial para tuberías de polietileno es de **16 mm**, de diferentes espesores y con diámetro interno mínimo de hasta **13,2 mm**; por lo que se halla la pérdida de fricción con el diámetro interno mínimo de las tuberías comerciales.

$$F = 0,3739 \approx 0,374.$$

$$h_{fF-E} = 0,332 \text{ m. c. a} = h_{LTF-E}$$

Aplicando la ecuación (4.7).

$$\frac{P_E}{\gamma} = 10,2 + 0,5(-3,86) + 0,75(0,332) = 8,52 \text{ m. c. a}$$

### 4.2.3 Dimensionamiento de la tubería porta ramales (TPR)

#### ▪ Sección superior

Ahora empleando la ecuación (3.10), se tiene que:

$$Z_A + \frac{v_A^2}{2g} + \frac{P_A}{\gamma} + h_A - h_{LTC-A} - h_R = Z_B + \frac{v_B^2}{2g} + \frac{P_B}{\gamma}$$

Donde **h<sub>A</sub>**: Energía total adicionada (**m. c. a**) = **0**; **h<sub>R</sub>**: Energía total retirada (**m. c. a**) = **0**; **h<sub>f C-A</sub>**: Energía total perdida (**m**) = **0,298 + h<sub>f B-A</sub>**; **Z<sub>A</sub>**: Cota de altura en el punto A (**m**) = **11,640**; **Z<sub>B</sub>**: Cota de altura en el punto B (**m**) = **3,86**;  $\frac{v_2^2}{2g} = \frac{v_2^2}{2g}$ : Velocidad constante.

Reemplazando:

$$\frac{\Delta P_{B-A}}{\gamma} = Z_B - Z_A + h_{f C-A} = 2,13 \text{ m. c. a}$$

Por lo que:

$$2,13 = 3,86 - 11,640 + 0,298 + h_{f B-A}$$

$$h_{f B-A} = 9,61 \text{ m. c. a}$$

Este valor representa la máxima pérdida de carga admisible en TPR, por lo que se utiliza en la ecuación (4.5) para encontrar un diámetro que cumpla con las características de

diseño y en la tabla 4-3 se muestran los valores para el cálculo del diámetro; Despejando la ecuación se encuentra un diámetro para el sistema, el cual se muestra en la tabla 4-4.

$$h_{f_{B-A}} = 0,465 * (4018)^{1,75} * D^{-4,75} * 2 * 82 * 0,376 = 9,61 \text{ m. c. a}$$

Con el diámetro comercial seleccionado se calculan las pérdidas por fricción, empleando las ecuaciones (4.2) y (4.3).

$$h_{f_{A-B}} = 4,245 \text{ m. c. a}$$

Por lo que el diámetro escogido es válido, ya que la pérdida de carga por fricción no supera la pérdida de carga admisible de **9,61 m. c. a**. Conociendo el diámetro se procede a encontrar las pérdidas de carga por los accesorios, la tubería inicia en una derivación en T, luego tiene una válvula de globo, la cual cumple la función de restringir el paso del agua para regar la sección inferior o permitir el paso del fluido cuando se realice el riego en la sección superior. Las pérdidas por los accesorios se calculan usando la ecuación (3.14).

**Tabla 4-3:** Variables para calcular el diámetro y pérdida de carga S. superior.

Caudal Q (l/h)	4018
Velocidad v(m/s)	0,6
Longitud de la línea L(m)	82
Numero de ramales	41
Numero de goteros	49
Longitud equivalente o separación entre TPG Le(m)	2
Coefficiente de Christeansen F	0,376
Coefficiente de mayoración	2

Nombre de la fuente: Propia.

**Tabla 4-4:** Selección de diámetro para el sistema estudiado S. superior.

Díámetro	Comercial	
0,02677	0,0318	m
26,77	31,8	mm

Nombre de la fuente: Propia.

El coeficiente  $K$  se halla tomando valores de la tabla 3-3 para  $L_e/D$ , y de la tabla 3-2 se escoge el valor de  $f_T$ ; en la tabla 4-5, se muestran las pérdidas menores por la válvula tipo globo.

**Tabla 4-5:** Perdida de carga en accesorios sección superior.

Accesorio	$L_e/D$	$f_T$	$K$	$h_{LB-A}$ (m.c.a)
Válvula de globo	340	0,022	7,48	0,137
Total				0,137

Nombre de la fuente: Propia.

Por lo tanto la energía total perdida en el sistema se representa como la suma de la pérdida por fricción y la pérdida debida a los accesorios:

$$h_{LTA-B} = h_{fA-B} + h_{LA-B} = 4,245 + 0,137 = 4,382 \text{ m. c. a}$$

Empleando la ecuación (4.7), se obtiene:

$$\frac{P_A}{\gamma} = \frac{P_B}{\gamma} + 0,5 \Delta Z_{B-A} + 0,75 \Delta h_{LTC-A}$$

$$\frac{P_A}{\gamma} = 9,89 + 0,5 * (1,07 - 8,850) + 0,75 * (4,382 + 0,298) = 9,51 \text{ m. c. a}$$

#### ▪ Sección inferior

Usando la ecuación (3.10), se tiene que:

$$Z_D + \frac{v_D^2}{2g} + \frac{P_D}{\gamma} + h_A - h_{LTF-D} - h_R = Z_E + \frac{v_E^2}{2g} + \frac{P_E}{\gamma}$$

Donde  $h_A$ : Energía total adicionada (m. c. a) = 0;  $h_R$ : Energía total retirada (m. c. a) = 0;  $h_{fF-D}$ : Energía total perdida (m. c. a) = 0,332 +  $h_{fE-D}$ ;  $Z_D$ : Cota de altura en el punto D (m) = 7,865;  $Z_E$ : Cota de altura en el punto E (m) = 3,860;  $\frac{v_2^2}{2g} = \frac{v_2^2}{2g}$ : Velocidad constante.

Reemplazando:

$$\frac{\Delta P_{E-D}}{\gamma} = Z_E - Z_D + h_{LTF-D} = 2,13 \text{ m. c. a}$$

$$2,13 = 4,860 - 7,865 + 0,332 + h_{fE-D}$$

$$h_{fE-D} = 4,803 \text{ m. c. a}$$

En la tabla 4-7 se muestra el diámetro calculado y el diámetro seleccionado para el sistema. La máxima pérdida de carga admisible  $h_f$  para el sistema se encuentra con la ecuación (4.7), en la tabla 4-6 se evidencian los valores de las variables para hallar el diámetro.

$$h_f = 0,465 * (3952,5)^{1,75} * D^{-4,75} * 1,97 * 80 * 0,380 = 4,803 \text{ m. c. a}$$

**Tabla 4-6:** Variables para calcular el diámetro y pérdida de carga S. inferior.

Caudal Q (l/h)	3952,5
Velocidad v (m/s)	0,6
Longitud de la línea L (m)	80
Numero de ramales	31
Numero de goteros	51
Longitud equivalente o separación entre goteros Le (m)	2,5
Coefficiente de Christeansen F	0,380
Coefficiente de mayoración C	1,97

Nombre de la fuente: Propia.

**Tabla 4-7:** Selección de diámetro para el sistema estudiado S. inferior.

Diámetro	Comercial	
0,03060	0,0318	m
3,060	31,8	mm

Nombre de la fuente: Propia.

Se escoge el mismo diámetro para las dos secciones, lo que es conveniente, ya que minimiza los costos de implementación; con el diámetro seleccionado se calculan las pérdidas por fricción, desde el punto D hasta E.

$$h_{fE-D} = 4,003 \text{ m. c. a}$$

Existe una pérdida de carga por una válvula de globo, es la misma que en la tabla 4-5.

$$h_{LE-D} = 0,137 \text{ m. c. a}$$

Por lo tanto, la energía total perdida en el sistema se representa como la suma de la pérdida por fricción y la pérdida debida a los accesorios:

$$h_{LTE-D} = h_{fE-D} + h_{LE-D} = 4,003 + 0,137 = 4,14 \text{ m. c. a}$$

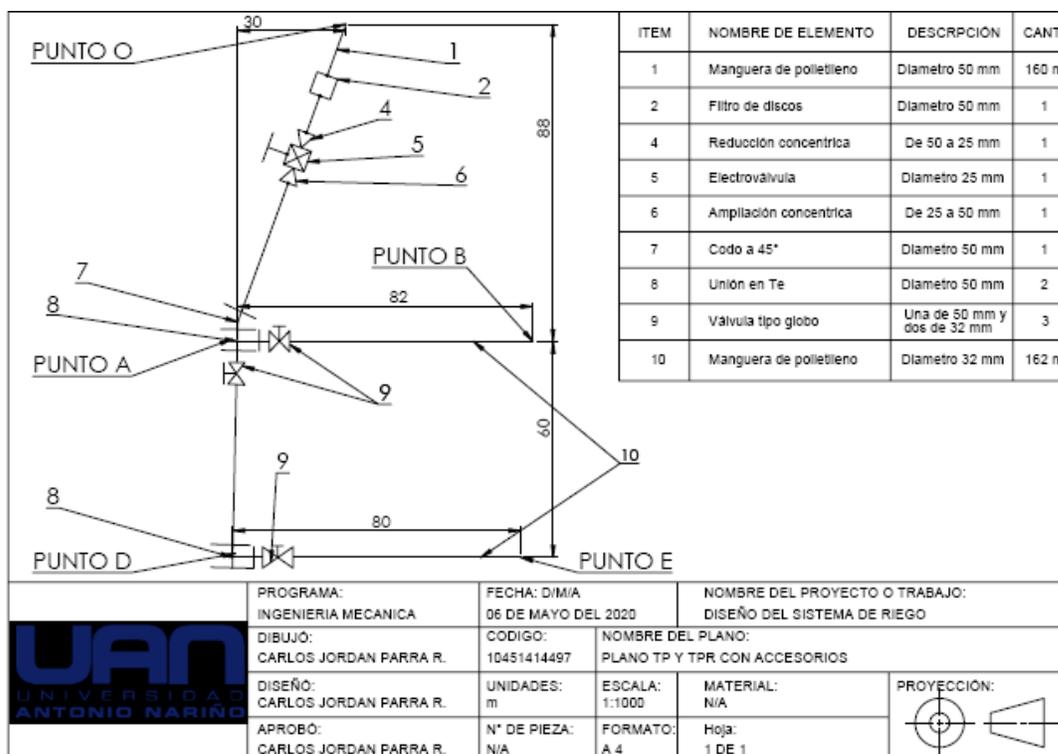
Haciendo uso de la ecuación (4.7), se tiene que:

$$\frac{P_D}{\gamma} = 8,52 + 0,5 * (3,86 - 7,865) + 0,75 * (4,14 + 0,332) = 9,87 \text{ m. c. a}$$

#### 4.2.4 Dimensionamiento de la tubería principal (TP)

La tubería principal es la encargada de transportar el agua desde el tanque elevado de almacenamiento de agua, hasta las TPR, de la cual salen dos ramales, uno para la sección superior y el otro para la sección inferior, en el plano 4-1 se muestra la distribución de accesorios en dichas tuberías y la longitud del tramo. El riego se desea realizar por secciones, con esto se logra una cantidad de volumen necesario almacenada menor, de esta forma existe un cambio significativo en el valor económico de implementación del sistema, en cuanto al costo del tanque.

**Esquema 4-1:** Plano TP y TPR con accesorios.



Nombre de la fuente: Propia.

- **Tramo O – A riego en sección superior**

En la TPR sección superior se requiere mayor  $Q$ , el cual es de **4018,0 l/h**, como el riego se realiza en las dos secciones por separado, este valor es el caudal de diseño para la TP, la velocidad de diseño es la misma que para TPR y TPG de **0,6 m/s**; se realiza el diseño en polietileno, ya que este material aporta buenas propiedades en cuanto a la oxidación y la

exposición al ambiente, la línea tiene una longitud total aproximada de **160 m** y comprende el tramo desde el punto O hasta el punto D. Como el riego es seccionado, se analiza la conexión hasta la sección superior y luego la conexión hasta la sección inferior, las dos secciones comparten un tramo desde el punto O hasta el punto A, por lo que la pérdida de energía por fricción en el tramo es la misma para los dos sectores. El tramo inicia en un orificio (punto G) ubicado en el fondo del tanque de almacenamiento, luego se transporta el fluido hasta una tubería que está sobre el suelo y se dirige desde el punto O hacia el punto A, donde se conecta a un codo de 45° y después a una T, la cual tiene dos derivaciones una para TPR sección superior, y la otra para TPR sección inferior. Empleando la ecuación (3.10), se tiene que:

$$Z_O + \frac{v_O^2}{2g} + \frac{P_O}{\gamma} + h_A - h_{fC-O} - h_R = Z_A + \frac{v_A^2}{2g} + \frac{P_A}{\gamma}$$

Donde  $h_A$ : Energía total adicionada ( $m. c. a$ ) = **0**;  $h_R$ : Energía total retirada ( $m. c. a$ ) = **0**;  $h_{fC-O}$ : Energía total perdida ( $m. c. a$ ) = **4,382** +  $h_{fA-O}$ ;  $Z_O$ : Cota de altura en el punto O ( $m$ ) = **16,178**;  $Z_A$ : Cota de altura en el punto A ( $m$ ) = **11,640**;  $\frac{v_O^2}{2g} = \frac{v_A^2}{2g}$ : Velocidad constante. Reemplazando:

$$\frac{\Delta P_{A-O}}{\gamma} = Z_A - Z_O + h_{LT C-O} = \mathbf{2,13 m. c. a}$$

$$\mathbf{2,13} = \mathbf{11,640} - \mathbf{16,178 m} + \mathbf{4,382} + h_{fA-O}$$

$$h_{fA-O} = \mathbf{2,286 m. c. a}$$

Es la pérdida admisible por fricción en el tramo O – A, con este valor se procede a encontrar el diámetro que cumpla con las condiciones requeridas de diseño, para ello en la ecuación (4.6) se despeja la velocidad  $v$  y se reemplaza en la ecuación (3.13), se obtiene la ecuación (4.8):

$$D^5 = f * \frac{8 * L * Q^2}{h_{fA-O} * g * \pi^2} \quad (4.8)$$

Donde  $Q$ : Es el caudal de la línea ( $m^3/s$ ) = **0,00111611**;  $L$ : Es la longitud de la línea ( $m$ ) = **100**;  $h_{fA-O}$ : Carga máxima admisible en el sistema ( $m. c. a$ ) = **2,286**;  $g$ : Es la gravedad

$(m/s^2) = 9,8$ . Ahora se encuentra una ecuación para  $N_R$ , se despeja la velocidad de la ecuación (3.11) y se reemplaza en (4.6), se encuentra la ecuación (4.9):

$$N_R = \frac{4*Q}{\pi*D*\zeta} \quad (4.9)$$

Donde  $\zeta$ : Viscosidad cinética del agua a temperatura ambiente  $(m^2/s) = 0,000001003$ .

Para encontrar el diámetro se debe conocer el coeficiente  $f$  (los demás valores de la ecuación (4.8) son constantes y se conocen), este se halla con el diagrama de Moody, para ello es necesario conocer el valor de  $N_R$ , el cual depende del diámetro; debido a esto es necesario resolver la situación de manera iterativa, el procedimiento es el siguiente: lo primero es suponer un valor para  $f$ , en seguida se encuentra el diámetro haciendo uso de la ecuación (4.8), con el diámetro y la expresión (4.9) se encuentra un valor para  $N_R$ , por último se halla la rugosidad relativa y con  $N_R$ , se encuentra un valor para  $f$  mejorado en el diagrama de Moody; el procedimiento se repite hasta que  $f$  mejorado sea igual al  $f$  supuesto. Para el caso en estudio se encontró que:  $f = 0,0235$  y  $D = 40,09 \text{ mm} \approx 40,1 \text{ mm}$ . Comercialmente el diámetro por encima más aproximado es de  $50,8 \text{ mm}$ , con este valor y la ecuación (3.13) se encuentra la pérdida de carga por fricción en el tramo O–A de:

$$h_{fA-o} = (0,02) * \left(\frac{100}{0,0508}\right) * \left(\frac{0,6^2}{2 * 9,8}\right) = 0,83 \text{ m. c. a}$$

Los accesorios que debe atravesar el agua en su recorrido por la tubería en el tramo O - A son un filtro, una electroválvula y un codo de 45° estándar. Para el proyecto se escoge una electroválvula metálica, ya que es de gran durabilidad, modelo 2W-250-25 mostrada en la figura 4-4, membrana de presión para larga duración, solenoide encapsulado con consumo eficiente, trabaja con **110 voltios** a corriente alterna y tiene un coeficiente de caudal  $C_v = 7,6 \text{ gpm}$ , empleando la ecuación (3.16) se tiene que  $k_v = 6,6 \text{ m}^3/h$  y sabiendo que  $Q$  en la sección superior está sobre valorado, se escoge  $Q = 3,9524 \text{ m}^3/h$  de la sección inferior con el fin de evitar un sobredimensionamiento, en cuanto a la altura de la estructura de soporte, lo que elevaría los costos de la misma, se encuentra la pérdida de presión mostrada en la tabla 4-8, utilizando la ecuación (3.17).

**Figura 4-4:** Electroválvula y características principales.

Modelo	2w-250-25
Voltaje	110 V AC
Diametro	1 in
Tipo	Normalmente cerrada
Rango de temperatura	-5 °C a 80 °C
Presión de trabajo	0.49 bar

Nombre de la fuente: Propia.

**Tabla 4-8:** Pérdidas de carga en electroválvula modelo 2W-250-25 (bar), según el  $Q$ .

	Valor
$C_v$ (gpm)	7,6
$k_v$ ( $m^3/h$ )	6,60
$Q$ ( $m^3/h$ )	3,9525
$h_{Lv}$ (bar)	0,359

Nombre de la fuente: Propia.

Por lo que  $h_{Lv} = 3,6 \text{ m. c. a.}$  El filtro seleccionado para esta parte del proyecto es de discos de color rojo, retiene partículas de **100 Micras**, utilizado para sistemas donde se necesite filtración fina y sistemas de riego por goteo; la otra opción era el filtro de malla; los otros dos tipos de filtros (hidrociclón y filtro de arena) no se tienen en cuenta, ya que se usan para otro tipo de aplicaciones y las pérdidas de carga son elevadas, debido a que el riego se realiza usando la gravedad no es conveniente utilizarlos. El filtro de disco en comparación con el filtro de malla presenta grandes ventajas, en cuanto a la limpieza de los discos, ya que es más sencilla y rápida que la de la malla; la durabilidad de los discos es mucho mayor que la durabilidad de las mallas, a pesar de que son más costosos; la instalación de los dos filtros y la pérdida de presión es similar. El coeficiente de resistencia  $K$  para el filtro de disco es el mismo que para el filtro de malla, se toma como  $K = 3$ , de la tabla 20 (Ingemecanica, s.f); en la tabla 4-9 se presentan las perdidas de carga de los accesorios exceptuando la electroválvula, pero teniendo en cuenta que el diametro de la electroválvula es de **25,4 mm** y que es necesario reducir el diametro lo que genera una pérdida de energía en el fluido (encontrada con la velocidad de diseño por medio de la ecuación (3.14), tomando  $K = 1,0$  se extrae de la figura 3-7).

**Tabla 4-9:** Pérdidas de carga en accesorios tramo O - A.

Accesorio	$L_e/D$	$f_T$	$K$	$h_L$
Reducción concéntrica	-	-	1,0	0,01837
Ampliación concéntrica	-	-	1,0	0,01837
Filtro	-	-	3	0,0551
Codo estándar a 90°	30	0,019	0,57	0,00105
Unión en T Flujo en ramal	60	0,019	1,14	0,02094
Total $h_{LA-O}$				0,114

Nombre de la fuente: Propia.

Por lo tanto, la pérdida total en los accesorios ( $h_{LA-O}$ ) del tramo O - A, será la suma de la pérdida en la electroválvula y la pérdida de los demás aditamentos:  $h_{LA-O} = 3,714 \text{ m. c. a.}$  La pérdida total de carga en el tramo es:  $h_{LTA-O} = 3,714 + 0,830 = 4,544 \text{ m. c. a.}$  Ahora con la ecuación (3.10) se procede a encontrar la cabeza de presión en el punto O para este caso:

$$Z_O + \frac{v_O^2}{2g} + \frac{P_O}{\gamma} + h_A - h_{LTC-O} - h_R = Z_A + \frac{v_A^2}{2g} + \frac{P_A}{\gamma}$$

$$\frac{P_O}{\gamma} = Z_A - Z_O + \frac{P_A}{\gamma} + h_{LTC-O} = Z_A - Z_O + \frac{P_A}{\gamma} + h_{LTC-A} + h_{LTA-O}$$

Reemplazando se encuentra la cabeza de presión en el punto O para esta sección.

$$\frac{P_O}{\gamma} = 11,640 - 16,178 + 9,51 + 4,382 + 4,544 = 13,898 \text{ m. c. a}$$

▪ **Tramo O – D riego en sección inferior**

Utilizando la ecuación (3.10), se tiene que:

$$Z_O + \frac{v_O^2}{2g} + \frac{P_O}{\gamma} + h_A - h_{FF-O} - h_R = Z_D + \frac{v_D^2}{2g} + \frac{P_D}{\gamma}$$

Donde  $h_A$ : Energía total adicionada ( $\text{m. c. a.}$ ) = 0;  $h_R$ : Energía total retirada ( $\text{m. c. a.}$ ) = 0;  $h_{FC-O}$ : Energía total perdida ( $\text{m. c. a.}$ ) = 4,14 +  $h_{FA-O}$ ;  $Z_O$ : Cota de altura en el punto O ( $\text{m}$ ) = 16,178;  $Z_D$ : Cota de altura en el punto D ( $\text{m}$ ) = 7,865;  $\frac{v_O^2}{2g} = \frac{v_D^2}{2g}$ : Velocidad constante. Reemplazando:

$$\frac{\Delta P_{A-O}}{\gamma} = Z_A - Z_O + h_{LTC-O} = 2,13 \text{ m. c. a}$$

$$2,13 = 7,865 - 16,178 + 4,14 + h_{fA-O}$$

$$h_{fA-O} = 6,303 \text{ m. c. a}$$

Empleando la expresión (4.8).

$$D^5 = f * \frac{8 * L * Q^2}{h_{fA-O} * g * \pi^2}$$

Donde  $Q$ : Es el caudal de la línea ( $m^3/s$ ) = 0,00109791;  $L$ : Es la longitud de la línea ( $m$ ) = 160;  $h_{fA-O}$ : Perdida de carga máxima admisible en el sistema ( $m. c. a$ ) = 6,303;  $g$ : Es la gravedad ( $m/s^2$ ) = 9,8.

El procedimiento es el mismo que en la sección superior: lo primero es suponer un valor para  $f$ , en seguida se encuentra el diámetro haciendo uso de la ecuación (4.8), con el diámetro y la expresión (4.9) se encuentra un valor para  $N_R$ , por último se halla la rugosidad relativa y con  $N_R$ , se encuentra un valor para  $f$  mejorado en el diagrama de Moody; el procedimiento se repite hasta que  $f$  mejorado sea igual al  $f$  supuesto. Para este caso se obtiene:  $f = 0,022$  y  $D = 35,73 \text{ mm} \approx 36 \text{ mm}$ . Comercialmente el diámetro por encima más aproximado es de  $38,1 \text{ mm}$ , sin embargo para cumplir a cabalidad las necesidades del tramo O – A, se opta por elegir el mismo diámetro seleccionado en dicho tramo de  $50,8 \text{ mm}$ ; con la ecuación (3.13) se encuentra la pérdida de carga por fricción en el tramo O – D de:  $h_{fD-O} = (0,022) * \left(\frac{160}{0,0508}\right) * \left(\frac{0,6^2}{2 * 9,8}\right) = 1,27 \text{ m. c. a}$ . Esta la línea posee una mayor cantidad de accesorios, las pérdidas de carga por estos se muestran en la tabla 4-10, los aditamentos que influyen en esta sección son un filtro, una electroválvula, un codo de 45° estándar, una válvula tipo globo y dos uniones en T. La pérdida total en la línea será:

$$h_{TLD-O} = h_{LD-O} + h_{fD-O} = 5,3 \text{ m. c. a}$$

Usando la ecuación (3.10), se tiene que:

$$Z_O + \frac{v_O^2}{2g} + \frac{P_O}{\gamma} + h_A - h_{LTF-O} - h_R = Z_D + \frac{v_D^2}{2g} + \frac{P_D}{\gamma}$$

Donde  $h_A$ : Energía total adicionada ( $m. c. a$ ) = 0;  $h_R$ : Energía total retirada ( $m. c. a$ ) = 0;  $h_{LTF-O}$ : Energía total perdida ( $m. c. a$ ) = 4,14 +  $h_{LD-O}$  +  $h_{fD-O}$ ;  $Z_O$ : Cota de altura en el punto O ( $m$ ) = 16,178;  $Z_D$ : Cota de altura en el punto D ( $m$ ) = 7,865;  $\frac{v_O^2}{2g} = \frac{v_D^2}{2g}$ : Velocidad constante.

$$\frac{P_O}{\gamma} = Z_D - Z_O + \frac{P_D}{\gamma} + h_{LTF-O} = Z_D - Z_O + \frac{P_D}{\gamma} + h_{LTF-D} + h_{LD-O}$$

$$\frac{P_O}{\gamma} = 7,865 - 16,178 + 9,87 + 4,14 + 5,3 = 10,997 m. c. a$$

La cabeza de presión en el punto O sección superior (13,8  $m. c. a$ ) es mayor que en la sección inferior, debido a esto, dicho valor es el que se debe utilizar para encontrar la altura, a la cual se va a conectar la tubería (polietileno de baja densidad) de dos pulgadas, que estará unido con el punto O, como se ve en el plano hidráulico 1 del anexo H.

**Tabla 4-10:** Pérdidas de carga en accesorios tramo O - D.

Accesorio	$L_e/D$	$f_T$	$K$	$h_L$
Reducción concéntrica	-	-	1,0	0,01836
Ampliación concéntrica	-	-	1,0	0,01836
Filtro	-	-	3	0,0551
Electroválvula	-	-	-	3,6
Codo estándar a 45°	16	0,019	0,304	0,0056
Válvula de globo	340	0,019	6,46	0,1187
Unión en T Flujo directo	20	0,019	0,380	0,0070
Unión en T Flujo en el ramal	60	0,019	1,14	0,209
Total $h_{LD-O}$				4,03

Nombre de la fuente: Propia.

### 4.3 Diseño y selección del sistema de bombeo.

Esta sección comprende la selección de la bomba encargada de suministrar la presión necesario para que el fluido de transporte en este caso agua, sea capaz de llegar hasta el tanque de almacenamiento sin ningún inconveniente, también la selección y

dimensionamiento de los conductos y accesorios necesarios para poder cumplir con la necesidad requerida que es el transporte de agua desde el pozo de abastecimiento hasta el tanque de almacenamiento de agua. Para poder determinar los parámetros de esta sección es necesario conocer la altura a la cual deberá llegar el agua y para ello se debe encontrar la altura de la estructura de soporte del tanque elevado de la siguiente manera: En el plano hidráulico 1 del anexo H se muestra que la altura máxima supuesta del líquido en el tanque, es de **1,5 m**; ahora aplicando la ecuación (3.10) entre el punto S y el punto O (ecuación inicial para este caso), se tiene que:

$$Z_S + \frac{v_S^2}{2g} + \frac{P_S}{\gamma} + h_A - h_{LT\ O-S} - h_R = Z_O + \frac{v_O^2}{2g} + \frac{P_O}{\gamma}$$

Donde  $h_A$ : Energía total adicionada (**m. c. a**) = **0**;  $h_R$ : Energía total retirada (**m. c. a**) = **0**;  $h_{LT\ O-S}$ : Energía total perdida (**m. c. a**) =  $h_{L\ O-S} + h_{f\ O-S}$ ;  $Z_O$ : Cota de altura en el punto O (**m**) = 16,178;  $Z_S$ : Cota de altura en el punto S (**m**), es incógnita =  $Z_G + 1,5$ ;  $Z_G$ : Es la cota del punto G, y la altura a la cual debería quedar la base del tanque, es incógnita;  $\frac{v_O^2}{2g}$ : Energía cinética en el punto O es de  $\left(\frac{0,6^2}{2*9,8}\right)$  (**m. c. a**) = **0,01837**;  $\frac{v_S^2}{2g}$ : Energía cinética en el punto S (**m/s**) = **0**, ya que el área en S es mayor por mucho el área en O, se considera que la velocidad de S, respecto a la de O es nula;  $\frac{P_S}{\gamma}$ : La cabeza de presión en S es de  $\left(\frac{101325}{9800}\right)$  (**m. c. a**) = **10,34**;  $\frac{P_O}{\gamma}$ : La cabeza de presión en O (**m. c. a**) = **13,898**. Reemplazando los datos, se tiene:

$$Z_S + 10,34 - h_{L\ O-S} - h_{f\ O-S} = 16,178 + 0,01837 + 13,898$$

El paso siguiente es encontrar la pérdida de carga en los accesorios, la cual se muestra en la tabla 4-11. La pérdida por fricción se halla haciendo uso de la ecuación (3.13).

$$h_{f\ O-S} = f * \frac{L}{D} * \frac{v_O^2}{2 * g}$$

Donde  $f$ : Factor de fricción, se encuentra con el  $N_R$  y la rugosidad relativa de la tubería = **0,024**;  $D$ : Diametro de la tubería (**m**) = **0,0508**;  $L$ : Longitud de la tubería (**m**) = **0,3 + Z\_G**. Entonces:

$$h_{f_{O-S}} = 0,023 * \frac{0,3 + Z_G}{0,0508} * 0,01837 = 0,0024951 + 0,0083171 * Z_G$$

**Tabla 4-11:** Pérdidas de carga en accesorios tramo S - O.

Accesorio	Le/D	f <sub>T</sub>	K	h <sub>L</sub>
Codo estándar a 90°	30	0,019	0,57	0,0105
Codo estándar a 90°	30	0,019	0,57	0,0105
Total h <sub>L<sub>O-S</sub></sub>				0,021

Nombre de la fuente: Propia.

Conociendo la pérdida de carga por rozamiento y la pérdida de carga debida a los accesorios, se reemplaza en la ecuación inicial de esta parte, obteniendo:

$$1,5 + Z_G + 10,34 - 0,021 - 0,002495 - 0,008317 * Z_G = 16,178 + 0,01837 + 13,898$$

$$Z_G + 11,82 - 0,008317 * Z_G = 30,09$$

$$Z_G = 18,42 \text{ m}$$

Dicha altura es desde el punto de referencia de altura 0 m, ubicado en el punto F, pero el punto O está sobre el suelo del terreno, por lo que la altura (Z<sub>Gsuelo</sub>) desde el suelo es de:

$$Z_{Gsuelo} = 18,33 - 16,178 \approx 2,2 \text{ m}$$

Ahora la altura máxima del fluido desde el suelo (Z<sub>Ssuelo</sub>) será:

$$Z_{Ssuelo} = 2,2 + 1,5 = 3,7 \text{ m}$$

Por lo que, la altura mínima de la estructura de soporte corresponde a 2,2 m, para garantizar que el agua llegue a todas las plantas. El requerimiento hídrico del cultivo es de 3954,3 l/riego, se puede decir que en promedio el riego tanto en la sección superior como en la sección inferior es de 30 minutos, teniendo en cuenta que se aporta a las plantas aproximadamente 2000 l por riego en cada sección. Se emplea la ecuación (3.10) entre el punto R (nivel del agua pozo de abastecimiento) y el punto P<sub>e</sub> (entrada de la bomba) mostrados en el plano sistema de bombeo del anexo H.

$$Z_R + \frac{v_R^2}{2g} + \frac{P_R}{\gamma} + h_A - h_{LT} - h_R = Z_{P_e} + \frac{v_{P_e}^2}{2g} + \frac{P_{P_e}}{\gamma}$$

Donde:  $\frac{v_R^2}{2g} = \frac{v_{Pe}^2}{2g}$ ;  $h_A = 0 \text{ m. c. a.}$ ;  $h_R = 0 \text{ m. c. a.}$ ;  $Z_R = 0 \text{ m.}$ ;  $Z_{Pe} = 2 \text{ m.}$ ;  $\frac{P_R}{\gamma} = 10,2 \text{ m. c. a.}$

por lo que la cabeza de presión en la entrada de la bomba es de:

$$\frac{P_{Pe}}{\gamma} = Z_R - Z_{Pe} + \frac{P_R}{\gamma} - h_{LT} = 8,2 - h_{LT}$$

El diámetro  $D_a$  correspondiente a la tubería de aspiración se encuentra sabiendo que  $Q = 0,0005 \text{ m}^3/\text{s}$  es aproximadamente la mitad del caudal de la tubería de riego, “las velocidades alcanzadas por el agua en el interior de las tuberías sean como máximo en la tubería de aspiración: 1,8 m/s y en la tubería de impulsión: 2,5 m/s” (ingemecanica, s.f), por lo que al usar la ecuación (4.6) se deben hacer varias iteraciones hasta encontrar un  $D_a$  para una  $v$  adecuada, obteniendo los siguientes resultados:

$$D_a = 25,4 \text{ mm} \approx 1 \text{ in} \qquad v = 0,98 \text{ m/s}$$

Siendo  $h_{LT} = h_L + h_f$ ,  $h_L$  depende del tipo y cantidad de accesorios a emplear, la tubería es diseñada en manguera de polietileno, se desea usar manguera de polietileno por economía y duración, la entrada de la manguera de succión en la bomba debe ser de 25,4mm (1 in), el fluido debe atravesar un filtro de discos de color rojo antes de ingresar a la bomba, así que  $h_L = 0,147 \text{ m. c. a.}$ ;  $h_f = 0,089 \text{ m. c. a.}$  se encuentra mediante la ecuación de Darcy, con  $Q$ ,  $v$  en la entrada de la bomba, el diagrama de Moody para obtener  $f$ , y una  $L$  de 2 m. Entonces:

$$\frac{P_{Pe}}{\gamma} = 8,2 - h_f = 8,2 - 0,236 = 7,964 \text{ m. c. a.}$$

Empleando la ecuación (3.14) de igual forma que para el tramo  $R-P_e$ , por medio de varias iteraciones se obtiene un diámetro en la expulsión en la bomba  $D_e$  y una velocidad  $v$ , de:

$$D_e = 0,0254 \text{ m} \approx 1 \text{ in} \qquad v = 0,98 \text{ m/s}$$

Ahora se emplea la ecuación (3.10) en el tramo de salida de la bomba desde el punto  $P_s$  (salida de la bomba) hasta el punto S (nivel máximo del líquido en el tanque) y sabiendo que  $Z_s = 18,018 \text{ m.}$ ,  $Z_{Ps} = 2 \text{ m.}$ ,  $\frac{P_s}{\gamma} = 10,2 \text{ m. c. a.}$

$$\frac{P_{Ps}}{\gamma} = Z_s - Z_{Ps} + \frac{P_s}{\gamma} - h_{LT} = 26,218 - h_{LT}$$

Para la sección desde el punto  $P_s$  en la salida de la bomba se debe colocar una válvula tipo globo y cerca a la salida del fluido en la entrada del tanque irá instalada otra válvula del mismo tipo, por lo que  $h_L = 0,7664 \text{ m. c. a}$ ;  $h_f$  se encuentra con la ecuación de Darcy, con una velocidad de 1,1 m/s y una  $L = 108 \text{ m}$ , se tiene que  $h_f = 4,748 \text{ m. c. a}$  entonces:

$$\frac{P_{Ps}}{\gamma} = 26,218 - 5,5144 = 20,7036 \text{ m}$$

Ahora con la ecuación (3.10) se tiene que la altura manométrica de la bomba  $h_A$  de:

$$h_A = \Delta Z_{R-S} + h_{LT} = 18,018 + 5,5144 + 0,236$$

$$h_A = 23,7684 \text{ m} \approx 23,8 \text{ m}$$

La curva del sistema se define como:

$$h_A = \Delta Z_{R-S} + C_1 * Q^2 = 23,8 \text{ m}$$

Entonces:

$$C_1 = \frac{5,7504}{(0,0005)^2} = 23001600 \frac{s^2}{m^4}$$

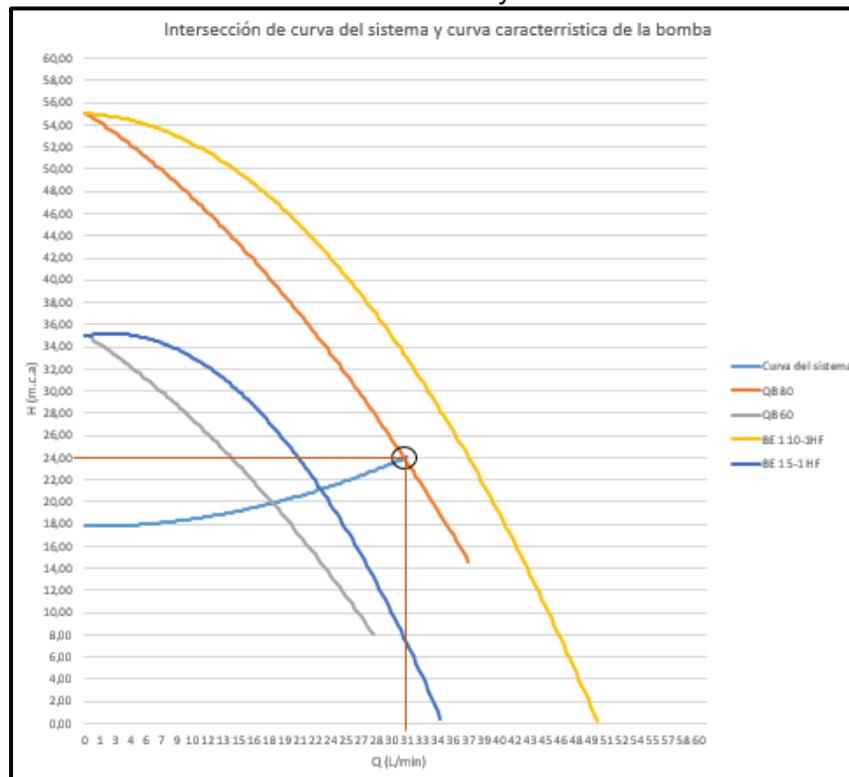
De esta forma se encuentra la ecuación (4.10), la cual representa la curva característica del sistema.

$$h_A = 17,782 + 23001600 * Q^2 \tag{4.10}$$

Los criterios de selección de la bomba son: el costo de adquisición de la misma, la altura manométrica a la cual se debe transportar el fluido, el caudal que debe recibir el tanque de almacenamiento y el tipo de bomba; el sistema de bombeo se desea accionar mediante automatismo, por lo que se elige una bomba que trabaje con electricidad, en este texto se analizan dos tipos de bombas periféricas (centrifugas modelos BE 1 5-1 HF y BE 1 10-1HF y regenerativas modelos QB 60 y QB 80), ya que son económicas; la bomba seleccionada deberá alcanzar una altura manométrica  $h_A \approx 23,8 \text{ m. c. a}$  a un caudal mínimo  $Q = 0,0005 \text{ m}^3/\text{s}$ . En el diagrama 4-1 se representa la curva del sistema y las curvas de las bombas consideradas, el dueño de la finca hizo la petición de poder utilizar una bomba eléctrica que él tiene sin uso, la cual es un modelo QB 80. La bomba QB 80 es óptima para el servicio necesitado, ya que como se evidencia en el diagrama, el punto de intersección de la curva del sistema con la curva característica de la bomba QB 80, es el punto de

operación de la bomba para este sistema, alcanzando una altura manométrica  $h_A \approx 24 \text{ m. c. a}$  con un caudal  $Q = 0,000516667 \text{ m}^3/\text{s}$ , cumpliendo con los requerimientos; sin embargo en el automatismo se debe tener en cuenta que el caudal de salida en el tanque de almacenamiento es aproximadamente el doble del caudal que suministra la bomba, según la altura manométrica que esta debe vencer, debido a esto es necesario dejar un tiempo de 60 min llenando el tanque entre el riego de la sección superior y el riego de la sección inferior para garantizar que el tanque este con agua durante todo un riego.

**Diagrama 4-1:** Intersección curva del sistema y curva de bomba modelo QB 80.



Nombre de la fuente: Propia.

**Tabla 4-12:** Fracción de la tabla B-1 para creación de la curva del sistema.

$Q (m^3/s)$	$Q (l/min)$	$H (m. c. a)$	
0,000377	23	21,05	
0,000382	23	21,13	
0,000387	23	21,22	
0,000392	23	21,31	
0,000397	24	21,40	
0,000402	24	21,49	
0,000407	24	21,59	
0,000412	25	21,68	
0,000417	25	21,78	
0,000422	25	21,87	
0,000427	26	21,97	
0,000432	26	22,07	
0,000437	26	22,17	
0,000442	26	22,27	
0,000447	27	22,37	
0,000452	27	22,47	
0,000457	27	22,58	
0,000462	28	22,68	
0,000467	28	22,79	
0,000472	28	22,90	
0,000477	29	23,01	
0,000482	29	23,12	
0,000487	29	23,23	
0,000492	29	23,34	
0,000497	30	23,46	
0,000502	30	23,57	
0,000507	30	23,69	
0,000512	31	23,80	Parámetros de selección
0,000517	31	23,92	
0,000522	31	24,04	Punto de operación

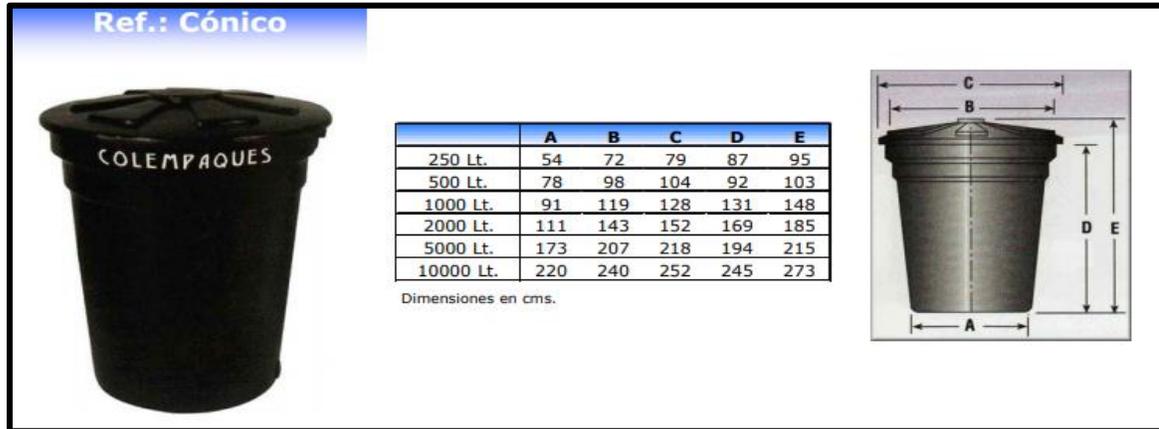
Nombre de la fuente: Propia.

## 4.4 Selección de tanque de almacenamiento

Para esta sección es necesario conocer la cantidad de líquido que se desea almacenar (requerimiento hídrico del cultivo que es de **3954,3 l/riego**) y la aplicación, en este caso es el almacenamiento de agua, por lo que se escoge el tanque de plástico, ya que adquirirlo es económico y tiene buenas características para el funcionamiento, en cuanto a la corrosión y la durabilidad expuesto al ambiente; comercialmente existen de diferentes tamaños. Una parte del automatismo del sistema consiste en accionar la bomba comprendida entre el pozo de alimentación y el tanque de almacenamiento por medio de flotadores de nivel, los cuales van a encender la bomba cuando el nivel de agua del tanque este en un nivel determinado retirado del agujero de evacuación del fluido hacia el cultivo, con el fin de garantizar un abastecimiento de agua para el cultivo cada vez que se realice el riego; debido a lo anterior es posible usar un tanque con un volumen menor al requerimiento hídrico, lo que llevaría a un accionamiento de la bomba mayor cantidad de veces, sin embargo como es eléctrica el costo de encendido es mucho menor al costo de

un tanque de almacenamiento de agua de **4000 l** o **5000 l** (en el mercado el valor de estos tanques está entre \$1200000 y \$1600000 pesos), por lo que tiene mayor rentabilidad un tanque de **2000 l** garantizando un nivel de agua que siempre estará entre dos puntos del tanque. El tanque seleccionado es de tipo cónico de **2000 l**, las dimensiones se muestran en la figura 4-5.

**Figura 4-5:** Tanque cónico de diferentes tamaños.



Nombre de la fuente: Coval (s.f).

## 4.5 Diseño de estructura de soporte para tanque de almacenamiento

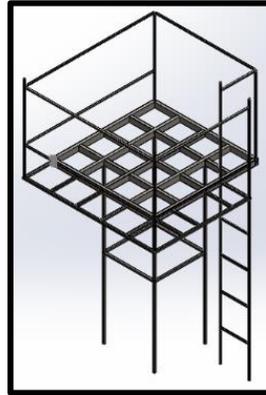
La altura mínima de la estructura debe ser **2,2 m**, con dicho valor se garantiza un abastecimiento de agua para todas las plantas del cultivo, el volumen de agua que debe soportar la estructura es de **2000 l** (capacidad máxima del tanque), ahora la densidad ( $1000 \text{ Kg}/\text{m}^3$ ) es igual a la masa ( $m_a$ ) dividida entre el volumen ( $V$ ), despejando dicha ecuación y reemplazando el valor del volumen, se tiene que:  $m_a = 2000 \text{ Kg}$ . Sabiendo que el peso  $W$ , medido en newton ( $N$ ) es la masa  $m_a$ , multiplicada por la gravedad, entonces:  $W = 2000 \text{ Kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 19600 \text{ N}$ . El diseño de estructuras para tanque elevados debe comprender aspectos como carga muerta, carga viva y carga sísmica, para que la estructura resista las cargas a las cuales estará sometida; las cargas por viento se desprecian, debido a que la estructura no es demasiado alta.

#### 4.5.1 Metodología de diseño y modelo geométrico inicial

El diseño mecánico, consiste en crear un modelo geométrico de un componente mecánico capaz de suplir una necesidad ya sea de transmisión de potencia, soportes de cargas, mecanismos en empresas de producción en línea, sistemas de transferencia de calor, diseño hidráulico, entre otros campos. En la actualidad se suelen usar software denominados CAD (diseño asistido por computadora) en sus siglas en inglés, en el proyecto actual se desea usar el software solidworks para encontrar un modelo capaz de soportar el tanque de almacenamiento. En esta sección se mostrara una propuesta del modelo geométrico para la estructura de soporte del tanque de almacenamiento de agua, la cual debe ser capaz de soportar las cargas descritas en la sección 3.11.2 (exceptuando las cargas por viento), para que el diseño pueda cumplir a cabalidad con los requerimientos se emplea el software solidworks en el modelamiento geométrico inicial. El diseño de la estructura inicia, definiendo el material que se va a utilizar para la misma, el sistema estructural a emplear y la información recolectada hasta el momento, altura mínima de diseño **2,2 m**, dimensiones del tanque con capacidad de **2000 l**, cargas muertas y vivas en el sistema estructural; de acuerdo con los requerimiento del proyecto, la estructura es diseñada en acero, debido a que dicho material posee ciertas ventajas frente a materiales como la madera o el concreto, el límite elástico del acero A36 es de **250 megapascals (MPa)**, dicho material se emplea con frecuencia en aplicaciones estructurales para vigas en puentes usados para la movilidad y el paso peatonal, puentes grúa, tanques de almacenamiento de crudo, entre muchas otras aplicaciones estructurales y es el empleado para el diseño del modelo geométrico inicial de la estructura de soporte del tanque de almacenamiento, el sistema estructural tiene cinco columnas y las cuatro vigas a media altura son diseñadas en perfil tubular cuadrado hueco de **25 \* 25 \* 1,2 mm**, este también se usa para la baranda perimetral y la escalera tipo gato; el resto de vigas se diseñan en perfil tubular rectangular hueco de **76 \* 38 \* 1,1 mm** (rejilla de soporte) en la cual va apoyado el tanque; se elige el perfil cuadrado y rectangular, ya que este tipo de perfil estructural es económico y resistente respecto a perfiles como vigas IP, tubulares circulares huecos y perfiles en ángulo; el modelo presentado en la figura 4-6 es uno supuesto, ya que deberá modificarse si no cumple las condiciones de diseño. El diseño se realiza utilizando solidworks para llegar a un modelo geométrico aproximado al real y se

debe tener en cuenta que si el modelo inicial cumple con las condiciones de diseño, se parte de este punto para encontrar formas reales en apoyos, uniones y vigas.

**Figura 4-6:** Modelo geométrico inicial.



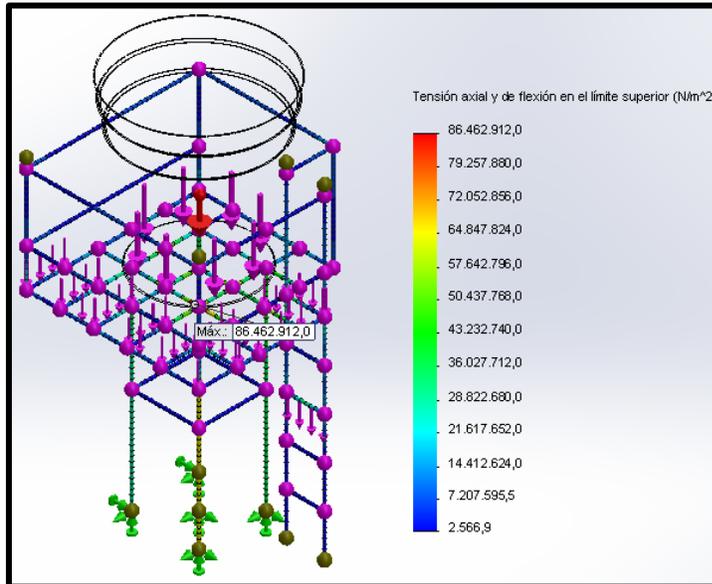
Nombre de la fuente: Solidworks (2020).

#### 4.5.2 Resultados en el modelo geométrico inicial para cargas muertas, vivas y sísmicas

##### ▪ Simulación estática

Estableciendo la geometría del modelo inicial, se procede a realizar una simulación estática haciendo uso de la herramienta simulation de solidworks, los resultados de las tensiones axiales máximas se muestran en la figura 4-7, al abrir el estudio de simulación estática es necesario ingresar el material de cada componente (acero ASTM A36 para todos los componentes de la estructura y polietileno de baja densidad para el tanque de almacenamiento de agua), después aplicar las cargas (las cargas muertas no se calculan, ya que el programa tiene en cuenta estos datos al agregar la gravedad a la simulación; las cargas vivas son  $W = 19600 \text{ N}$  y en el mismo punto se adiciona el peso de una persona, por lo que  $W = 20335 \text{ N}$  más la fuerza del peso de dos personas de  $84 \text{ Kg} * 2 * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1646,4 \text{ N}$  (esta fuerza es ubicada en la zona peatonal y la mitad de dicha fuerza ( $823,2 \text{ N}$ ) es colocada en un peldaño de la escalera), lo que correspondería a una carga viva total de  $22069,9 \text{ N}$  distribuida en diferentes zonas de la estructura, las sujeciones o apoyos son de geometría fija en los cinco puntos de apoyo del sistema; por ultimo las conexiones entre el tanque y la estructura son de unión rígida.

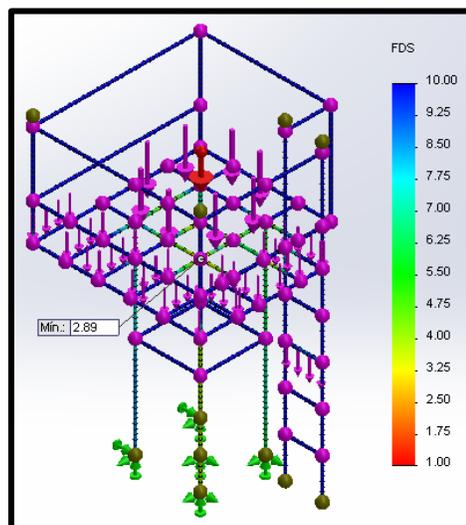
**Figura 4-7:** Tensiones de Von Mises simulación estática.



Nombre de la fuente: Solidworks (2020).

Es posible decir que el modelo es apto para las condiciones a las cuales fue expuesto, ya que la carga máxima axial de la estructura es de **86,5 MPa** y el límite de fluencia del acero ASTM A36 es de **250 MPa**, por lo que se tiene un factor de seguridad mínimo de **2,89** mostrado en la figura 4-8.

**Figura 4-8:** Factor de seguridad simulación estática.

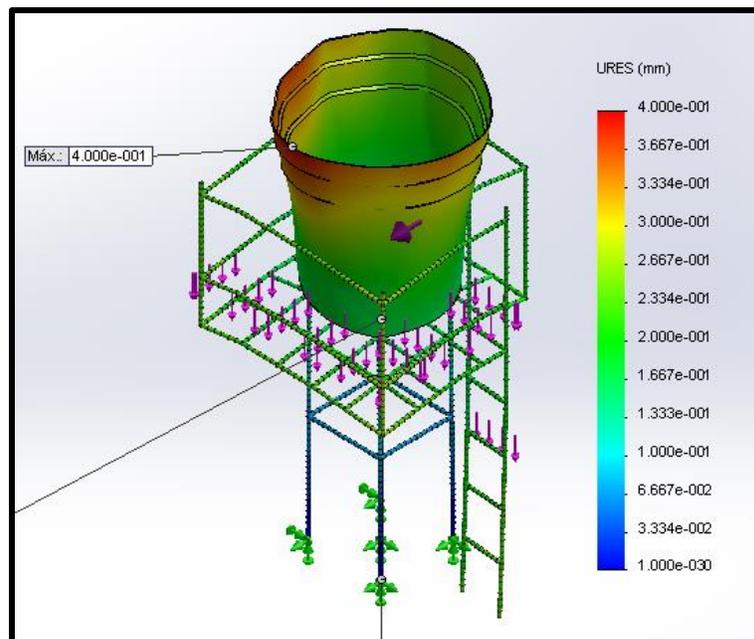


Nombre de la fuente: Solidworks (2020).

### ▪ Simulación sísmica

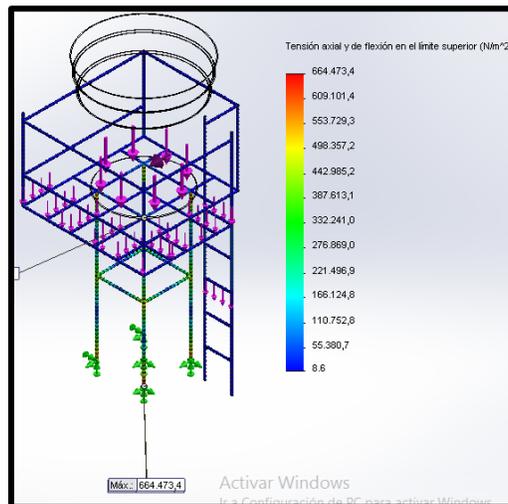
Esta sección del diseño se realiza siguiendo los lineamiento de la norma NSR 10 (Norma de sismo resistencia colombiana del 2010) para la estructura inicial, sin embargo solo se muestran los resultados obtenidos, utilizando el tipo de simulación dinámica lineal en solidworks para verificar que la estructura resiste a un comportamiento sísmico eventual del terreno. Para la representación de un fenómeno sísmico en solidworks, se debe conocer la curva del espectro elástico de aceleraciones como fracción de la gravedad (la representación gráfica de la curva y el procedimiento para llegar hasta ella se muestran a detalle en el anexo C), dicha curva es ingresada al software como una carga externa de excitación de base uniforme, se escoge aceleración y en curva se ingresan los datos de la gráfica modificada mostrada en el anexo C, los demás datos como otras cargas externas, sujeciones y conexiones se aplican del mismo modo que en la simulación estática; en la figura 4-9 se muestran los resultados en cuanto a los desplazamiento de cada punto desde su posición inicial. En la figura 4-10 se representa la tensión de Von Mises ejercida en cada componente de la estructura metálica debida a la simulación sísmica. Se puede decir que el modelo geométrico inicial cumple a cabalidad las condiciones de diseño a las cuales estará sometida la estructura.

**Figura 4-9:** Desplazamientos de simulación sísmica.



Nombre de la fuente: Solidworks (2020).

**Figura 4-10:** Tensiones de Von Mises en simulación sísmica.



Nombre de la fuente: Solidworks (2020).

### 4.5.3 Dimensionamiento de vigas, diseño de apoyos y conexiones

El modelo geométrico inicial es adecuado (para llegar a dicho modelo fue necesario realizar varias iteraciones con las sujeciones y cargas mostradas anteriormente) y las vigas usadas en dicho modelo son económicas, y son de dimensiones comerciales, sin embargo el tubo cuadrado horizontal en la baranda, generaría un costo excesivo, por lo que es necesario cambiarlo y se debe realizar un nuevo modelo con conexiones de soldaduras adecuadas, el diseño en los apoyos se realiza mediante una placa metálica soldada en la base de cada una de las cinco columnas y sujeta mediante pernos de anclaje a una cimentación de concreto.

#### ▪ Selección de elementos tipo viga y columnas.

Las vigas a emplear en el modelo final y las columnas son las mismas que el modelo inicial a excepción del tubo cuadrado horizontal en la baranda que se cambia por una platina de lado **50,8 mm** y espesor de **3,76 mm**, también son necesarias algunas modificaciones en la baranda perimetral, ya que en algunas zonas no es necesario el uso de la misma.

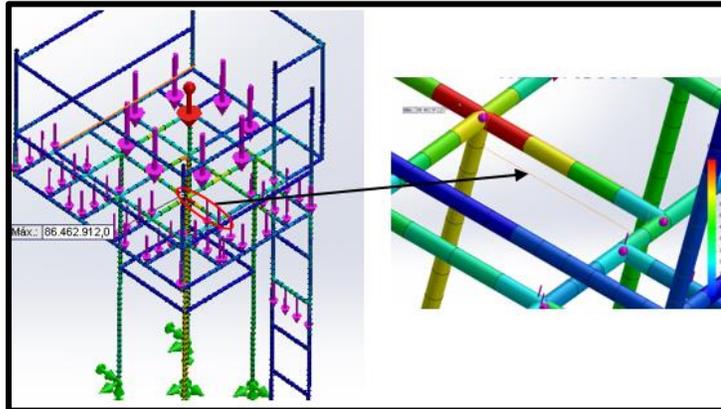
#### ▪ Diseño de cordón de soldadura

En esta sección se diseña un cordón de soldadura para el punto crítico del sistema, según el análisis estático y de resistencia de la estructura, luego se define ese cordón para las demás uniones del sistema, el diseño deberá ser capaz de soportar cualquier condición a la que pueda ser expuesto. La unión crítica es la mostrada en la figura 4-11, dicha unión está expuesta a esfuerzos debidos a la fuerza cortante  $V_c$  y al momento flector  $M$  (son esfuerzos cortantes y esfuerzos de flexión, respectivamente); se emplea el método para considerar la soldadura como una línea, en el cual las fuerza por pulgada de soldadura  $F$  debida a dichos esfuerzos ( $V_c$  y  $M$ ), se describen de la siguiente manera según Mott: Cortante vertical directo, ver ecuación (4.11) y por flexión ver ecuación (4.12).

$$F_1 = V_c / A_w \quad (4.11)$$

$$F_2 = M / S_w \quad (4.12)$$

**Figura 4-11:** Viga y punto crítico de elementos sometidos a flexión.



Nombre de la fuente: Solidworks (2020).

Donde  $A_w$  equivale al área de sección transversal del perfil de soldadura y  $S_w$  es el factor geométrico del cordón debido a la flexión, los cuales se extraen de la figura E-1 del anexo E, extraída del libro de diseño de elementos mecánicos de Mott, dependiendo de la ubicación del cordón de soldadura y del tipo de perfil (ver ecuaciones (4.13) y (4.14)), para la situación en estudio se emplea el caso 2:

$$A_w = 2 * d \quad (4.13)$$

$$S_w = \frac{d^2}{3} \quad (4.14)$$

Donde  $d$  equivale a la longitud del cordón de soldadura  $76 \text{ mm}$  ( $2,992 \text{ in}$ ) y  $b$  es el ancho de perfil  $38 \text{ mm}$  ( $1,496 \text{ in}$ ). Entonces:

$$A_w = 2 * d = 2 * 2,992 \text{ in} = 5,984 \text{ in}$$

$$S_w = \frac{d^2}{3} = \frac{(5,984)^2}{3} = 11,936 \text{ in}^2$$

La fuerza resultante  $V_R$  por cortante para este cordón será la ecuación (4.15) y la ecuación (4.16) muestra la fuerza resultante debida a la flexión  $M_R$ :

$$V_R = \sqrt{V_{cy}^2 + V_{cz}^2} \quad (4.15)$$

$$M_R = \sqrt{M_y^2 + M_z^2} \quad (4.16)$$

Ahora se encuentra la fuerza por pulgada de soldadura, haciendo uso de la ecuación (4.11) para la fuerza debida al cortante y de la ecuación (4.12) para la fuerza que causa flexión, los valores de  $V_c$  y  $M$  se toman del diagrama de viga para fuerza cortante y momentos flectores, respectivamente, obtenido de solidworks en la simulación estática, la unión de soldadura, está sometida a un cortante descompuesto en dos coordenadas una es  $Z$  y la otra  $Y$ ; también a un momento flector con dos componentes uno respecto a  $Z$  y otro respecto a  $Y$ , usando las ecuaciones (4.15) y (4.16) se tiene que:

$$V_R = \sqrt{V_{cy}^2 + V_{cz}^2} = \sqrt{(252,01)^2 + (2,49)^2} = 252,02 \text{ Lbf}$$

$$M_R = \sqrt{M_y^2 + M_z^2} = \sqrt{(3642,082)^2 + (26,55)^2} = 3642,2 \text{ Lbf} * \text{in}$$

Ahora con 4.11 y 4.12 se encuentran los siguientes resultados:

$$F_1 = \frac{252,02 \text{ Lbf}}{5,984 \text{ in}} = 42,12 \frac{\text{Lbf}}{\text{in}}$$

$$F_2 = \frac{3642,2 \text{ Lbf} * \text{in}}{11,936 \text{ in}^2} = 305,14 \frac{\text{Lbf}}{\text{in}}$$

La fuerza resultante  $F_R$  para este cordón será:

$$F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = \sqrt{(42,12)^2 + (305,14)^2} = 308,033 \frac{Lbf}{in}$$

Ahora según como lo describe Mott, la longitud del cateto  $w$  del cordón de soldadura es igual a la fuerza resultante por unidad de longitud dividida entre la resistencia última del electrodo a emplear, el cual es un E6010, tomado del catálogo mostrado en el anexo F de west arco; de la figura E-3 del anexo E extraída del libro de diseño de elemento mecánicos de Mott, se escoge el límite de fuerza admisible por pulgada de lado para soldaduras, dependiendo del material a unir y el tipo de electrodo a emplear, por lo que:

$$w = \frac{308,033 \frac{Lbf}{in}}{9600 \frac{Lbf}{in} * in \text{ de lado}} = 0,03212 in = 0,816 mm \approx 1 mm$$

Los demás elementos sometidos a cortante y a flexión están sometidos a dichos esfuerzos pero con valores bajos en comparación con el cordón de soldadura diseñado, por lo que dicho electrodo y cordón sirven para todas las uniones de este tipo. El cordón de soldadura perimetral que une a las columnas con su respectiva placa base es diseñado con el mismo procedimiento anterior, pero teniendo en cuenta que el cordón de soldadura es en todo el contorno de la columna, debido a esto se emplea el caso 7 de la figura E-2 del anexo E, extraída del libro de Mott y teniendo en cuenta que la columna está sometida a compresión que es la fuerza del componente en Y de la resultante de la reacción en el apoyo (la fuerza de compresión por pulgada de soldadura se calcula a partir de la ecuación (4.17)), cortante directo debido a las componentes en X y Z de la fuerza resultante (se encuentra con la ecuación (4.11)) y flexión (la fuerza de flexión se encuentra con la ecuación (4.12)), las ecuaciones para  $A_w$  y  $S_w$  son extraídas de la figura E-2 del anexo E (ver ecuaciones (4.18) y (4.19)).

$$F_3 = \frac{P}{A_w} \quad (4.17)$$

$$A_w = 2 * d + 2 * b \quad (4.18)$$

$$S_w = b * d + \frac{d^2}{3} \quad (4.19)$$

Sin embargo  $b = d$ , ya que el perfil estructural es cuadrado, por lo que:

$$A_w = 4 * d = 4 * 1 \text{ in} = 4 \text{ in}$$

$$S_w = d^2 + \frac{d^2}{3} = 1^2 + \frac{1^2}{3} = 1,33 \text{ in}^2$$

Las fuerzas axil, cortante y momentos extraídos de la simulación y su respectiva resultante:

$$P = 7300 \text{ N} = 1641,11 \text{ Lbf}$$

$$V_R = \sqrt{V_{cx}^2 + V_{cz}^2} = \sqrt{(-1,34)^2 + (1,07)^2} = 1,715 \text{ N} = 0,38555 \text{ Lbf}$$

$$M_R = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2} = \sqrt{(0,401)^2 + (-0,106)^2 + (1,5)^2} = 1,56 \text{ N * m}$$

$$M_R = 13,81 \text{ Lbf * in}$$

Por lo que las fuerzas por pulgada son:

$$F_3 = P/A_w = \frac{1641,11 \text{ Lbf}}{4 \text{ in}} = 410,3 \frac{\text{Lbf}}{\text{in}}$$

$$F_1 = V_R/A_w = \frac{0,38555 \text{ Lbf}}{4 \text{ in}} = 0,0964 \frac{\text{Lbf}}{\text{in}}$$

$$F_2 = M_R/S_w = \frac{13,81 \text{ Lbf * in}}{1,33 \text{ in}^2} = 10,383 \frac{\text{Lbf}}{\text{in}}$$

El electrodo es el mismo, entonces:

$$F_R = 410,13 \frac{\text{Lbf}}{\text{in}} \quad w = 0,04272 \text{ in} \approx 1,085 \text{ mm} \approx 1,1 \text{ mm}$$

El electrodo seleccionado es un E 6010 según la clasificación AWS, el nombre de west arco es XL 610 y tiene un diámetro  $2,4 \text{ mm}$  ( $3/32 \text{ in}$ ), dicho electrodo es utilizado usualmente para este tipo de aplicaciones.

#### ▪ Diseño de apoyos de la estructura

Los apoyos están constituidos por láminas cuadradas, soldadas a la base de cada columna y las cuales están sujetas mediante tornillos al concreto de cimentación, dicho sistema deberá ser capaz de mantener la estructura fija en todo momento, por lo que es necesario

determinar el diámetro y la longitud de los tornillos de sujeción. Para encontrar la sujeción adecuada se debe suponer primero que se emplean cuatro tornillos, lo que quiere decir que la fuerza ejercida en la columna se distribuye en los cuatro puntos, luego se encuentra un área transversal aproximada usando la ecuación (4.2) descrita en el libro diseño de elementos de máquinas de Vanegas de la universidad tecnológica de Pereira, para encontrar un área de perno desconociendo la tracción inicial “el diseño consistirá en escoger “empíricamente” un diámetro adecuado. Faires propone la siguiente ecuación empírica” (Vanegas Useche, 2018) (ver ecuación (4.20)):

$$A_t = \left( \frac{6 * F_e}{1 \text{ in}^{-1} * S_y} \right)^{2/3} \quad \text{para} \quad d < 3/4 \text{ in} \quad (4.20)$$

Donde  $A_t$ ,  $F_e$  y  $S_y$  son en área transversal del tornillo, la fuerza externa que debe resistir cada tornillo y el esfuerzo de fluencia del tornillo escogido, respectivamente; la ecuación (4.20) aplica para diámetros menores a **19,05 mm (0,750 in)**.

La fuerza externa  $F_e$  que debe resistir cada tornillo se define como la fuerza total externa aplicada en el apoyo  $F_{et}$ , dividida entre en número de tornillos  $n_t$  (mínimo se pueden usar cuatro tornillos) (ver ecuación (4.21)).

$$F_e = \frac{F_{et}}{n_t} \quad (4.21)$$

Ahora,  $F_{et}$  es la fuerza externa ejercida en el apoyo la cual se extrae de la simulación estática del sistema en solidworks, en cada apoyo se genera una reacción diferente, como se desea realizar un diseño que se pueda implementar en los cinco puntos, se escoge la mayor reacción que es de **7300 N**. Empleando la ecuación (4.21) se tiene que:

$$F_e = \frac{7300 \text{ N}}{4} = 1825 \text{ N}$$

Ahora se escoge de la tabla 8.4 del libro de diseño de elementos de máquinas de Vanegas un tornillo métrico clase 4.6, es el de menor resistencia a la fluencia de  $S_y = 240 \text{ MPa}$ . Usando la ecuación (4.20), se obtiene un área transversal de tornillo de:

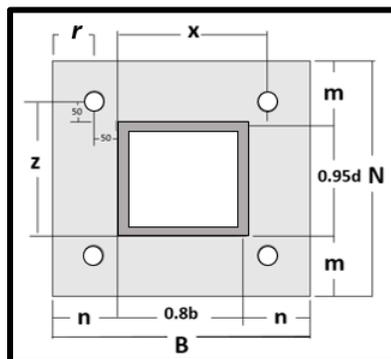
$$A_t = \left( \frac{6 * (1825 N)}{\frac{1}{0,0254 m} * 240000000 Pa} \right)^{2/3} = 0,00011033 m^2 \approx 110,33 mm^2$$

El  $A_t$  aproximada por encima es de  $115,4 mm^2$  cual corresponde a un diámetro  $D_p$  de  $14 mm$  ( $9/16 in$ ) según la figura E-4 del anexo E, extraída del libro de diseño de elementos de máquinas de Vanegas, y es menor que  $19,05 mm$  ( $0,750 in$ ) que es hasta el diámetro que se cumple la ecuación (4.20). Ahora se debe comprobar que los pernos tengan mayor resistencia que la que deben soportar, la fuerza que deben soportar los pernos se denomina  $T_u$ , y del diagrama de cuerpo libre en un perno se tiene que (ver ecuación (4.22)):

$$T_u = \frac{M_x}{2 * z} + \frac{M_z}{2 * X} - \frac{P_u}{n} \quad (4.22)$$

Donde  $M_x$ ,  $M_z$ ,  $P_u$ ,  $z$  y  $X$  son el momento flector en el eje x, momento flector en el eje z, la carga de compresión total ejercida en un tornillo, distancia paralela al eje z, y distancia paralela al eje X, respectivamente; los dos últimos valores se representan en la figura 4-12.

**Figura 4-12:** Esquema de placa base para columna.



Nombre de la fuente: Propia.

Los valores de  $M_x$ ,  $M_z$  y  $F_{et}$ , son  $0,401 N * m$ ,  $1,5 N * m$  y  $7300 N$  (extraídos de la simulación estática del sistema estructural), respectivamente; “constructivamente se recomienda dejar  $50 mm$  entre el borde de las aletas de la columna hasta el centro de los pernos en la dirección  $z$  y  $X$ ” (Pineda Tobasia, 2017) tal como se ve en la figura 4-12; los

valores de  $z$  y  $X$ , se calculan mediante las siguientes ecuaciones según Pineda en su tesis (ver ecuaciones (4.23) y (4.24), respectivamente):

$$X = 0,9 * b + 50 \text{ mm} = 0,9 * 25,4 \text{ mm} + 50 \text{ mm} = 72,86 \text{ mm} \quad (4.23)$$

$$z = 0,975 * d + 50 \text{ mm} = 0,975 * 25,4 \text{ mm} + 50 = 74,77 \text{ mm} \quad (4.24)$$

Ahora se encuentra  $T_u$ , empleando (4.22).

$$T_u = \frac{0,401 \text{ N} * \text{m}}{2 * 0,07477 \text{ m}} + \frac{1,5 \text{ N} * \text{m}}{2 * 0,07286 \text{ m}} - \frac{7300 \text{ N}}{4} = -1812,02 \text{ N}$$

El símbolo negativo del resultado en  $T_u$  indica la dirección de la fuerza, lo que quiere decir que el perno está sometido a un esfuerzo axial de tensión. La fuerza cortante resultante en un perno  $V_{pR}$ , va ser generada por las componentes  $V_{cz}$  (fuerza en el apoyo paralela al eje  $z$ ) y  $V_{cx}$  (fuerza en el apoyo paralela al eje  $X$ ), de la fuerza resultante en el apoyo, las cuales tienen valores de 1,07 N y 1,34 N, respectivamente (valores extraídos de la simulación estática del modelo geométrico inicial) y usando el teorema de Pitágoras se tiene que:

$$V_{pR} = \sqrt{V_{cz}^2 + V_{cx}^2} = \sqrt{(1,07 \text{ N})^2 + (-1,34 \text{ N})^2} = 1.715 \text{ N}$$

Los valores de  $T_u$  y  $V_{pR}$  encontrados para los pernos anteriormente son los mínimos que estos deben soportar; ahora se procede a encontrar el valor de tracción que soporta uno de los pernos seleccionados  $T_p$ , haciendo uso de la ecuación (4.25).

$$T_p = \phi_t * 0,75 * A_t * S_u \quad (4.25)$$

Donde  $\phi_t$  es el coeficiente de tracción para pernos equivalente a 0,75 y  $S_u = 400 \text{ MPa}$  es la resistencia última a la tracción del perno seleccionada que tiene un diámetro de 14 mm y es tipo milimétrico clase 4.6, la  $S_u$  es extraída de la tabla 8.4 del libro de diseño de elementos de máquinas de Vanegas. Empleando la ecuación (4.25) se tiene que:

$$T_p = 25965 \text{ N} \quad \geq \quad T_u = 1812,02 \text{ N}$$

Se cumple; ahora la fuerza cortante que resiste el perno elegido  $V_{pp}$  esta dada por la ecuación (4.26).

$$V_{pp} = \phi_t * 0,4 * A_t * S_u \quad (4.26)$$

Por lo que:

$$V_{pp} = 0,75 * 0,4 * 0,0001154 \text{ m}^2 * 400 * 10^6 \text{ Pa} = 13848 \text{ N} \geq 1,715 \text{ N}$$

El perno seleccionado cumple tanto a tracción como a cortante, lo que quiere decir que se puede usar para la función que se necesita. La mínima longitud embebida del perno  $L_p$  está dada, por la siguiente expresión de la sección C.12.6.2 de la NSR 10 (ver ecuación (4.27)).

$$L_p = \left( \frac{0.19 * \psi_e * S_y}{\sqrt{f_c}} \right) * D_p \quad (4.27)$$

Donde  $\psi_e$ : Factor de revestimiento es 1,0 ya que no va a contar con revestimiento epóxico;  $f_c$ : Es la resistencia máxima a compresión del concreto elegido, el cual es un concreto estructural de Cemex y tiene un valor de **37 MPa**, por lo que:

$$L_p = 7,5 * D_p = 7,5 * 14 \text{ mm} = 105 \text{ mm} \approx 10,5 \text{ cm}$$

Sin embargo, la sección C.12.6.2 de la NSR 10 dice que “la longitud  $L_p$  no debe ser menor que el mayor entre  $8 * D_p$  y **150 mm**” (ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA, 2012), por lo que se toma a  $L_p = 150 \text{ mm} \approx 15 \text{ cm}$ . Teniendo dimensionados los tornillos de anclaje se procede con dimensionar la placa base y la zapata de concreto. Para la placa base Pineda en su tesis diseño de conexiones: estructura metálica representativa recomienda un valor constructivo de 50 mm para la distancia  $r$  mínima desde el centro de la perforación del perno hasta el borde de la placa base (ver figura 4-14), sin embargo dicho valor se encuentra interpolando los valores de la tabla F.2.10.3-4 para distanciamiento mínimo hasta el borde de la placa base del título F: Estructuras metálicas de la norma NSR 10 para un diámetro de **14 mm**, obteniendo el siguiente resultado:

$$r = 20,36 \text{ mm} \text{ (Espaciado mínimo)}$$

Se escoge el valor de 50 mm, ya que el valor  $r$  encontrado es menor. Las dimensiones de la placa base se encuentran mediante las ecuaciones (4.28) y (4.29).

$$N_p = d + 2 * 50 + 2 * r \quad (4.28)$$

$$B_p = b + 2 * 50 + 2 * r \quad (4.29)$$

Entonces:

$$N_p = 25,4 \text{ mm} + 2 * 50 \text{ mm} + 2 * 50 \text{ mm} = 225,4 \text{ mm}$$

$$B_p = 25,4 \text{ mm} + 2 * 50 \text{ mm} + 2 * 50 \text{ mm} = 225,4 \text{ mm}$$

Por lo que el área de la placa base  $A_1$  es igual a:

$$A_1 = N_p * B_p = 225,4 * 225,4 = 50805,16 \text{ mm}^2 \approx 0,05081 \text{ m}^2$$

Ahora se procede a encontrar la resistencia de diseño de aplastamiento del concreto  $\phi cPp$ , por medio de la ecuación (4.30) para zapatas en la cuales se ejerce presión en una sección de la misma se tiene que:

$$\phi cPp = \phi c * 0,85 * f_c * A_1 * \sqrt{A_1/A_2} \leq 1,75 * f_c * A_1 \quad (4.30)$$

Donde  $\phi c$ : Coeficiente de reducción de carga por aplastamiento en concreto de 0,65;  $A_2$ : Área de la zapata de concreto. Se deben cumplir dos condiciones, la primera es  $\phi cPp \leq 1,75 * f_c * A_1$ , la segunda es  $\phi cPp > F_{et} = 7300 \text{ N}$ , por lo que:

$$\phi cPp = \frac{234130,4}{\sqrt{A_2}}$$

Ahora se procede a dar valores supuesto para  $N_z$  y  $B_z$  (ancho y profundidad de la zapata, respectivamente), sabiendo que  $N_z = B_z$ , entonces:

$$\phi cPp = \frac{234130,4}{\sqrt{N_z^2}} = \frac{234130,4}{N_z}$$

Si  $N_z = B_z = 0,325 \text{ m}$ , se tiene que  $\phi_c P_p = 720401,23 \text{ N}$ , lo cual cumple las dos condiciones de diseño, ya que  $1,75 * f'_c * A_1 = 3289947,5 \text{ N}$ , se cumple que  $720401,23 \text{ N} \leq 3289947,5 \text{ N}$  y también se cumple que  $720401,23 \text{ N} > 7300 \text{ N}$ , por lo que las dimensiones de la zapata son aceptables. La relación entre el área de la zapata  $A_{zapata}$  y el área de la placa base  $A_{placabase}$  es:

$$\frac{A_{zapata}}{A_{placabase}} = \frac{325 \text{ mm} * 325 \text{ mm}}{225,4 \text{ mm} * 225,4 \text{ mm}} = \frac{105625 \text{ mm}^2}{50805,16 \text{ mm}^2} = 2,08 \text{ veces}$$

El paso a seguir es encontrar un espesor adecuado para la placa base, según las condiciones a las cuales estará sometida, de la figura 4-12 “si  $m = n$ , los dos momentos serán teóricamente iguales y se tendría un valor mínimo para el espesor de la placa.” (Escalante Cervera, 2014) (Ver ecuación (4.31)):

$$t_p = m * \sqrt{\frac{2 * F_{et}}{0,9 * F_y * B * N}} \quad (4.31)$$

Donde  $F_y$  corresponde el valor de la resistencia a la fluencia de una platina con especificación ASTM A36, la cual tiene una resistencia a la fluencia de  $250 \text{ MPa}$ . Ahora de la figura 4-12 se tiene que:

$$N_p = 2 * m + 0,95d$$

$$m = \frac{N_p - 0,95d}{2} = \frac{225,4 \text{ mm} - 0,95 * 25,4 \text{ mm}}{2} = 100,635 \text{ mm}$$

Empleando la ecuación (4.31).

$$t_p = 0,100635 \text{ m} * \sqrt{\frac{2 * 7300 \text{ N}}{0,9 * 250000000 \text{ Pa} * 0,2254 \text{ m} * 0,2254 \text{ m}}} = 0,0035965 \text{ m}$$

El valor mínimo de espesor  $t_p$  para la placa base es de  $3,6 \text{ mm}$  aproximadamente, sin embargo comercialmente la lámina milimétrica que se encuentra es de  $4,0 \text{ mm}$  de espesor. La altura de la zapata de concreto se determina a partir de la longitud  $L_p$  de los tornillos de anclaje de  $150 \text{ mm}$ , teniendo en cuenta que según la NSR 10 sección C.15.7 la altura de zapatas aisladas no puede ser menor de  $150 \text{ mm}$  y que además se debe considerar un recubrimiento para el refuerzo de  $75 \text{ mm}$  según NSR 10 sección C.7.7.1; se

considera una altura de la zapata de 250 mm, construida con cemento para estructuras de la marca Cemex. La estructura final se muestra en los planos mecánicos del anexo H.

## 4.6 Automatismo del sistema

El automatismo es diseñado con el fin de optimizar diferentes operaciones del sistema como el encendido y apagado de la bomba, vaciado del tanque de almacenamiento, tiempos de duración de riego y los horarios de riego, para tal fin es necesario realizar el circuito eléctrico capaz de cumplir con las necesidades requeridas. El sistema eléctrico se compone básicamente de dos flotadores eléctricos (uno para el tanque de almacenamiento y el otro para el pozo de alimentación), electrobomba QB 80, electroválvula modelo 2W-250-25 y trabaja a **100 voltios**, temporizador y fuente eléctrica, en este caso la fuente es una toma corriente ubicada al interior de la vivienda del terreno (potencia nominal de **110 voltios**).

El sistema eléctrico y su funcionamiento en un riego se describen a continuación: En la tabla 4-13, se muestran los horarios y tiempo de riego, establecidos según los tiempos de llenado y vaciado del tanque de almacenamiento, el temporizador es programado de acuerdo a la tabla 4-13; el riego inicia cuando sea la hora indicada, ya sea siete de la mañana o tres de la tarde, es decir, el temporizador permitirá la activación del circuito eléctrico en este horario y lo desactivará transcurridas tres horas; si los flotadores eléctricos se encuentran en el nivel máximo de líquido (con el tanque de almacenamiento y el pozo de alimentación llenos), se activará la electroválvula y el flotador eléctrico del tanque elevado empieza a descender a medida que fluye agua por las TPG, TPR y TP, regando las plantas de la sección inferior; cuando el flotador llegue al nivel mínimo, la electroválvula evita el paso del fluido, simultáneamente se enciende la electrobomba siempre y cuando el flotador del pozo de alimentación esté por encima del nivel mínimo de agua en dicho recipiente (para evitar mal funcionamiento de la bomba, si el pozo se encuentre con poca agua), hasta que el tanque de almacenamiento este lleno (el flotador del tanque este de nuevo en la posición superior) y se abre de nuevo la electroválvula regando las plantas de la sección superior; después de que el tanque quede nuevamente vacío, la electrobomba vuelve a cargar el tanque dejándolo lleno para el próximo riego. En el diagrama 4-2 se

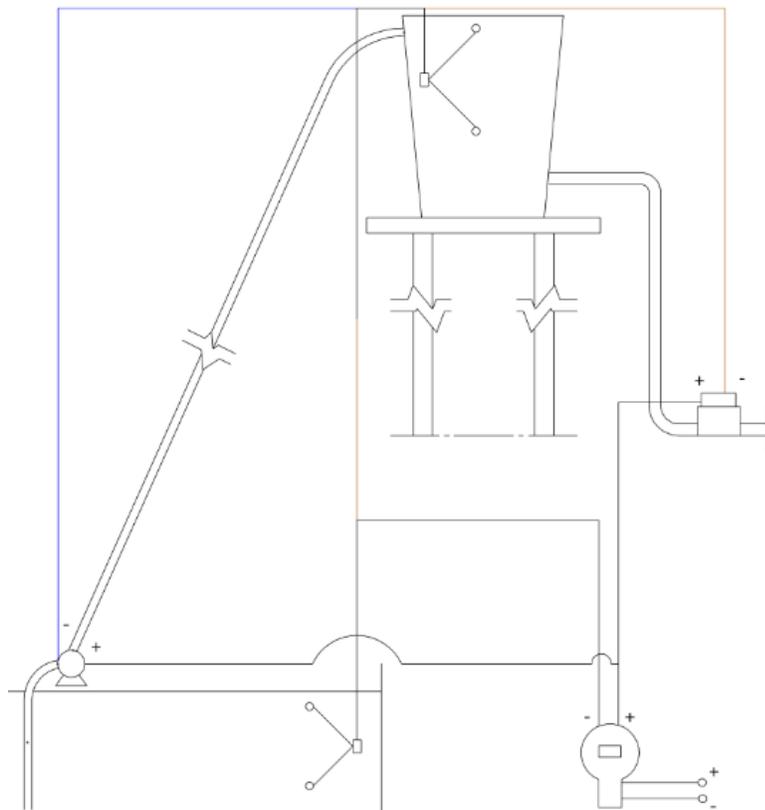
muestra el flujo de operación del sistema de automatización, sin embargo cuando sea temporada de lluvia el sistema se debe desactivar, ya que se puede suministrar agua en exceso a las plantas afectando la producción de las mismas. En esquema 4-2 se evidencia el esquema eléctrico.

**Tabla 4-13:** Tiempos y horarios de riego.

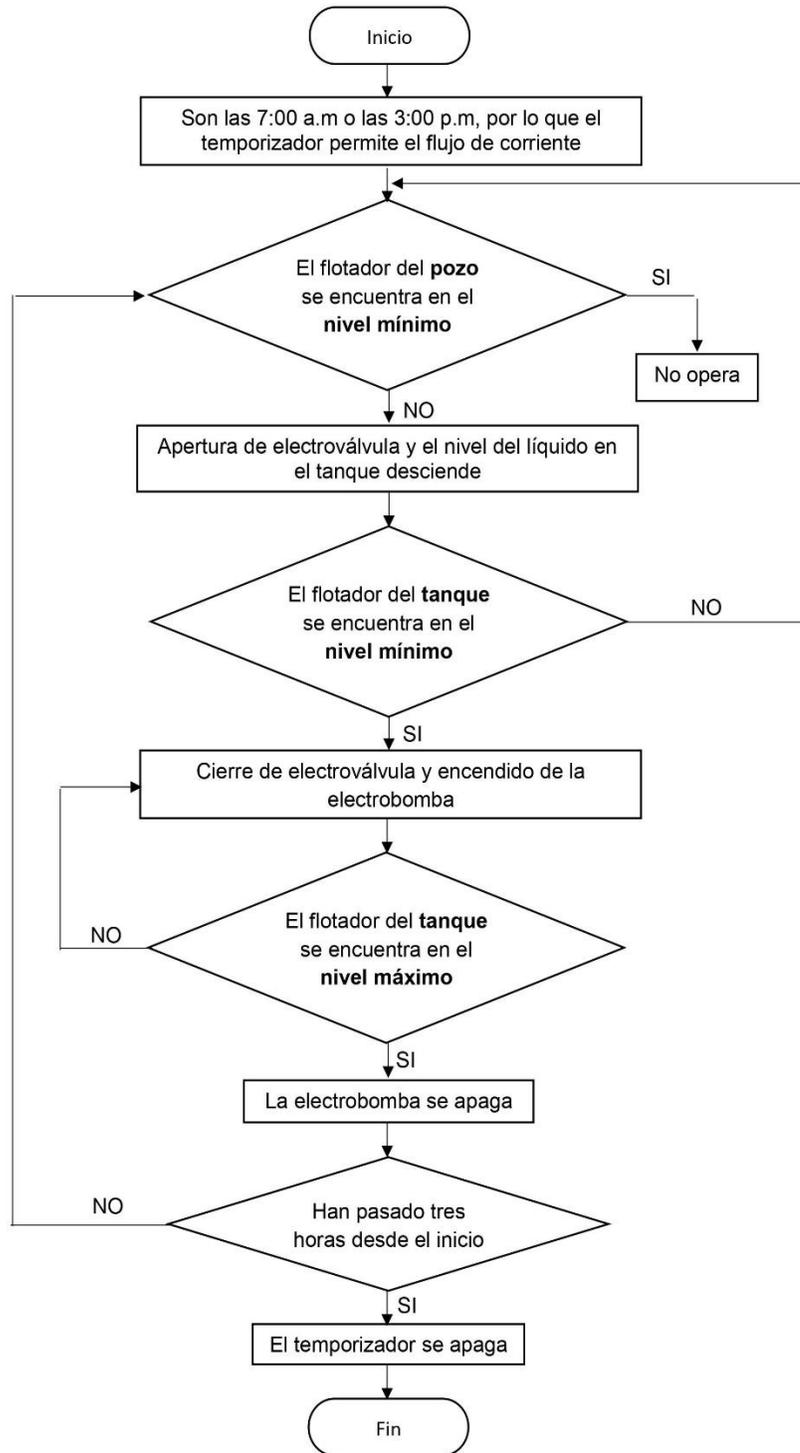
Horario todos los días		Acciones	
Mañana	Tarde	Automatismo	Operario
7:00	3:00	El sistema es energizado y se abre la electroválvula	Abrir válvula para riego en la sección inferior
7:30	3:30	La electroválvula cierra y se enciende la electrobomba	Cerrar válvula de riego en sección inferior
8:30	4:30	El tanque se llena, se apaga la electrobomba y la electroválvula se abre	Abrir válvula para riego en la sección superior
9:00	5:00	Cierre final de electroválvula y encendido de electrobomba	Cerrar válvula de riego en sección superior
10:00	6:00	Se apaga la electrobomba y finaliza el riego	

Nombre de la fuente: Propia.

**Esquema 4-2:** Esquema eléctrico del automatismo.



Nombre de la fuente: Propia.

**Diagrama 4-2:** Diagrama de flujo del automatismo.

Nombre de la fuente: Propia.

## 5. Conclusiones y recomendaciones

### 5.1 Conclusiones

- Para el requerimiento hídrico fue necesario realizar investigación acerca de este tema y se siguieron las indicaciones de la FAO, empleando un software de la misma organización y dicho requerimiento depende de variables climáticas como la temperatura máxima y mínima del terreno, velocidad del viento, horas de brillo solar, humedad relativa y la precipitación en la zona (datos descargados de la base de datos del IDEAM), el uso de CROPWAT para encontrar el requerimiento hídrico del cultivo facilita el cálculo y reduce el tiempo de trabajo. El cultivo de mora de castilla, cuenta con un total aproximado de **3000 plantas** divididas en dos secciones y con un requerimiento hídrico encontrado de **7908,6 l/día**, aportando a las plantas tanto para la sección superior como para la sección inferior **4000 l** de agua aproximadamente en un riego y al día se realizan dos riegos, aportando a las plantas la cantidad de agua suficiente para mejorar la producción de mora de castilla en la finca.

- El diseño hidráulico de la tubería que transporta el agua desde el tanque de almacenamiento hasta el cultivo es diseñado en tres secciones la primera es la TPG (tubería porta goteros) con diámetro de **16 mm** sin accesorios, con longitud máxima en la sección superior de **59 m** con **49 goteros** y en la sección inferior de **61,4 m** con **51 goteros**, la segunda sección corresponde a las TPR (tuberías porta ramales) con diámetro de **31,8 mm** son dos líneas, cada una tiene una válvula de globo, en la sección superior tiene una longitud de **82 m** y en la sección inferior una longitud de **80 m**, las TPR no se utilizan simultáneamente (el riego es seccionado, empezando en la sección inferior del cultivo) en la sección superior la TPR tiene **41 derivaciones** y en la sección inferior **31 derivaciones**, la tercera es la TP (tubería principal) con diámetro de **50,8 mm** y con

dos codos estándar a 90°, un filtro de discos de color rojo, reducción de **50,8 mm** a **25,4 mm**, electroválvula 2W-250-25 de **25,4 mm**, ampliación concéntrica de **25,4 mm** a **50,8 mm**, codo estándar a 45°, unión en T con derivación a la TPR sección superior, válvula de globo de **50,8 mm** y unión en T con derivación a la TPR sección inferior; todas las tuberías del sistema hidráulico son en polietileno de baja densidad, la TP tiene una longitud de **160 m**.

- La electrobomba seleccionada es una QB 80 de la marca Barnes, potencia de **1 Hp (caballo de fuerza)** mostrada en la ficha técnica de la misma, con dos tuberías, una de succión de **25,4 mm** de diámetro y longitud de **2 m**, otra de expulsión del mismo diámetro pero con longitud de **108 m**, en la tubería de succión el agua debe atravesar un filtro de discos de color rojo y en la expulsión debe atravesar dos válvulas tipo globo instaladas para el mantenimiento, las tuberías son en polietileno de baja densidad.
- La selección del sistema de filtración se hace teniendo en cuenta factores como valor de adquisición, facilidad en la limpieza y escogiendo filtros con las menores pérdidas de carga, ya que en la parte del sistema de bombeo la electrobomba es pequeña y en el diseño hidráulico desde el tanque de almacenamiento hasta el cultivo, el riego es por gravedad, no es conveniente emplear filtros de arena ni hidrociclones, porque aumentan la pérdida de presión en los dos sistemas hidráulicos, entre los filtros de malla y de discos se escogen los de discos de color rojo ya que la durabilidad de estos es alta en comparación con las malla y la limpieza es sencilla, con una capacidad de filtrar partículas de **150 mesh o 100 micras**, empleados en riego por goteo y para filtración fina; entonces solo es necesario emplear dos filtros de discos de color rojo, uno ubicado en los conductos desde el pozo de alimentación hasta el tanque de almacenamiento y otro en las tuberías que transportan el agua desde el tanque de almacenamiento hasta el cultivo, cuando el agua llega al tanque elevado y antes de salir hacia el cultivo, tiene tiempo para que las partículas pesadas descendan al fondo del tanque, por lo que de cierta forma también se filtra el agua en el tanque de almacenamiento.
- El requerimiento hídrico del cultivo es de **7908,6 l/día** (lo que equivale a **3954,3 l/riego**), por sugerencias del dueño del terreno se opta por un tanque con capacidad de **2000 l** marca colempaques de polietileno, ya que dicho material proporciona excelentes cualidades expuesto al ambiente (no se corroe) y posee alta durabilidad, sin embargo se sugiere emplear un tanque bajito de la misma marca con capacidad de **4000 l**

con el fin de disminuir el tiempo de riego a la mitad, aunque esto llevaría a una reprogramación de los tiempos y horarios de riego, y un rediseño de la estructura metálica.

- El uso de solidworks como herramienta de diseño, reduce tiempo y costos a la hora de encontrar una forma adecuada para la estructura de soporte, ya que haciendo uso del módulo de simulación, se puede llegar a un modelo geométrico aproximado, capaz de soportar cargas estáticas, ya sea que se realice un estudio estático, y capaz de soportar cargas sísmicas, realizando un estudio dinámico lineal, para este último es necesario encontrar la curva del espectro de aceleración como fracción de la gravedad, de acuerdo a la norma NSR 10, en el CD adjunto a este texto se muestran los resultados obtenidos, teniendo un factor de seguridad mínimo en la estructura de **2,8**, con un esfuerzo máximo de Von Mises de **86,5 MPa**, con una reacción resultante máxima en los apoyos  $F_R = 7300 N$ , y un momento resultante de  $M_R = 1,56 N * m$ , resultado obtenidos en el apoyo de la columna del centro de la estructura, en la simulación estática, en la simulación sísmica (dinámica lineal) se obtiene que  $F_R = 3,26 N$ , y un momento resultante de  $M_R = 0,278 N * m$ , con un esfuerzo máximo de Von Mises de **0,665 MPa** y un desplazamiento máximo en la estructura de **0,27 mm**.

- El cálculo de la estructura, sirvió para afianzar conocimiento en cuanto a diseño mecánico estructural, las dimensiones finales de cada miembro se muestran en los planos de la estructura metálica, la cual tiene una altura de **2238 mm**, dicha estructura se compone de diferentes secciones una es la rejilla donde va apoyado el tanque, la cual es de tubo hueco rectangular con dimensiones de **76 \* 38 \* 1,1 mm**; la baranda perimetral alrededor del tanque es de platina con espesor de **3,76 mm** y ancho de **50,8 mm**; la zona por donde transita la persona encargada del mantenimiento e inspección del sistema, la escalera, las columnas y la vigas a media altura de la estructura, son de tubo hueco cuadrado de **25 \* 25 \* 1,2 mm**; los elementos sometidos a flexión se deben unir mediante soldadura de filete con electrodo revestido E6010 según clasificación AWS y de diámetro **2,4 mm**, los elementos sometidos a compresión (columnas) se deben unir mediante soldadura de filete con electrodo E6010 según clasificación AWS y de diámetro **2,4 mm**, la placa base es de dimensiones **225,4 \* 225,4 mm** y con un espesor de **4 mm**, la zapata de concreto con dimensiones de **325 \* 325 mm** y altura de **250 mm** debe ser fabricada en concreto para estructuras de la marca Cemex con resistencia al aplastamiento de **37 MPa**; la zapata es unida a la placa base mediante cuatro pernos de anclaje milimétricos

clase 4.6, con diámetro de **14 mm** y longitud de **150 mm**; los elementos estructurales metálicos son de acero ASTM A36.

- El automatismo del sistema está compuesto por dos flotadores eléctricos (uno para el tanque elevado y otro para el pozo de alimentación), electroválvula de **110 voltios**, electrobomba QB 80 y temporizador programable; el temporizador programable es encargado de activar el automatismo de acuerdo a los horarios de riego y el tiempo del mismo, el flotador eléctrico del tanque de almacenamiento debe encender la electrobomba y la electroválvula pero no trabajan en simultaneo, es decir cuando está encendida la electroválvula (permitiendo el flujo de agua a través de las tuberías) la electrobomba está apagada y viceversa, el uso del flotador eléctrico en el pozo de abastecimiento es indispensable, ya que este no permite que la electrobomba entre en funcionamiento si el nivel del agua en el pozo está por debajo del nivel mínimo, el temporizador programable se apaga interrumpiendo el paso de corriente en caso de sobrecarga, en el diagrama de flujo se muestra con claridad el funcionamiento del automatismo, los horarios se establecieron de acuerdo al tiempo de vaciado del tanque mediante gravedad y de llenado del mismo con el sistema de bombeo, y en acuerdo con el dueño del terreno que será la persona encargada de operar el sistema, el riego dura tres horas en la mañana y tres en la tarde, mañana de 7 a 10 y tarde de 3 a 6.
- El proyecto sirvió para afianzar conocimientos, en cuanto a mecánica de fluidos para sistemas de riego localizados, en específico riegos por goteo y sistemas de bombeo, también los conocimientos adquiridos de diseño mecánico estructural y de solidworks en cuanto a las simulaciones estática y dinámica lineal, además de conocimientos en cuanto automatismos para riego localizado; para que el sistema pueda operar sin que ninguna de sus partes falle, es necesario seguir las recomendaciones establecidas en este escrito.

## 5.2 Recomendaciones

- Los filtros de discos de color rojo son los encargados de prevenir el taponamiento de los goteros y la aparición de residuos, tanto en los conductos como en la electrobomba y la electroválvula, por lo que es necesario realizar la limpieza diaria manual de los discos, retirando la capa superior del filtro y lavando los discos con abundante agua.

- Semanalmente se recomienda hacer inspección visual tanto a los conductos de transporte como a los accesorios seleccionados en los dos sistemas hidráulicos, en especial a los goteros los cuales pueden sufrir de taponamiento.
- La aplicación de los cordones de soldadura deben cumplir con los criterios de inspección visual al 100% de la juntas, según la norma AWS D1.1 del 2020 código de soldadura estructural, tabla 6-1 criterios de aceptación, los pernos de anclaje fueron diseñados según la NSR 10 del 2012, título F, por lo que deben cumplir con las especificaciones de dicha norma; en lo posible aplicar recubrimiento a la estructura para evitar corrosión.
- La bomba debe estar en constante monitoreo y debido a que lleva tiempo sin uso es necesario realizar un mantenimiento general para reemplazar piezas obsoletas o que puedan fallar en operación.
- Para optimizar los tiempos del riego es necesario el uso de una electrobomba, capaz de bombear agua con el doble del caudal de la seleccionada en este proyecto, con dicho cambio se podría reducir el tiempo de riego a la mitad del actual, ósea una hora y media por riego, lo que equivale a tres horas diarias en dicha labor.

## Bibliografía

- Agronet. (2016). *Área sembrada, área cosechada, producción y rendimiento del cultivo de mora según departamento*. Obtenido de [www.agronet.com](http://www.agronet.com):  
<http://www.agronet.gov.co/Documents/MORA2016.pdf>
- Alcaldía municipal de Chiquinquirá. (2016). *Plan de desarrollo municipal*. Chiquinquirá: Boyacá: Concejo municipal Chiquinquirá.
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo. *Estudio FAO riego y drenaje*, 1-3.
- ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA. (2012). *Reglamento Colombiana de Construcción Sismo Resistente NSR 10 Título F: Estructuras Metálicas*. Bogotá: Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.
- ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA. (2012). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 Título C: Concreto Estructural*. Bogotá: Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.
- ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA. (2012). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR 10 Título A: Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente*. Bogotá: Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.
- Barnes de Colombia. (s.f). *BOMBAS PERIFERICAS*. Obtenido de Ficha tecnica:  
<https://www.barnes.com.co/wp-content/uploads/2018/10/BE-1-10-1-HF.pdf>
- Barnes de Colombia. (s.f). *BOMBAS PERIFERICAS*. Obtenido de Ficha tecnica:  
<https://www.barnes.com.co/wp-content/uploads/2017/11/QB-60-QB-80.pdf>
- Cervera, M., & Blanco, E. (2015). *Resistencia de materiales*. Barcelona (España): CIMNE.

- Coval. (s.f). *Tanques plásticos*. Obtenido de Coval:  
[https://www.coval.com.co/pdfs/manuales/man\\_colempaques\\_tanques\\_plasticos.pdf](https://www.coval.com.co/pdfs/manuales/man_colempaques_tanques_plasticos.pdf)
- Curiosoando. (12 de Marzo de 2020). *¿ Que es una válvula solenoide ?* Obtenido de Curiosoando.com: <https://curiosoando.com/que-es-una-valvula-solenoide>
- Demin, P. (2014). *Aportes para el mejoramiento de los manejos de los sistemas de riego*. San Fernando del Valle de Catamarca: INTA.
- Domingo, A. (2011). *Apuntes de mecanica de fluidos*. España: COPYRIGHT.
- Dulhoste, J. (2018). *Flujo de sistemas de tuberías*. Obtenido de Wed del profesor:  
[https://nanopdf.com/download/flujo-en-sistemas-de-tuberias-web-del-profesor\\_pdf](https://nanopdf.com/download/flujo-en-sistemas-de-tuberias-web-del-profesor_pdf)
- Elementos amovibles y fijos no estructurales. (Noviembre de 2015). *Compresión, tracción, flexión, torsión y cizalla*. Obtenido de Elementos amovibles y fijos no estructurales: <http://amoviblesio.blogspot.com/2015/11/compresion-traccion-flexion-torsion.html>
- Escalante Cervera, V. (08 de 07 de 2014). *Diseño de estructuras metalicas*. Obtenido de es.slideshare.net: <https://es.slideshare.net/ArmandoEmilioPoujolC/diseo-de-estructuras-mtalicas>
- Fernández Gomez, R. (2010). *Riego por aspersión*. Obtenido de [www.juntadeandalucia.es](http://www.juntadeandalucia.es):  
[https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160240Riego\\_por\\_aspersion.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160240Riego_por_aspersion.pdf)
- Gestiriego. (19 de Junio de 2019). *Filtros de anilla y de malla. Ventajas e inconvenientes*. Obtenido de Gestiriego: <https://www.gestiriego.com/filtros-de-anillas-y-de-malla-ventajas-e-inconvenientes/>
- Guamán, D. (2014). *Sistema de riego por aspersión para un cultivo artesanal de mora*. Ibarra (Ecuador): Universidad tecnica del norte.
- ingemecanica. (s.f). *Cálculo de Instalaciones de*. Obtenido de [ingemecanica.com](http://ingemecanica.com):  
<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn206.html>
- Ingemecanica. (s.f). *Cálculo de una Instalación*. Obtenido de Ingemecanica:  
<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn207.html>
- Javier. (9 de Enero de 2014). *Válvulas de Control ¿Qué es el Cv de una válvula?* Obtenido de [Instintologico.com](http://instintologico.com): <http://instintologico.com/valvulas-de-control-que-es-el-cv-de-una-valvula/>

- Khouri, E. A. (2004). *Apuntes de hidraulica para explotaciones forestales*. Oviedo, España: Universidad de Oviedo.
- Linares, R. d. (2011). Proyecto de explotación agrícola en Berja. (*Tesis de grado*). Universidad de Almería, Almería.
- Maderae. (30 de Marzo de 2017). *Diferencias entre estructuras de madera, acero y hormigón*. Obtenido de Maderae: <https://www.maderea.es/diferencias-entre-estructuras-de-madera-acero-y-hormigon/>
- Monge Redondo, M. (19 de 02 de 2018). *Filtración (II): selección del equipo de filtrado*. Obtenido de Iagua: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/filtracion-ii-seleccion-equipo-filtrado>
- Morales , A., & Sánchez , A. (2015). *Selección, diseño y construcción del sistema de riego para cultivo de limón de la finca Santa Lucia*. Bogota: Universidad Antonio Nariño.
- Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de maquinas*,. Mexico: Pearson.
- Mott, R. (2006). *Mecanica de fluidos*. Mexico: Pearson.
- Novagric. (s.f). *Filtros para riego por goteo*. Obtenido de Novagric: <https://www.novagric.com/es/riego/materiales-de-riego/filtros-riego-por-goteo>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (s.f). *FACTORES QUE SE DEBEN CONSIDERAR PARA SELECCIONAR EL SISTEMA DE RIEGO MÁS ADECUADO*. Obtenido de [www.fao.org](http://www.fao.org): <http://www.fao.org/3/aj470s/aj470s02.pdf>
- Palomino , A. (2014). *Estudio y dimensionamiento de una red de distribución de agua en una población*. Barcelona.
- Parra, S. (1 de Agosto de 2017). *Vigas y Columnas: Presentes en cualquier sistema constructivo*. Obtenido de Láminas y aceros: <https://blog.laminasyaceros.com/blog/vigas-y-columnas.-presentes-en-cualquier-sistema-constructivo>
- Pérez, J. (1 de Marzo de 2020). *Transpiración*. Obtenido de Definición: <https://definicion.de/transpiracion/>
- Pérez, J., & Gardey, A. (2017). *Estática*. Obtenido de Definición: <https://definicion.de/estatica/>
- Pérez, J., & Merino, M. (2011). *Compresión*. Obtenido de Definición: <https://definicion.de/compresion/>

Pineda Tobasia, A. A. (2017). *DISEÑO DE “CONEXIONES”: ESTRUCTURA METÁLICA REPRESENTATIVA*. Bucaramanga: Universidad industrial de santander.

Solórzano, R. (5 de Junio de 2016). *Principios Ingenieriles Básicos - Bombas Hidráulicas*. Obtenido de Hydraulicspneumatics:  
<https://www.hydraulicspneumatics.com/blog/principios-ingenieriles-b-sicos-bombas-hidr-ulicas>

Valle, E., Beltrán , O., Velastegui, G., Ayála , G., Jacomé, R., Yáñez, W., & Martínez, A. (2007). *Manual del cultivo de la mora de castilla*. Ambato (Ecuador): CCF.

Vanegas Useche, L. (2018). *Diseño de elementos de máquinas*. Pereira : Universidad Tecnológica de Pereira.

## A. Anexo: Datos climatológicos, croquis y desniveles del cultivo.

En este anexo se muestran las tablas que sirvieron de base para encontrar el requerimiento hídrico del cultivo, de acuerdo a las condiciones climáticas. Todas las tablas fueron extraídas de la base de datos del IDEAM.

**Tabla A-1:** Valores mínimos mensuales de temperatura.

C A R - CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA												
SICLICA - Sistema de Información Climatológica e Hidrológica												
VALORES MÍNIMOS MENSUALES DE TEMPERATURA (°C)												
ESTACIÓN : 2401531 SAN MIGUEL DE SEMA												
Latitud	5° 31' 13,3" N	X=N=1102210	Departamento	BOYACA	Corriente	R. FUNZA	Categoría	CP				
Longitud	73° 43' 14,7" W	Y=E=1039530	Municipio	SAN MIGUEL DE SE	Cuenca	LAG. FÚQUENE	Fecha Instalación	04/01/1961				
Elevación	2636 m.s.n.m		Oficina Provincial	5 CHIQUINQUIRA			Fecha Suspensión					
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE
1991	6,2	6,1	5,1	7	8,2	9	6,5	6	6	4,5	8	6
1993	7	6,2	7	8,1	10,1	9,2	7	7,8	7,9			3,9
1994	6			9,9	10,9	6	8,5	9	7	4	4,9	3,5
1995	2,8	1	5,9	1	6,5	8	6,9	7	5,9	6,1	7,5	4,9
1996	5	6,8	6,8	7,8	7,8	8,5	7,5	4,5	5	6,8	6,5	4,5
1997	6,2	3,2	5,5	7,8	8	5,5	6,2	3,5	5	5	6	4
1998	4	6,5	6	9	9	7,9	7	5,2	5,5	6	5,2	6
1999		8,5	11	12,9	10	9,9	9,5	10	10	11	12	12,5
2000	4,5	6	6,5	6	8,5	6,5	5	5,5	6	6		
2001					9	9	9	9	9,2	9,9	9	11
2002	8	10	9	9,2	11	10	11	10	6,9	4,1	7	6,2
2003	6,9	11	10,8	11	11	10	10	12	12	12	12	5
2004	2	4	6	7	7	3	5	5	4	6	5	7
2006	5,5	4	5	6	7	11	4	5,5	5	4,2	6,5	5
2007	1,2	-3	4	6			14	14	-1	1	2	3
2008	0	0	2	1	6	2	4	2	3	2	5	4
2009	2	4	3	3	4	3	3	4	1	0	5	0
2010	-4	-1	3	4	5	4	4	3	6	5	5,5	4
2011	-1	1	3	5	4	3	2	2	4	4	4	7,5
2012	4	4		7,9	7,9	4,2	6	5,7	6,1	4,6	3,9	4,6
2013								7,9	6,5			
2014	6	5,3	5,7	5,2	5,8	4,8	5,7	2,8	5,8	6,4	5,1	4,1
2015	1,9	6	5	7	6,7	4,8	6,6	6,7	4,5	4,3	6	5
2016	2,8	5		7,9	7,8	5,7	5,8	6,8	3,5	4,9	5,1	4,7
2017	0,8	3,2	5,5	5	7,1	6,2	5,8	4,5	5,2	4,8	6,8	1,5
2018	4,1	2,7	4,7	7,5	7,3	4,8	5,2	4,9	6	6,9	7,7	4,3
2019	5,3	6,5										
Promedio de 2013 - 2019	3,5	4,8	5,2	6,5	6,9	5,3	5,8	5,6	5,3	5,5	6,1	3,9

Nombre de la fuente: IDEAM (2020).

**Tabla A-2:** Valores máximos mensuales de temperatura.

C A R - CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA														
SICLICA - Sistema de Información Climatológica e Hidrológica														
VALORES MÁXIMOS MENSUALES DE TEMPERATURA (°C)														
ESTACIÓN : 2401531 SAN MIGUEL DE SEMA														
Latitud	5° 31' 13,3" N	X=N=1102210	Departamento	BOYACA	Corriente	R. FUNZA	Categoría	CP						
Longitud	73° 43' 14,7" W	Y=E=1039530	Municipio	SAN MIGUEL DE SE	Cuenca	LAG. FÚQUENE	Fecha Instalación	04/01/1961						
Elevación	2636 m.s.n.m		Oficina Provincial	5 CHIQUINQUIRÁ			Fecha Suspensión							
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE		
1991	25	24	24,1	22,9	22	22,5	21,2	21	22,2	23	21,9	23,1		
1993	23	* 28,2	24	25	24	22,8	23,5	23,9	24			* 30,9		
1994	24,3			25	24,6	23	23	25,1	23,2	22,5	21,2	21,8		
1995	23	24	22	22	21,8	21,9	22,2	21,5	23,5	24	23	23,1		
1996	23	23,2	22,8	22,5	23	21,8	21,2	22,2	23	23	23	22,5		
1997	22	22,8	25,8	23,5	23,5	22	20	22,2	22,5	24	22,8	24		
1998	26,2	25,5	24,9	23,8	23	22,5	21,8	22	23	24,8	21	21		
1999		21	22,5	23	23,3	22	21	22,5	21	22	23,5	23		
2000	22,5	25	23	23,8	22,5	21	20,5	22	21	20				
2001					20,5	20	19,5	19,2	19	21	20	22		
2002	21,2	23	23	21	21	20	21	19	20	19	18	19		
2003	23	23,5	22,5	21,2	18	19								
2005		* 33	* 34,4	* 28,3		* 34,6	* 35,6	* 29		* 28	* 28	* 28		
2006	22	23	20,5	22,5	23	20	20,3	20,5	23	22,5	22	22		
2007	20,3	22	22	23			* 31	* 30	* 28	23	24	24		
2008	24	23	25	28,8	24,9	24	21,5	23	25	24	24	25		
2009	25	25	24	24	22	21	21	23	23	25,5	24,8	26		
2010	* 27,5	* 28	26	25	24,5	21,9	22,9	23	24	25	25,1	26		
2011	26	23	21	22	21,5	23	22	24,8	* 28,1	25	27	25,9		
2012	26	23,5		22,2	21,4	22,4	21,3	21,7	22,7	24,3	23,9	23,2		
2013								22,2	21,7					
2014	23,2	24,9	24,4	21,9	23,5	21,6	22	22,3	22,8	22,4	22,6	23		
2015	23,2	23,9	22	21,2	23	21,9	23,4	21,9	23	24,6	19	23		
2016	26,7	25,1		22,7	21,9	19,4	20	24,2	23,6	23,3	23,9	23,3		
2017	23,1	25,3	22,1	22,7	22,6	21,5	22,2	22,2	23,9	24,7	22,6	23,6		
2018	23,4	23,8	24,5	21,8	21,3	21,5	21,4	21,4	22,4	23,2	24	24,2		
2019	25,2	26,6												
Promedio	2013-2019	24,1	24,9	23,3	22,1	22,5	21,2	21,8	22,4	22,9	23,6	22,4	23,4	

Nombre de la fuente: IDEAM (2020).

**Tabla A-3:** Valores mensuales de dirección predominante y velocidad media del viento.

C A R - CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA																									
SICLICA - Sistema de Información Climatológica e Hidrológica																									
VALORES MENSUALES DE DIRECCIÓN PREDOMINANTE Y VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO (m/seg)																									
ESTACIÓN : 2401531 SAN MIGUEL DE SEMA																									
Latitud	0531 N	X=N=1102290		Departamento	BOYACA				Corriente	R. FUNZA			Categoría	CP											
Longitud	4343 W	Y=E=1040620		Municipio	SAN MIGUEL DE SE				Cuenca	LAG. FÚQUENE			Fecha Instalación	04/01/1961											
Elevación	2600 m.s.n.m			Oficina Provincial	5 CHIQUINQUIRÁ								Fecha Suspensión												
AÑO	ENERO		FEBRE		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO		AGOST		SEPTI		OCTUB		NOVIE		DICIE		
1991	N	2,2	N	2,3	E	1,9	W	2,1	W	2,2					S	2,8	W	2,5	S	2,4	E	1,9	E	2	
1992			SW	2,4	NE	2,4	NE	2,1	SW	2,2	SE	3	SE	3	SE	3	SW	2,6	S	2,7	E	2,1	NE	2,2	
1993	S	2,5	E	2,1	E	2,3	S	2,1	W	2	S	2,8	N	2,6	N	2,9	N	2,7	S	2,5	E	2	S	2,3	
1994	E	2,3	S	2,3	E	2,3	N	2,3	N	2,2	N	2,7	N	2,8	S	2,8	N	2,7	N	2,2	S	2	N	2,4	
1995	N	2,5	NE	2,5	SE	2,2	N	2,1	N	2,4	S	2,4	N	2,3	NE	2	SW	2,6	NE	2,1			SW	2	
1996	E	2	E	2,3	N	2	N	2,2			S	2,2	S	2,6					NE	2,2			NE	2,4	
1997	NE	2	S	2,7	NE	2,3	E	2,2	S	2,6			E	3	SE	3	S	2,5	NE	2,2	S	2	NE	2,2	
1998											NE	2,4	S	2,1	SW	2,3	SW	2	E	2	E	1,8			
1999	E	1,9	S	1,7	E	1,9	SW	2	NE	1,5	NE	1,3	SW	1,6	SW	1,5	SW	1	NE	1,1	NE	1			
2000	N	1,1	N	1,4	N	1,3	N	1,7	N	1,5	N	1,7	N	1,9	N	1,9	N	1,7	N	1,6	E	1,2	E	1,4	
2001	W	1,2	E	1,5	N	1,2	S	1,5	N	1,7	N	1,7	N	1,7	N	1,8	N	1,8	N	2	N	2	N	2	
2003	N	1,6	N	1,8	N	1,9	N	1,8	N	1,8	N	1,8	N	1,8	N	2	N	2,2	N	2,1	N	2	N	1,6	
2004	NW	1,6			W	1,6	S	1,5	SW	1,6	S	1,7	SW	1,7	S	1,6	SW	1,6			NE	1,7	SW	1,6	
2005			W	1,6	N	2,8	SW	1,7	SW	1,7	SW	1,6	SW	1,7	SW	1,7	SW	1,7	SW	1,7	NE	1,6	NE	1,7	
2006			SW	2,2	SW	2,2	NE	1,7	SW	2,2	SW	2,3	SW	2,6	SW	2,6	SW	2,5	SW	2,4	SW	2	SW	2,1	
2007	SW	2,4	SW	2,3	SW	2,2	SW	2	SW	2					SW	2,1	SW	2,4	SW	1,9	SW	2	SW	1,9	
2008	SW	2,2	SW	2,2	SW	2,1	SW	2	SW	2	SW	2,2	SW	2,3	SW	2,1	SW	2,2	SW	1,9	NE	1,7	SW	1,9	
2009	SW	2	SW	2	SW	2	SW	2,2	SW	2,2					SW	2,3	SW	2,8	SW	2,2	SW	2	SW	2,1	
2010	SW	2,3	SW	2,2	SW	2,2	SW	1,9	SW	1,9	SW	2,1	SW	1,8	SW	2	SW	1,8	NE	1,8	NE	1,7	NE	1,7	
2011	SW	1,9	SW	1,9	NE	1,9	SW	1,8	SW	2	SW	2,2	SW	2,3	SW	2,2	SW	2,2	NE	1,7	NE	1,7	NE	1,8	
2012	SW	2	SW	1,9	SW	2	S	1,9	S	2,4	S	1,8				S	2,4	S	2,2	S	1,9	SW	2		
2013	SW	2,3	S	2,1	S	2,1	S	2,4							SW	2,3	S	2,7	W	2,1	W	1,6	W	1,9	
2014	W	1,9	SW	1,9	W	2	SW	2,3	W	2	S	2,3	S	2,4											
Promedio	2013-2014	2,1		2,0		2,1		2,4		2,0		2,3		2,4		2,3		2,7		2,1		1,6		1,9	

Nombre de la fuente: IDEAM (2020).

**Tabla A-4:** Valores medios mensuales de humedad relativa.

C A R - CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA														
SICLICA - Sistema de Información Climatológica e Hidrológica														
VALORES MEDIOS MENSUALES DE HUMEDAD RELATIVA (%)														
ESTACIÓN : 2401531 SAN MIGUEL DE SEMA														
Latitud	5° 31' 13,3" N	X=N=1102210	Departamento	BOYACA	Corriente	R. FUNZA	Categoría							CP
Longitud	73° 43' 14,7" W	Y=E=1039530	Municipio	SAN MIGUEL DE SE	Cuenca	LAG. FÚQUENE	Fecha Instalación							04/01/1961
Elevación	2636 m.s.n.m		Oficina Provincial	5 CHIQUINQUIRÁ							Fecha Suspensión			
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE		
1950													76	
1991	61	65	72	70	71	64	64	65	66	63	74	70	70	
1993	65	67	72	74	73	67	70	69	70	72	77	72	72	
1994	73	72	76	74	71	63	67	65	60	70	72	67	67	
1995	62	64	71	74	70	73	69	75	65	70	75	74	74	
1996	72	74	77	74	76	75	70	66	66	74	72	71	71	
1997	80	73	74	81	71	74	69	65	64	65	69	61	61	
1998	57	63	67	70	70	64	64	66	65	67	66	70	70	
1999		84	82	79	82	85	81	84	87	87	88	86	86	
2000	83	85	84	84	84	81	79	77	80	79				
2001					81	83	78	68	71	75	78	80	80	
2002	73	73	77	81	78	77	73	74	74	75	78	75	75	
2003	67	66	74	79	75	73								
2005	67	76	79	88			86							
2006	72	62	64	63	73	66	64	61	65	67	62	74	74	
2007	74	69	77	78			76	75	64	74	73	73	73	
2008	71	69	71	74	71	70	68	69	67	72	77	72	72	
2009	69	65	71	68	63	63	60	63	52	66	67	62	62	
2010	54	59	60	70	70	68	69	64	69	69	75	74	74	
2011	68	70	75	78	76	73	68	60	61	73	75	68	68	
2012	71	77		86	82	78	77	79	75	79	80	80	80	
2013	76							84	88					
2014	81	79	81	81	82	80	76	77	76	82	76	80	80	
2015	73	74	73	73	75	69	76	75	72	75	81	75	75	
2016	73		77	84	85	79		75	79	82	86	83	83	
2017	82	78	86	82	85	85	82	79	78	82	85	81	81	
2018	80	80	81	86	85	82	80	76	77	85	84	76	76	
2019	78	78												
Promedio	2013-2019	78	78	80	81	82	79	79	78	78	81	82	79	

Nombre de la fuente: IDEAM (2020).

**Tabla A-5:** Valores totales mensuales de brillo solar.

<b>C A R - CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA</b>													
SICLICA - Sistema de Información Climatológica e Hidrológica													
<b>VALORES TOTALES MENSUALES DE BRILLO SOLAR (Horas)</b>													
ESTACIÓN : 2401531 SAN MIGUEL DE SEMA													
Latitud	05° 31' 13.4 " N	X=N=1102210	Departamento			BOYACA	Corriente		R. TINJACA	Categoría		CP	
Longitud	73° 43' 14.7" W	Y=E=1039530	Municipio			SAN MIGUEL DE SE	Cuenca		LAG. FÚQUENE	Fecha Instalación		04/01/1961	
Elevación	2636 m.s.n.m		Oficina Provincial			5 CHIQUINQUIRÁ				Fecha Suspensión			
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	
1991	266,2	192,2	164,5	147,8	144,1	177,4	178,8	177,7	158,9	195,7	129	191,7	
1992								175,2	189,2	178,9	161	210,3	
1993	191,9	220,9	165,2	164,9	154,8	155	194,2	173	166,8	166,7	150,9	213,6	
1994	223,6	164,3	157,3	148,7	153,3	200,4	211,4	182	193,1	191,5	172	219,6	
1995	253,5	156,1	160,4	128,8	155,4	137,9	166,8	137,4	178,5	152,5	195,5	183,4	
1996	215,5	150	141,3	175	155	143,2	176	184,1	169,7	158,7	172,2	198	
1997	176,5	188,4	202,1	157,1	154,9	178,1	172,7	184,8	176,4	195,7	172,2	259	
1998	243,7	185,9	176,6	140,4	125,3	159,6	165,7	166,2	161,3	169	171,6	155	
1999	182	107	168,9	144,8	181,3	140	49,6	154,4	125,6	148,7	125,1	121,8	
2000	141,9	141,2	118,3	114,4	78,5	118,3	114,4	143,2	81,2	116,7	138,6	147,5	
2001	219,5	185,3	125,6	115	113,5	121,3	127,7	159,3	166,1	173,5	154,8	165,9	
2002	211,5	204,6	175,2	115,5	121,9	114,9		151,9	168,3	151,8	108,4	205	
2003	275,2	200,3	192,1	108,9	160,8								
2004	213,6	217,9	210	137,7	107,5	211,5	170,1	203,2	142,8	145,1	162,6	103,3	
2005		203,5	215,6	141,6	118,2	121,8	161,4	134,6	150,5	167,2	161,2	177,6	
2006	206,8	206,5	115	125,3	111,7	106,2	139,2	146,7	156,1	147,6	139,6	164,1	
2007	209,9	231,6	136,3	151,7	153,3	159,8	195,7	145,8	158,9	134,3	179,7	149,2	
2008	204,2	186,7	184,3	126,5	137,7	117,1	157,4	152,4	153,4	171,4	125,4	188,8	
2009	184,7	167	155,6	151,6	168,8	151,3	186,7	182,6	203,6	176,9	191,9	231,5	
2010	277	197,1	90,5	112,1	138,6	150,7	124,7	148,1	129	153,8	100,7	142,4	
2011	221,4	147,4	115,4	111,5	124,8	134,4	155	178,5	153,7	102,5	123,9	164,7	
2012	212,9	211,5	138,2	108,2	130,5	158	149,3	137,5	147,7	156	179,5	179,9	
2013	248,4	173,9	153,3	159,2	135,5	171	183,9	185,9	168,6	203,3	151,2	170,3	
2014	211,2	182,8	193,8	164,1	143,3	141	207,1	185,7	161,9	125,2	163	179,8	
2015	213	193,3	191,2	156,6	191,6	162,7	175,4	172,8	177,1	151,4	33,9		
2016			211,2	103,3	122,5	122,2	153	198,4	147,8	162	125,5	145,1	
2017	173,4	196,4	111,4	138,3	134,2	126,1	157,3	183,2	155,9	154,2	148,5	200,3	
2018	191,9	155,6	169,6	101,7	103,9	60,3	156,4	192,3	155,6	151,1	143,4	232,1	
2019	172,5												
2013-2019													
Promedio (horas/mes)	201,7	180,4	171,8	137,2	138,5	130,6	172,2	186,4	161,2	157,9	127,6	185,5	
Promedio (horas/día)	6,5	6,4	5,5	4,6	4,5	4,4	5,6	6,0	5,4	5,1	4,3	6,0	

Nombre de la fuente: IDEAM (2020).

**Tabla A-6: Valores totales mensuales de precipitación.**

C A R - CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA													
SICLICA - Sistema de Información Climatológica e Hidrológica													
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mm)													
ESTACIÓN : 2401531 SAN MIGUEL DE SEMA													
Latitud	5° 31' 13,3" N	X=N=1102210	Departamento	BOYACA	Corriente	R. FUNZA	Categoría	CP					
Longitud	73° 43' 14,7" W	Y=E=1039530	Municipio	SAN MIGUEL DE SE	Cuenca	LAG. FÚQUENE	Fecha Instalación	04/01/1961					
Elevación	2636 m.s.n.m		Oficina Provincial	5 CHIQUINQUIRÁ			Fecha Suspensión						
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	
1961				81	15,5	39	31	9	32,5	192,5	194,5	65,5	
1962	77	76,5	135	144,5	138	109,5	19	68,5	34	210	245	75,5	
1963	48	75	294,5	230,5	133,5	85	48,5	58	8	171,5	265,6	46	
1964	40	101,5	62,5	277,5	203	201	76,5	98,5	110	183	226	93	
1965	54,5	85	57,5	253,5	162,5	12,5	13,5	34	34,5	131	228,5	75,5	
1966	7	7	96	103,5	260	156	27,5	83	140	163,5	261,5	120,5	
1967	47	177	72	174,5	74	65,5	36	30	84	138,5	130	89,5	
1968	40	81,5	113	306	133	142	6,5	9,5	134	214,5	117,5	31,5	
1969	47,5	111,5	78,5	231,5	104	62	22	9	118	194	116,5	175,5	
1970	62	90	55,5	152	146	60,5	60,5	20,5	82	249,5	208	139,5	
1971	225,5	220	239,5	446,5	209,5	83,5	19	74,5	69	261,5	226	109	
1972	123	84	126,5	342	192	95,5	33,5	88	70	235,5	151,5	81,5	
1973	3,5	5	188	136,5	74,7	157	149,5	97	314	265	252	237	
1974	32	151	161,5	272,5	157	85	18	38,5	152,5	228	278,5	69	
1975	10	136,5	157,5	266,5	212,5	95	153	75,5	106	214,5	278,5	209	
1976	34,5	73	248,5	261,5	161	65	0	24	53,5	444,5	143	80,5	
1977	48,5	20	99,5	120,5	101	78	49	22,5	176	229	251	110	
1978	20,5	108,5	173	321	138,5	18	81	59,5	108,5	193,9	73	98	
1979	62	63,5	202	317,5	203	126	74	107	83,5	232,5	226,5	92	
1980	28	102	65,5	131,5	98,5	115,5	0	46	99,5	145	141	123,5	
1982			127	222	180,5	31	38	17	70,5	292,5	166,5	156,5	
1983	23	27	241	304,5	147	48,5	18,5	19,6	18,5	148	190,5	137	
1984	161,5	167	191	103	165	88	89,5	100,5	136	216	186,2	88,4	
1985	30,3	1,1	70	143,1	123,1	21,4	27,1	71,2	126,1	215,3	28	52,7	
1986	72,7	58,7	63	180,4	87,3	76,5	20,3	42,9	86,5	221,2	97,1	10,4	
1987	49,2	19,2	163,2	115,2	171,2	27,2	41	65,4	129,2	310,7	137,1	23,8	
1988	44,8	92,3	48,2	172,8	69,5	132,5	57,4	96,1	152,2	272,8	290,8	130,4	
1989	31,5	42,5	34,8	57,2	38,1	47,3	50,3	25,2	56	50	30,6	55,6	
1990	85,3	87,1	157,5	247,1	60	16,7	47,1	19,5	39,4	338,9	157	154,9	
1991	69,8	55,5	215,2	158,2	242,4	38,9	61,4	20,3	61,2	74	219,2	59,5	
1992	32,5	79,2	92,1	164,4	72,5	16,3	18,1	20	149,4	29,1	129,2	187,4	
1993	78,4	111,7	203,2	131,1	311,4	14,9	36	14,8	29	75,4	290,4	88,7	
1994	78,9	89,5	177,2	264,9	152,3	64,7	43	43,5	83,9	214,2	258,3	9	
1995	0,4	86,7	269,4	142,4	76	65,2	48,9	183,4	86,3	193,9	202,6	150,2	
1996	60,4	83,5	170,3	142,6	130,7	75,7	68,8	59,3	52	244,9	150,2	135,6	
1997	166,7	44,4	110,3	193,7	95,9	46,8	4,9	5,4	51,4	68,9	169,4	4,9	
1998	28,2	64,2	29,1	28,4	159,3	11,8	22	85,5	46,4	131,5			
1999	106,6	246,4	169,1	149,9	130,3	93,9	31,4	53,7	241,4	202,1	151,7	158,3	
2000	74,1	112,4	81,6	153,2	91,3	72,8	59,8	24,7	148,2	180	93	35	
2001	77	44	160	59	115	27	22	14	133	148	212,2	168,5	
2002	0	115	243	355	79,4	35,5	20,8	41,8	59,5	61,8	55,3	50,4	
2003	9,9	41,3	33,7	74,4	57,3								
2006	137	60	273	260	204	84	19	15	41	281	215	177	
2007	109	60	162	177,5	92,7	47	81	111	6,6	315	133	140,7	
2008	101	87	99,8	166	249	39	62,9	136	69,3	182	245,1	114	
2009											122	46,7	
2010	24	55	49,5	177,2	173,8	43,8	193	71,9	160	198,5	281,8	118,2	
2011	96,9	104,8	206,4	378,8	166,8	43,5	55,1	92,1	79,8	361,7	234,6	208,3	
2012	148,7	133,3	122,1	322,7	53,1	26,9	32,5	72,7	40,7	135,8	164,5	79,6	
2013	18,2	169,8	155,2	182	111,3	18,8	11,6	25,6	67,1	229,2	259,8	53,3	
2014	76,1	102,9	144,6	153,9	137,1	14,2	11	36,1	25,5	118,1	187,2	117,1	
2015	109,4	69,4	155,4	128,3	21	9,2	31,8	6,9	36,2	81,1	102,1	0	
2016	35,8	34,4	173,2	172,3	134,5	7,5	45,2	9,1	52,8	140,1	103,4	221,6	
2017	86,5	75	399,4	186,5	184,5	203	13,7	32,3	21,7	159,1	244,9	105,6	
2018	102,3	93,2	158,6	226,1	157,6	55,4	48,4	16,2	53,5	296,4	219,1	66,9	
2019	17	108,4	281,9										
Promedio	2013-2019	63,6	93,3	209,8	174,7	124,3	51,4	27,0	21,0	42,8	170,7	186,1	94,1

Nombre de la fuente: IDEAM (2020).

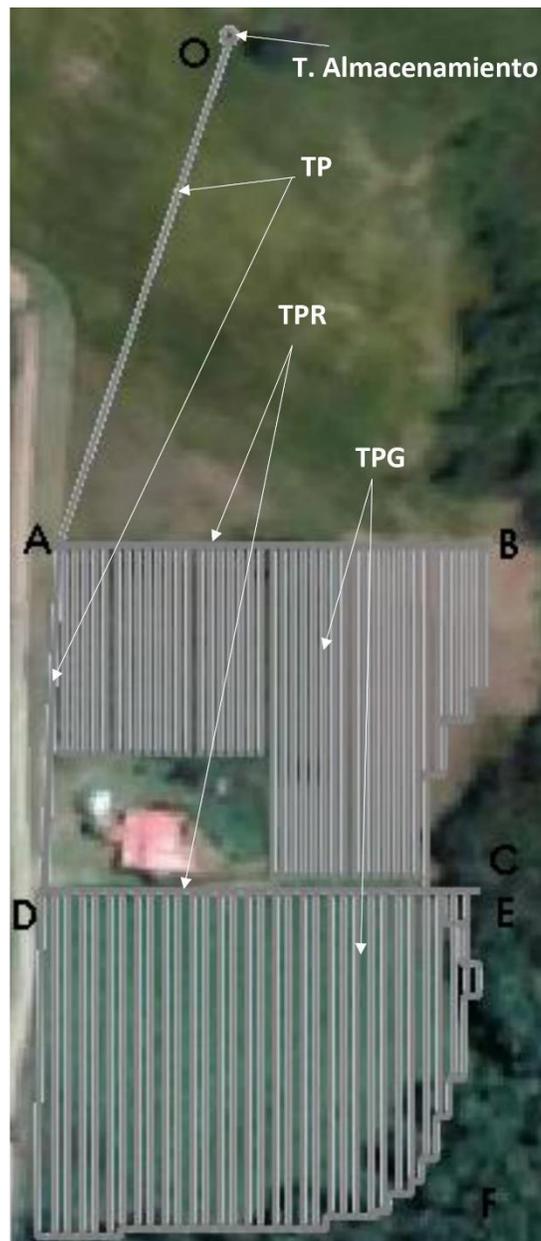
El archivo obtenido de CROPWAT se muestra en el CD adjunto a este documento, en una carpeta con el nombre calculo finca la Esperanza.

**Figura A-1:** Croquis del cultivo de mora.



Nombre de la fuente: Propia.

**Figura A-2:** Ubicación de tuberías en el sistema hidráulico 1.



Nombre de la fuente: Propia.

**Tabla A-7:** Desniveles y distancias por tramos.

TRAMO O PUNTO INFERIORS SUPERIORES	DESNIVELES (cm)						
	TRAMO A - B	TRAMO C - C	TRAMO E - F	SUPERALCANTARILLAS DE CANTONERA - PUNTO 2	TRAMO A - PUNTO INFERIORS SUPERIORES	TRAMO PUNTO INFERIORS SUPERIORES - A	
15	18	2	20	10	15	5	
30	15	4	19	34	17	15	
28	13	5	13	28	32	14	
22	14,5	3	11	27	10	17	
20	25,5	10	15	20	12	23	
18	16,5	2	7	18	19	12	
14	17,5	4	0	23,5	18	11,5	
23	19	5	-21	21,1	21	9	
25	20	2	0	18	15	5	
10	21,5	7	0	23,5	21	10	
19	20	8	13	21	20	5	
14	16,5	5	0	18	5	5,5	
13	13,5	4	0	22	8	5	
12	6,5	0	0	16	42	10	
17	9	0	4	20		9	
8	12,5	0	25	14		5	
17	6,5	3	20	20			
14	8,5	4	-18	16,5			
14,5	1,5	0	-	23			
15	14	5	18	18			
13	5	8	10,5	16,5			
7,5	1	5	7	17,5			
10,5	9	0	10	14			
5	12	3	8	23			
11	13	2	14	20,5			
21	9	5	14	14,5			
10	8	6	18	18			
24	15	3	13	14			
18,5	1	2	12	17			
16,5	1	4	15	12			
16,5	19	0	18,5	1			
20	34	0	14	9			
14	37	0	15,5	8			
6,5	39	0	38				
15	34	0	38				
13,5	43	0	29				
20	67	0					
17	56	0					
15,5	53	0					
18,5	51	0					
17		0					
23,5		0					
9		0					
54		0					
<b>SUMA TOTAL</b>	<b>743,5</b>	<b>778</b>	<b>107</b>	<b>400,5</b>	<b>786,5</b>	<b>253</b>	<b>161</b>

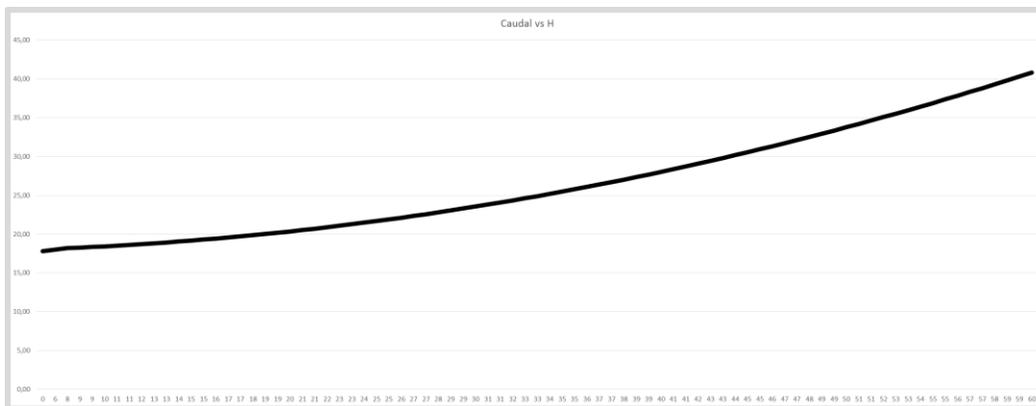
TRAMO O PUNTO INFERIORS SUPERIORES	DISTANCIAS (m)					
	TRAMO A - B	TRAMO C - C	TRAMO E - F	TRAMO E - F	TRAMO A - PUNTO INFERIORS SUPERIORES	TRAMO PUNTO INFERIORS SUPERIORES - A
88	82	59	80	81,4	30	32

Nombre de la fuente: Propia,

## B. Anexo: Curva del sistema de bombeo

En este anexo se muestra la tabla y la curva característica del sistema de bombeo, encontrada empleando la ecuación (4.10) (ver diagrama B-1 y tabla B-1).

**Diagrama B-1:** Curva característica del sistema de bombeo.



Nombre de la fuente: Propia.

**Tabla B-1:** Tabulación para encontrar curva característica del sistema.

Q(m3/s)	Q (L/min)	H (m.c.a)
0,000000	0	17,78
0,000002	0	17,78
0,000007	0	17,78
0,000012	1	17,79
0,000017	1	17,79
0,000022	1	17,79
0,000027	2	17,80

Nombre de la fuente: Propia.

**Tabla B-1:** (Continuación).

Q(m <sup>3</sup> /s)	Q (L/min)	H (m.c.a)
0,000032	2	17,81
0,000037	2	17,81
0,000042	2	17,82
0,000047	3	17,83
0,000052	3	17,84
0,000057	3	17,86
0,000062	4	17,87
0,000067	4	17,88
0,000072	4	17,90
0,000077	5	17,92
0,000082	5	17,94
0,000087	5	17,95
0,000092	5	17,98
0,000097	6	18,00
0,000102	6	18,02
0,000107	6	18,04
0,000112	7	18,07
0,000117	7	18,10
0,000122	7	18,12
0,000127	8	18,15
0,000132	8	18,18
0,000137	8	18,21
0,000142	8	18,24
0,000147	9	18,28
0,000152	9	18,31
0,000157	9	18,35
0,000162	10	18,38
0,000167	10	18,42
0,000172	10	18,46
0,000177	11	18,50
0,000182	11	18,54
0,000187	11	18,58
0,000192	11	18,63
0,000197	12	18,67
0,000202	12	18,72

Nombre de la fuente: Propia.

**Tabla B-1:** (Continuación).

Q(m <sup>3</sup> /s)	Q (L/min)	H (m.c.a)
0,000222	13	18,91
0,000227	14	18,96
0,000232	14	19,02
0,000237	14	19,07
0,000242	14	19,13
0,000247	15	19,18
0,000252	15	19,24
0,000257	15	19,30
0,000262	16	19,36
0,000267	16	19,42
0,000272	16	19,48
0,000277	17	19,54
0,000282	17	19,61
0,000287	17	19,67
0,000292	17	19,74
0,000297	18	19,81
0,000302	18	19,88
0,000307	18	19,95
0,000312	19	20,02
0,000317	19	20,09
0,000322	19	20,16
0,000327	20	20,24
0,000332	20	20,31
0,000337	20	20,39
0,000342	20	20,47
0,000347	21	20,55
0,000352	21	20,63
0,000357	21	20,71
0,000362	22	20,79
0,000367	22	20,87
0,000372	22	20,96
0,000377	23	21,05
0,000382	23	21,13
0,000387	23	21,22
0,000392	23	21,31

Nombre de la fuente: Propia.

**Tabla B-1:** (Continuación).

Q(m3/s)	Q (L/min)	H (m.c.a)
0,000407	24	21,59
0,000412	25	21,68
0,000417	25	21,78
0,000422	25	21,87
0,000427	26	21,97
0,000432	26	22,07
0,000437	26	22,17
0,000442	26	22,27
0,000447	27	22,37
0,000452	27	22,47
0,000457	27	22,58
0,000462	28	22,68
0,000467	28	22,79
0,000472	28	22,90
0,000477	29	23,01
0,000482	29	23,12
0,000487	29	23,23
0,000492	29	23,34
0,000497	30	23,46
0,000502	30	23,57
0,000507	30	23,69
0,000512	31	23,80
0,000517	31	23,92
0,000522	31	24,04
0,000527	32	24,16
0,000532	32	24,28
0,000537	32	24,41
0,000542	32	24,53
0,000547	33	24,66
0,000552	33	24,78
0,000557	33	24,91
0,000562	34	25,04
0,000567	34	25,17
0,000572	34	25,30
0,000577	35	25,43
0,000582	35	25,56

Nombre de la fuente: Propia.

**Tabla B-1:** (Continuación).

<b>Q(m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Q (L/min)</b>	<b>H (m)</b>
0,000587	35	25,70
0,000592	35	25,83
0,000597	36	25,97
0,000602	36	26,11
0,000607	36	26,25

Nombre de la fuente: Propia.

## C. Anexo: Curva de espectro de aceleración de diseño como fracción de la gravedad

En Colombia actualmente la norma que rige las construcciones sismo resistentes es la NSR 10, para tener en cuenta los movimiento causados por los sismos se utiliza el software solidworks, realizando un estudio de frecuencia, para ello se debe conocer la curva de aceleración espectral elástica de diseño como fracción de la gravedad, a la cual será sometida la estructura, dicha curva corresponde a un movimiento sísmico que produce una aceleración sísmica de diseño.

Lo primero que se debe conocer es el perfil del suelo (desde A que es un suelo rocoso, hasta F suelo con las peores condiciones), el cual se caracteriza mediante un estudio geotécnico, sin embargo **la norma permite escoger un perfil de suelo D** cuando este se desconoce (seleccionado en este caso), el cual se representa en la tabla A.2.4-1 de la NSR 10, las variables  $\bar{V}_s$ ,  $\bar{N}$  y  $\bar{S}_u$ , se definen al final de este anexo.

**Tabla C-1:** Clasificación de perfil del suelo D, extraído de la tabla A.2.4-1 de la NSR 10.

Tabla A.2.4-1  
Clasificación de los perfiles de suelo

Tipo de perfil	Descripción	Definición
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > \bar{V}_s \geq 180 \text{ m/s}$
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > \bar{N} \geq 15$ , o $100 \text{ kPa} (=1 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{S}_u \geq 50 \text{ kPa} (=0.5 \text{ kgf/cm}^2)$

Nombre de la fuente: NSR 10 titulo A (2012).

Según la sección A.2.2 de la norma de sismo resistencia, se tiene que "los movimiento sísmicos de diseño se definen en función  $A_a$  y  $A_v$ " (ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA, 2012); por lo que es indispensable conocer dichos parámetros, los cuales están tabulados en el apéndice A-4 de la norma empleada, se utilizan los parámetros para el municipio de Chiquinquirá del departamento de Boyacá.

Conociendo el perfil del suelo y los valores de los parámetros  $A_a$  y  $A_v$ , se procede a encontrar por medio de las tablas A.2.4-3 y A.2.4-4 los valores de la amplificación que afecta la aceleración para periodos cortos ( $F_a$ ) e intermedios ( $F_v$ ), respectivamente.

El coeficiente de importancia de las estructuras según la NSR 10 se encuentra en la sección A2.5.2 y se clasifican en los grupos de uso IV, III, II y I; la estructura de soporte a diseñar, se ubica en el grupo I, con un coeficiente de importancia  $I$  de 1.0.

$$A_a = 0.15$$

$$A_v = 0.20$$

$$F_a = 1.5 \text{ (Interpolando)}$$

$$F_v = 2.0$$

**Figura C-1:** Espectro elástico de aceleración de diseño  $S_a$ , extraída de la NSR 10.

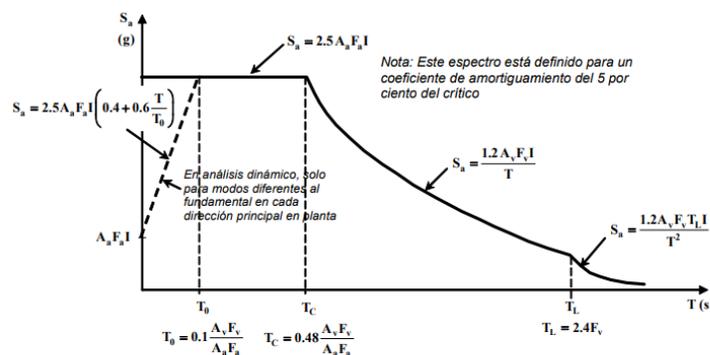


Figura A.2.6-1 — Espectro Elástico de Aceleraciones de Diseño como fracción de g

Nombre de la fuente: NSR 10 título A (2012).

En la figura C-1,  $T$  corresponde a un valor de periodo, por lo que  $T_c$  será el valor límite para periodos cortos, y  $T_L$  el valor límite para periodos intermedios, tal como se representa en la figura A.2.6-1 de la NSR 10, con todos los parámetros bien definidos se procede con cálculo de las diferentes secciones de la gráfica para este caso específico.

Luego de realizar la curva de desplazamientos, la norma la suaviza según la capacidad de disipación de energía de la estructura, dependiendo del factor  $R$  (el valor de  $R$  se encuentra en la tabla A.3-3 de la NSR 10) el cual se halla multiplicando los coeficiente de reducción de adsorción de energía por irregularidades por altura ( $\phi_a$ ), por planta ( $\phi_p$ ) y por ausencia de resonancia ( $\phi_r$ ), con el coeficiente de capacidad de disipación de energía básico  $R_0$ , que se encuentra en la tabla A.3-3 de la NSR 10.

Con el valor de  $R$  se realiza la curva espectral de diseño (está es una curva del espectro de aceleración elástica como fracción de la gravedad modificada) haciendo uso de Microsoft Excel, partiendo de la curva espectral de desplazamientos y luego se introducen los valores de la gráfica en el módulo simulation de solidworks. Para llegar a la curva del espectro elástico de aceleraciones como fracción de la gravedad es necesario encontrar la tabla y la curva inicial de desplazamiento, y después multiplicar cada factor de  $S_a$  por el coeficiente de capacidad de disipación de energía. En la tabla C-2 se muestran los valores extraídos de la NSR 10 título A, para este caso.

**Tabla C-2:** Datos para calcular  $S_a$ , extraídos de la NSR 10 título A.

Municipio	CHIQUINQUIRA
Zona de riesgo sísmico	INTERMEDIO
Coficiente de importancia de la estructura	1
Coficiente aceleración horizontal efectiva $A_a$	0,15
Coficiente Velocidad horizontal efectiva $A_v$	0,2
Coficiente amplificación periodos cortos $F_a$	1,5
Coficiente amplificación periodos intermedios $F_v$	2
Tipo de suelo	D

Nombre de la fuente: Propia.

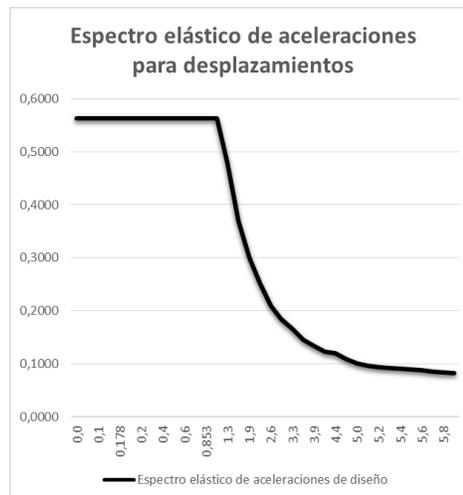
La tabla C-3 y el diagrama C-1 muestra la curva obtenida para  $S_a$ .

**Tabla C-3:** Valores obtenidos para  $S_a$ .

Espectro para desplazamientos	
T(s)	Sa(m/s <sup>2</sup> )
0,0	0,5625
0,1	0,5625
0,1	0,5625
0,2	0,5625
0,178	0,5625
0,2	0,5625
0,2	0,5625
0,3	0,5625
0,4	0,5625
0,5	0,5625
0,6	0,5625
0,7	0,5625
0,853	0,5625
1,0	0,5625
1,3	0,4800
1,6	0,3692
1,9	0,3000
2,3	0,2526
2,6	0,2087
2,9	0,1846
3,3	0,1655
3,6	0,1455
3,9	0,1333
4,0	0,1231
4,4	0,1200
4,800	0,1091
5,0	0,1000
5,1	0,0960
5,2	0,0941
5,3	0,0923
5,4	0,0906
5,5	0,0889
5,6	0,0873
5,7	0,0857
5,8	0,0842
8,0	0,0828

Nombre de la fuente: Propia.

**Diagrama C-1:** Curva inicial obtenida para  $S_a$ .



Nombre de la fuente: Propia.

Ahora se procede a encontrar la curva modificada de la siguiente manera; debido a que la estructura corresponde a un grupo de uso I y está en una zona sísmica de riesgo intermedia las reducciones del coeficiente de disipación de energía por irregularidad estructural se pueden limitar a irregularidad de planta y de altura, por lo que no se tiene en cuenta la ausencia de redundancia  $\phi_r$ . Los valores para encontrar en coeficiente de capacidad de disipación de energía se muestran en la tabla C-4.

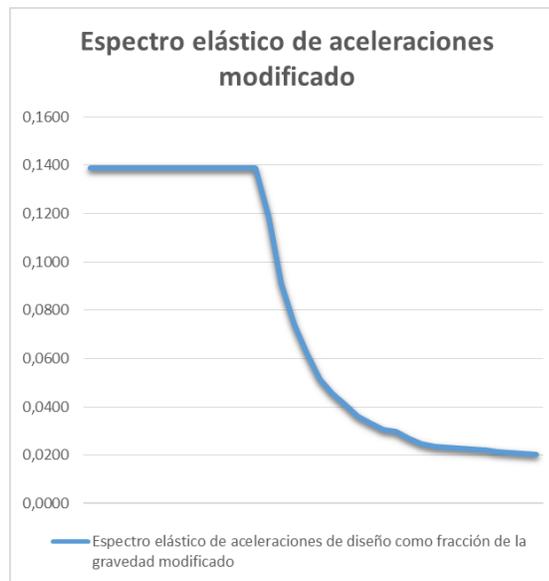
**Tabla C-4:** Datos para calcular  $S_a$  modificado, extraídos de la NSR 10 título A.

Sistema estructural	Pórtico acero
Capacidad de disipar energía	Moderada
Irregularidad en planta $\phi_p$	0,9
Irregularidad en altura $\phi_a$	0,9
Valor de $R()$	5
Coefficiente de capacidad de disipación de energía $R$	4,05

Nombre de la fuente: Propia.

La tabla C-5 y el diagrama C-2 muestra la curva obtenida para  $S_a$ .

**Diagrama C-2:** Curva modificada obtenida para  $S_a$ .



Nombre de la fuente: Propia.

**Tabla C-5:** Valores obtenidos para  $S_a$  modificado.

Espectro para desplazamientos (es una curva suave)	
T(s)	Sa(m/s <sup>2</sup> ) / R
0,0	0,1389
0,1	0,1389
0,1	0,1389
0,2	0,1389
0,178	0,1389
0,2	0,1389
0,2	0,1389
0,3	0,1389
0,4	0,1389
0,5	0,1389
0,6	0,1389
0,7	0,1389
0,853	0,1389
1,0	0,1389
1,3	0,1185
1,6	0,0912
1,9	0,0741
2,3	0,0624
2,6	0,0515
2,9	0,0456
3,3	0,0409
3,6	0,0359
3,9	0,0329
4,0	0,0304
4,4	0,0296
4,800	0,0269
5,0	0,0247
5,1	0,0237
5,2	0,0232
5,3	0,0228
5,4	0,0224
5,5	0,0219
5,6	0,0215
5,7	0,0212
5,8	0,0208
5,9	0,0204

Nombre de la fuente: Propia.

La curva modifica es la que se ingresa a solidworks tal y como se explica en la simulación sísmica. Todos los valores mostrados en las tablas C-4 y C-2 fueron extraídos de la NSR 10 título A del 2012.

Según la norma NSR 10 se define que:

$A_a$ : Coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva, para diseño.

$A_v$ : Coeficiente que representa la velocidad horizontal pico efectiva, para diseño.

$F_a$ : Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en periodos cortos, debida a los efectos de sitio.

$F_v$ : Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en periodos intermedios, debida a los efectos de sitio.

Las cuatro variables anteriores son adimensionales.

$\bar{V}_s$ : Velocidad media de la onda cortante (m/s).

$\bar{N}$ : Numero medio de golpes del ensayo a penetración estándar (adimensional).

$\bar{S}_u$ : Resistencia al corte no drenada (KPa).

$\phi_a$ : Coeficiente de reducción de la capacidad de disipación de energía causada por irregularidades en altura.

$\phi_a$ : Coeficiente de reducción de la capacidad de disipación de energía causada por irregularidades en altura.

$\phi_p$ : Coeficiente de reducción de la capacidad de disipación de energía causada por irregularidades en planta.

$\phi_r$ : Coeficiente de reducción de la capacidad de disipación de energía causada por ausencia de redundancia.

$R_0$ : Coeficiente de capacidad de disipación de energía basico definido para cada sistema estructural y grado de disipación de energía del material empleado.

$R$ : Coeficiente de capacidad de disipación de energía para ser empleado en el diseño.

$$R = R_0 * \phi_a * \phi_p * \phi_r$$

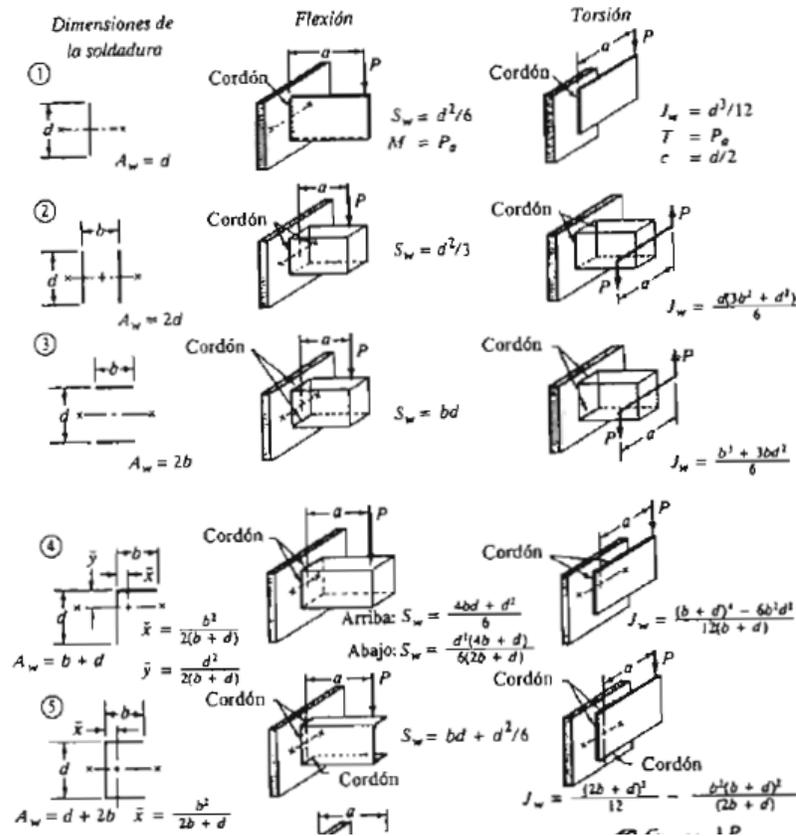
## **D. Anexo: Simulación en solidworks**

La simulación de solidworks se presenta en el CD adjunto a este documento con los valores obtenidos acerca de la simulación estática y de la simulación sísmica o dinámica lineal; el CD tiene una carpeta nombrada simulación de estructura de soporte para el tanque elevado.

## E. Anexo: herramientas para diseño de soldadura y tabla de selección de perno

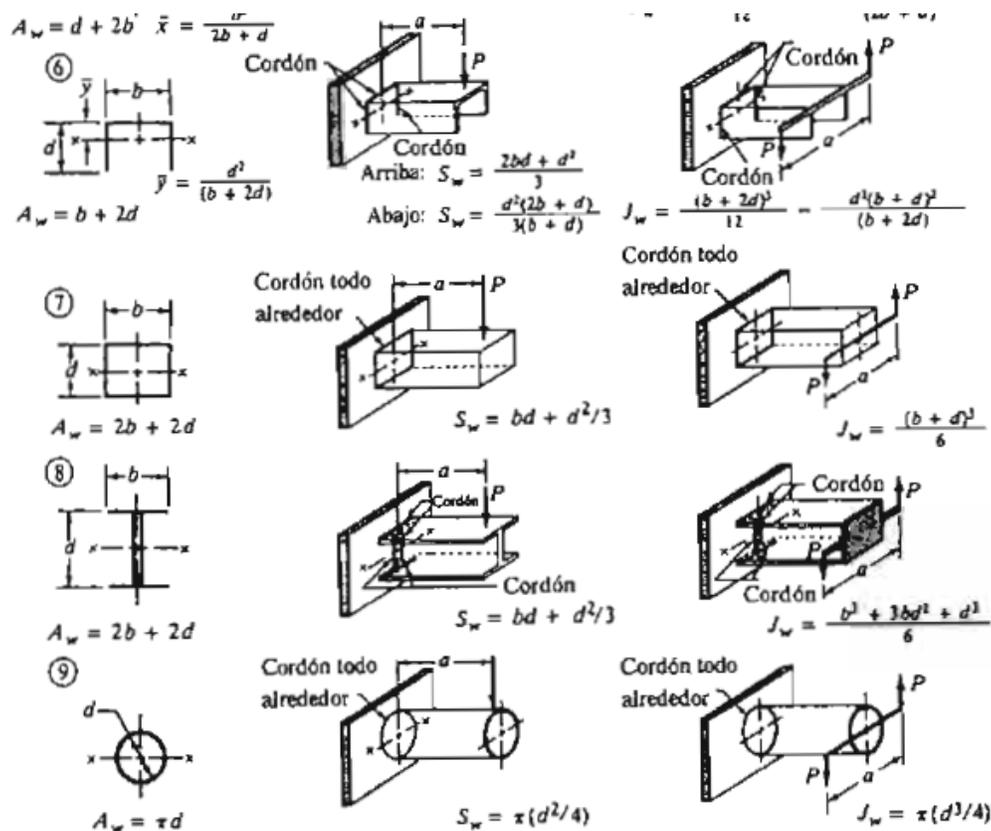
Las figuras presentadas en esta sección se emplean para el diseño de las uniones soldadas del proyecto, y son extraídas del libro de diseño de elementos de máquinas de Mott.

Figura E-1: Factores geométricos para el análisis de soldaduras, casos del 1 al 5.



Nombre de la fuente: Mott (2006).

**Figura E-2:** Factores geométricos para el análisis de soldaduras, casos del 6 al 9.



Nombre de la fuente: Mott (2006).

**Figura E-3:** Esfuerzos cortantes y fuerzas sobre soldaduras.

**TABLA 20-3** Esfuerzos cortantes y fuerzas sobre soldaduras

Grado ASTM del metal base	Electrodo	Esfuerzo cortante admisible	Fuerza admisible por pulgada de lado
Estructuras de edificios:			
A36, A441	E60	13 600 psi	9600 lb/pulg
A36, A441	E70	15 800 psi	11 200 lb/pulg
Estructuras de puentes			
A36	E60	12 400 psi	8800 lb/pulg
A441, A242	E70	14 700 psi	10 400 lb/pulg

Nombre de la fuente: Mott (2006).

**Figura E-4:** Dimensiones de roscar métricas.**Tabla 8.2** Dimensiones de roscas métricas ISO, series de pasos bastos y finos

Diámetro mayor (nominal) $d$ (mm)	ROSCA BASTA			ROSCA FINA		
	Paso $p$ (mm)	Diámetro menor $d_r$ (mm)	Área de esfuerzo a tracción $A_t$ (mm <sup>2</sup> )	Paso $p$ (mm)	Diámetro menor $d_r$ (mm)	Área de esfuerzo a tracción $A_t$ (mm <sup>2</sup> )
3.0	0.50	2.39	5.03			
3.5	0.60	2.76	6.78			
4.0	0.70	3.14	8.78			
5.0	0.80	4.02	14.18			
6.0	1.00	4.77	20.12			
7.0	1.00	5.77	28.86			
8.0	1.25	6.47	36.61	1.00	6.77	39.17
10.0	1.50	8.16	57.99	1.25	8.47	61.20
12.0	1.75	9.85	84.27	1.25	10.47	92.07
14.0	2.00	11.55	115.4	1.50	12.16	124.55
16.0	2.00	13.55	156.7	1.50	14.16	167.25
18.0	2.50	14.93	192.5	1.50	16.16	216.23
20.0	2.50	16.93	244.8	1.50	18.16	271.50
22.0	2.50	18.93	303.4	1.50	20.16	333.50
24.0	3.00	20.32	352.5	2.00	21.55	384.42
27.0	3.00	23.32	459.4	2.00	24.55	495.74
30.0	3.50	25.71	560.6	2.00	27.55	621.20
33.0	3.50	28.71	693.6	2.00	30.55	760.80
36.0	4.00	31.09	816.7	3.00	32.32	864.94
39.0	4.00	34.09	975.8	3.00	35.32	1028.4

Nombre de la fuente: Vanegas Useche (2018).

## F. Anexo: Catálogos

Los catálogos de los siguientes accesorios se muestran en una carpeta nombrada Catálogos guardada en el CD adjunto a este documento: gotero, mangueras, electrobomba, soldaduras de west arco y cemento escogido para las zapatas.

Otros accesorios se encontraron en páginas web, a continuación se nombre el accesorio con su respectivo enlace.

El tanque de almacenamiento de agua se encuentra en [https://www.coval.com.co/pdfs/manuales/man\\_colempaques\\_tanques\\_plasticos.pdf](https://www.coval.com.co/pdfs/manuales/man_colempaques_tanques_plasticos.pdf)

Los filtros de discos de color rojo se encuentran en [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-563052485-filtro-discos-anillos-2-tipo-t-riego-\\_JM?quantity=1#position=18&type=item&tracking\\_id=0d67bd59-4740-411d-9ae0-e450c18426df](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-563052485-filtro-discos-anillos-2-tipo-t-riego-_JM?quantity=1#position=18&type=item&tracking_id=0d67bd59-4740-411d-9ae0-e450c18426df)

Perfiles estructurales se encuentran en <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/category/cat1690130/tubos-y-perfiles-metalicos/?currentpage=4>

Temporizador programable se encuentran en [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-550673405-temporizador-programable-digital-timer-reloj-1650w-\\_JM?matt\\_tool=78642795&matt\\_word&gclid=EAAlQobChMItKWJyvyO6gIVWwilCR3CaAewEAQYByABEgKdEPD\\_BwE&quantity=1](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-550673405-temporizador-programable-digital-timer-reloj-1650w-_JM?matt_tool=78642795&matt_word&gclid=EAAlQobChMItKWJyvyO6gIVWwilCR3CaAewEAQYByABEgKdEPD_BwE&quantity=1).

Electroválvula se encuentran en [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-562526046-valvula-solenoid-1-pulgada-110v-electrovalvula-\\_JM?quantity=1#position=12&type=item&tracking\\_id=687ffb60-e2e0-419f-9cd3-15ad3523972c](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-562526046-valvula-solenoid-1-pulgada-110v-electrovalvula-_JM?quantity=1#position=12&type=item&tracking_id=687ffb60-e2e0-419f-9cd3-15ad3523972c)

Flotadores eléctricos se encuentran en [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-451980380-flotador-control-nivel-liquidos-electrico-bomba-\\_JM?quantity=1#position=5&type=item&tracking\\_id=276ad2d7-9d96-48fc-a211-d592a9435523](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-451980380-flotador-control-nivel-liquidos-electrico-bomba-_JM?quantity=1#position=5&type=item&tracking_id=276ad2d7-9d96-48fc-a211-d592a9435523)

## G. Anexo: Presupuesto

Es esta sección se presenta un presupuesto aproximado (ver tabla G-1) para la implementación del proyecto diseñado en este texto.

**Tabla G-1:** Presupuesto para implementación del proyecto.

Elemento	Cantidad	Precio por unidad en pesos	Precio total
Goteros	3000	200	600000
Manguera de 16 mm	3561 m	42000 * 100 m	1495620
Manguera de 25 mm	110 m	68000 * 100 m	74800
Manguera de 32 mm	162 m	75000 * 100 m	121500
Manguera de 50 mm	160 m	200000 * 100 m	320000
Válvula de globo	5	10000	50000
Uniones en T	2	20000	40000
Reducción concéntrica	1	4000	4000
Ampliación concéntrica	1	4000	4000
Codos a 90°	2	16000	32000
Codos a 45°	1	11500	11500
Filtros de disco	2	80000	160000
Tanque de almacenamiento	1	450000	450000
Perfil estructural cuadrado de 25mm*25mm*1,2mm	31,421 m	26450 * 6 m	138515
Perfil estructural rectangular de 76mm*38mm*1,1mm	13,43 m	50100 * 6 m	112141
Soldadura	5 Kg	62500	62500

Nombre de la fuente: Propia.

**Tabla G-1:** (Continuación).

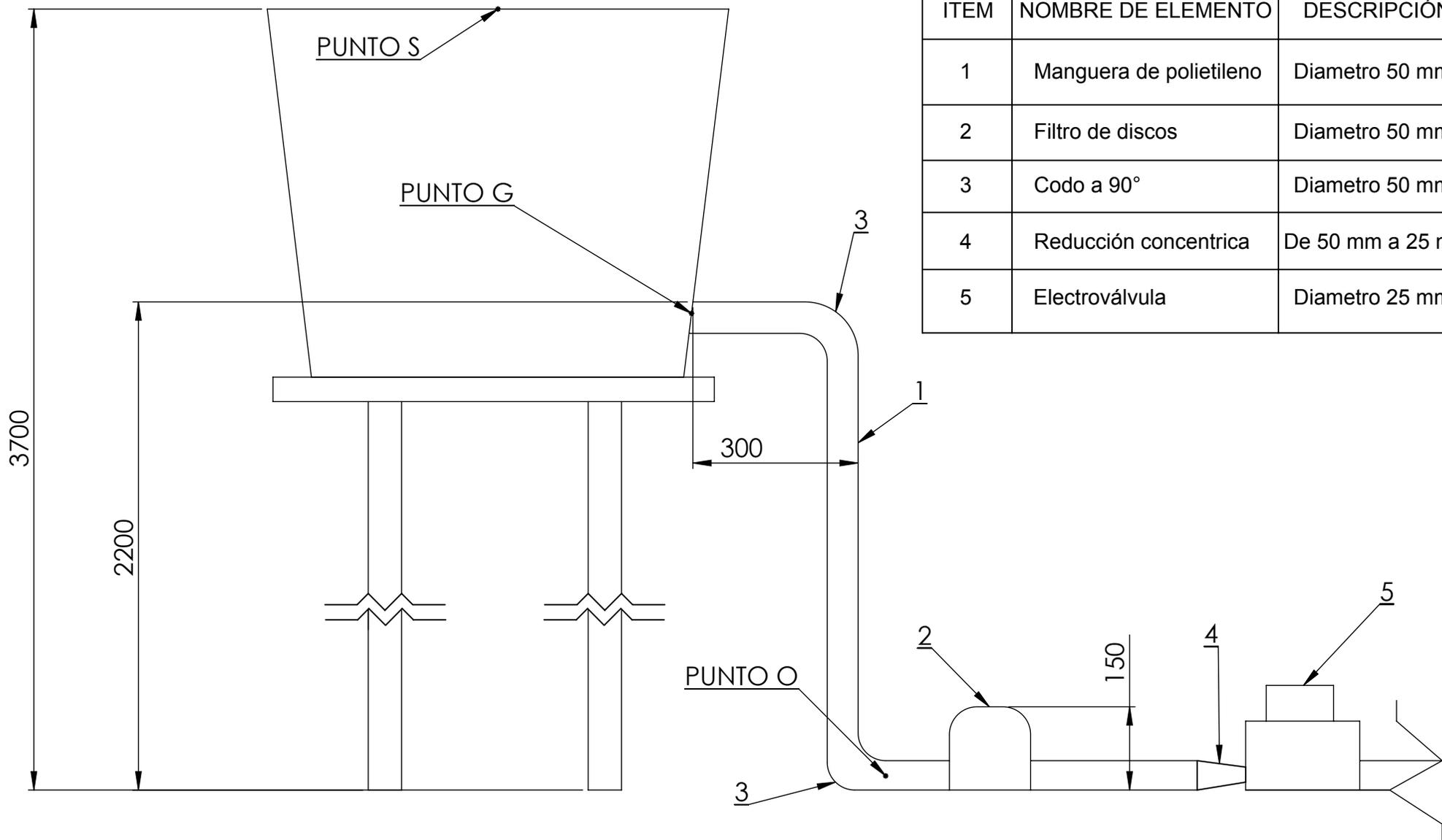
Elemento	Cantidad	Precio por unidad en pesos	Precio total
Lamina de acero A36 de 50 mm * 3,76 mm	12,42 m	22500 * 6 m	46575
Lamina de acero A36 de 225mm * 225mm*4mm	0,254 m2	100000 * 1 m2	30000
Tornillos de anclaje	20	10000	200000
Concreto	1	25000 * 1 bulo	25000
Mantenimiento Bomba	1	120000	120000
Flotadores eléctricos	2	34000	68000
Cableado eléctrico	1	50000	50000
Electroválvula	1	175000	175000
Electrobomba	1	325000	325000
Temporizador	1	40000	40000
<b>Total</b>			<b>\$ 4.756.151</b>

Nombre de la fuente: Propia.



## **H. Anexo: Planos**

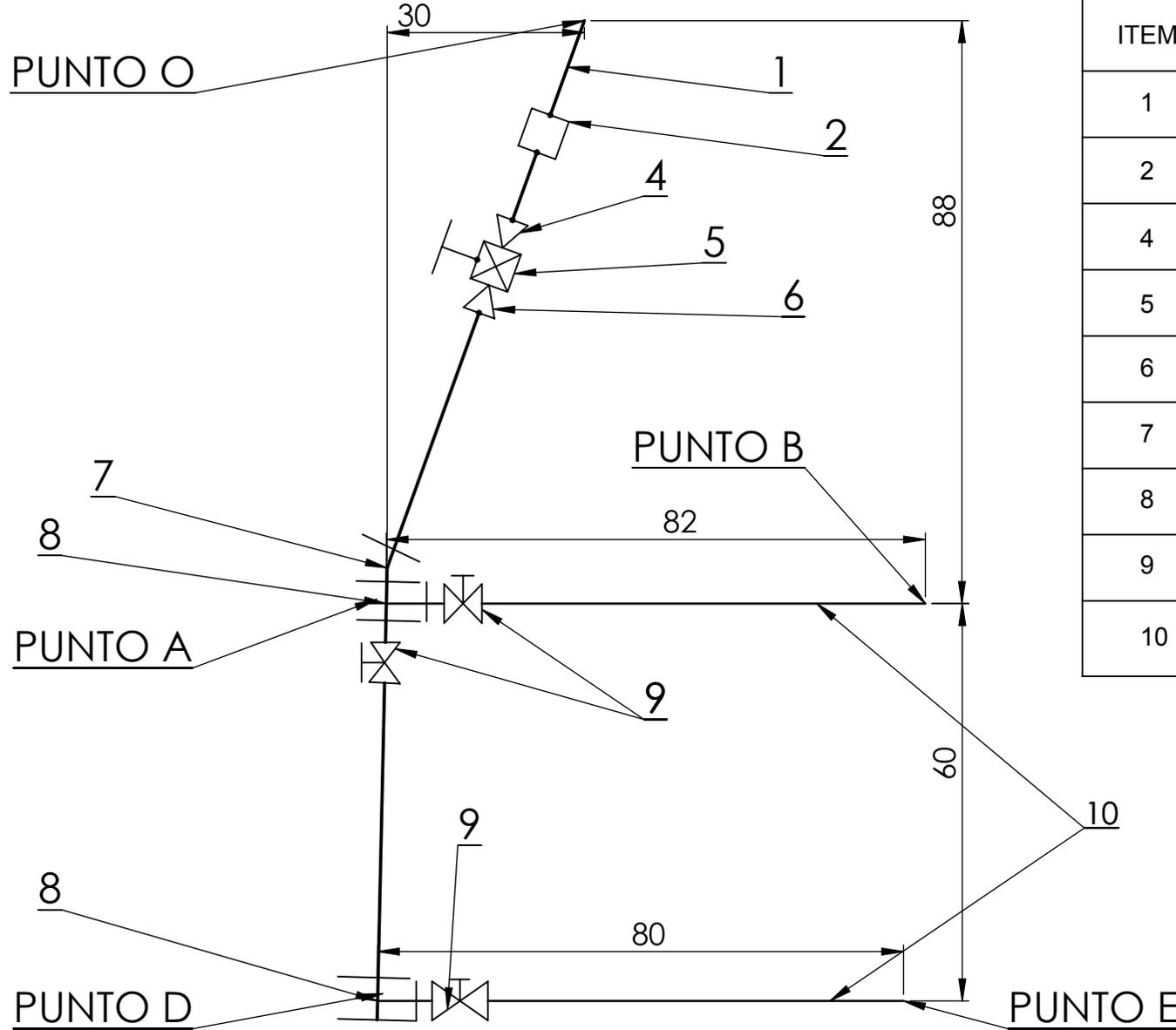
Los planos hidráulicos 1 (comprenden el tramo entre tanque de almacenamiento – cultivo de mora), plano sistema de bombeo (desde pozo de alimentación hasta tanque de almacenamiento) y los planos de la estructura metálica (soporte de tanque elevado, con perfiles estructurales, pernos de anclaje, placa base y zapata de concreto).



ITEM	NOMBRE DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	Manguera de polietileno	Diametro 50 mm	160 m
2	Filtro de discos	Diametro 50 mm	1
3	Codo a 90°	Diametro 50 mm	2
4	Reducción concentrica	De 50 mm a 25 mm	1
5	Electroválvula	Diametro 25 mm	1



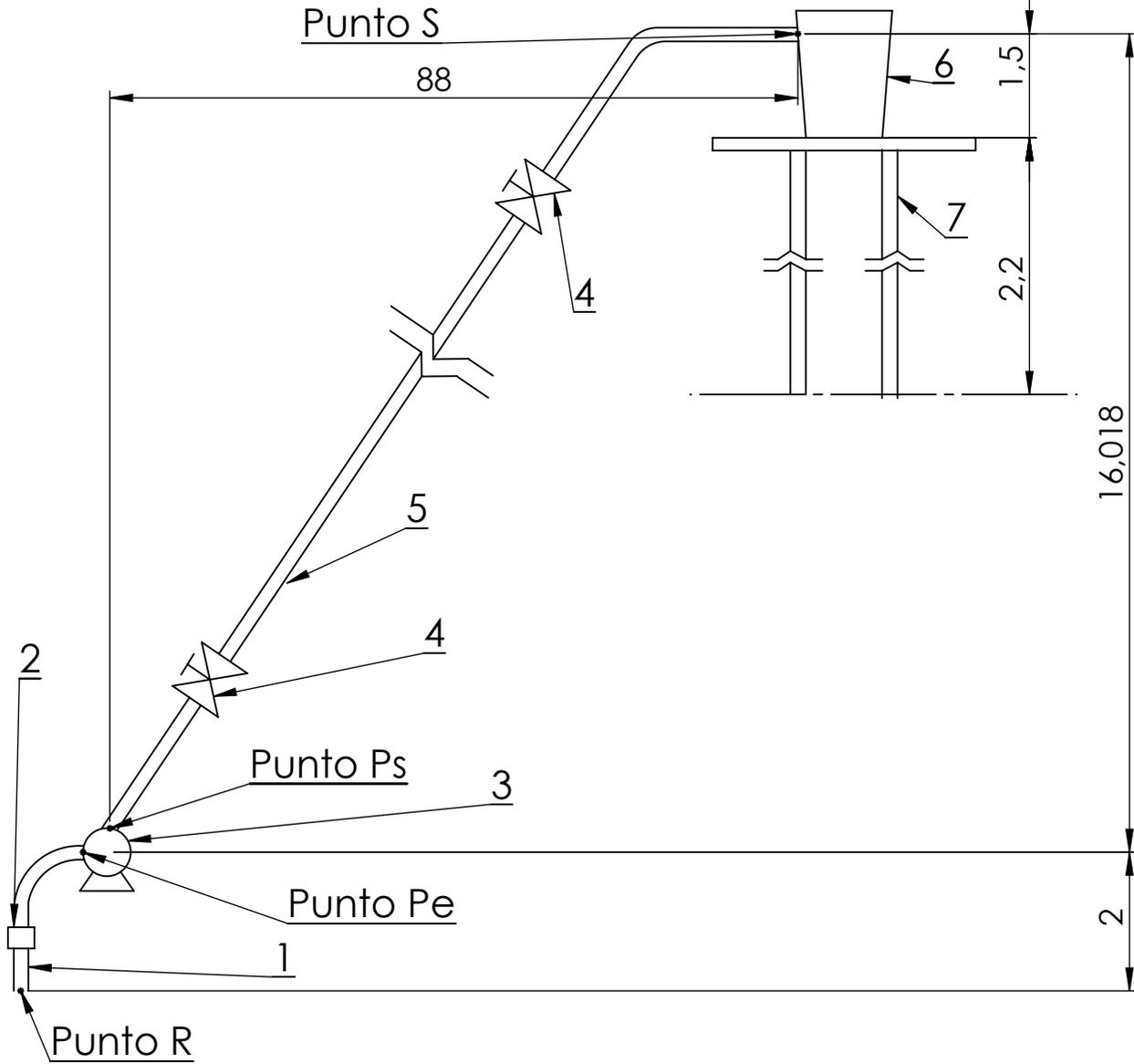
PROGRAMA: INGENIERIA MECANICA	FECHA: D/M/A 05 DE MAYO DEL 2020	NOMBRE DEL PROYECTO O TRABAJO: DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO	
DIBUJÓ: CARLOS JORDAN PARRA R.	CODIGO: 10451414497	NOMBRE DEL PLANO: PLANO DE TP CONECTADA A TANQUE DE ALMACENAMIENTO	
DISEÑÓ: CARLOS JORDAN PARRA R.	UNIDADES: mm	ESCALA: 1:10	MATERIAL: N/A
APROBÓ: CARLOS JORDAN PARRA R.	N° DE PIEZA: N/A	FORMATO: A 4	Hoja: 1 DE 1
PROYECCIÓN:			



ITEM	NOMBRE DE ELEMENTO	DESCRPCIÓN	CANT.
1	Manguera de polietileno	Diametro 50 mm	160 m
2	Filtro de discos	Diametro 50 mm	1
4	Reducción concentrica	De 50 a 25 mm	1
5	Electroválvula	Diametro 25 mm	1
6	Ampliación concentrica	De 25 a 50 mm	1
7	Codo a 45°	Diametro 50 mm	1
8	Unión en Te	Diametro 50 mm	2
9	Válvula tipo globo	Una de 50 mm y dos de 32 mm	3
10	Manguera de polietileno	Diametro 32 mm	162 m

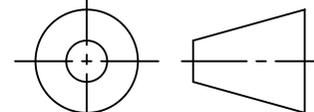


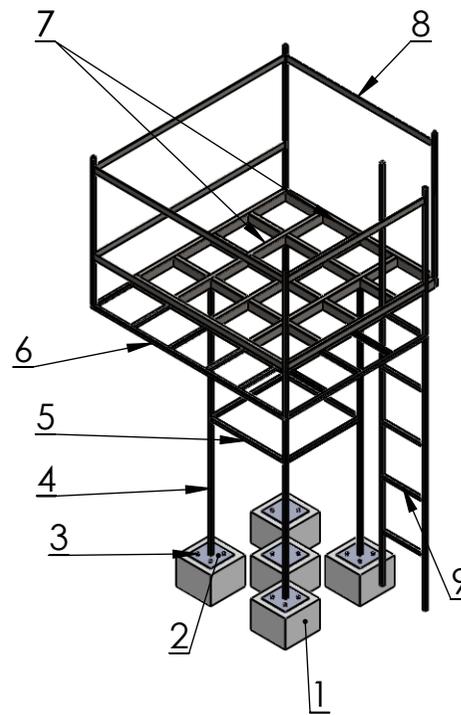
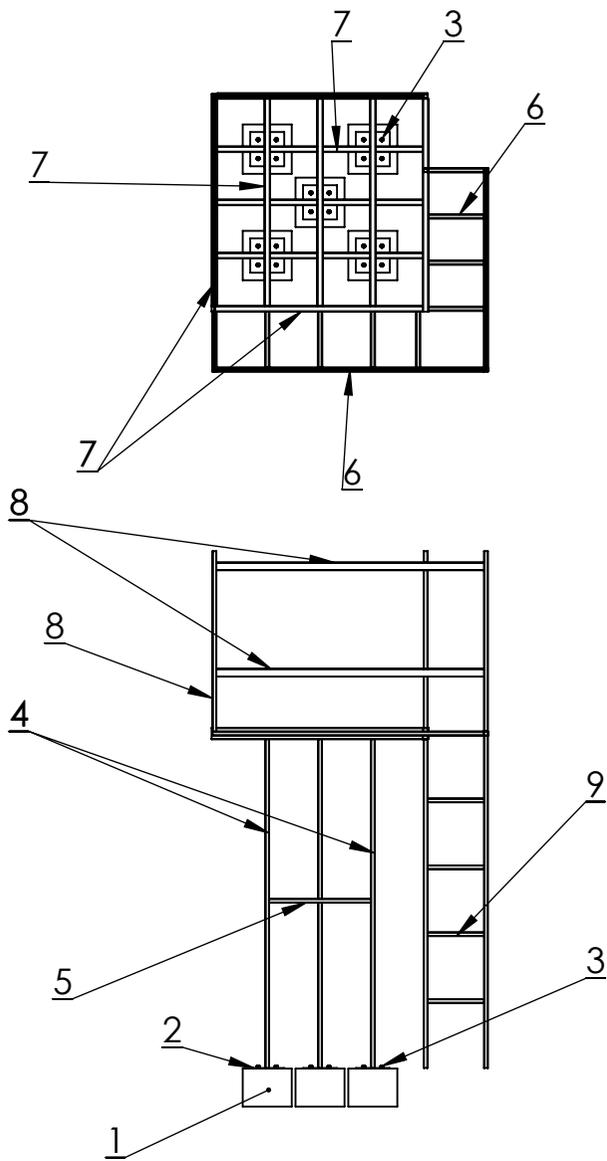
PROGRAMA: INGENIERIA MECANICA	FECHA: D/M/A 06 DE MAYO DEL 2020	NOMBRE DEL PROYECTO O TRABAJO: DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO		
DIBUJÓ: CARLOS JORDAN PARRA R.	CODIGO: 10451414497	NOMBRE DEL PLANO: PLANO TP Y TPR CON ACCESORIOS		
DISEÑÓ: CARLOS JORDAN PARRA R.	UNIDADES: m	ESCALA: 1:1000	MATERIAL: N/A	PROYECCIÓN: 
APROBÓ: CARLOS JORDAN PARRA R.	N° DE PIEZA: N/A	FORMATO: A 4	Hoja: 1 DE 1	



ITEM	NOMBRE DE ELEMENTO	DESCRPCIÓN	CANT.
1	Manguera de aspiración	En polietileno con diametro de 25 mm	2 m
2	Filtro de discos	Diametro 25 mm	1
3	Electrobomba	Barne de 1 Hp	1
4	Válvulas tipo globo	Diametro 25 mm	2
5	Manguera de expulsión	En polietileno con diametro de 25 mm	180 m
6	Tanque de almacenamiento	En polietileno con capacidad 2000 l	1
7	Estructura matalica	En perfil cuadrado y rectangulas	1



PROGRAMA: INGENIERIA MECANICA	FECHA: D/M/A 10 de mayo del 2020	NOMBRE DEL PROYECTO O TRABAJO: DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO	
DIBUJÓ: CARLOS JORDAN PARRA R.	CODIGO: 10451414497	NOMBRE DEL PLANO: SISTEMA DE BOMBEO	
DISEÑÓ: CARLOS JORDAN PARRA R.	UNIDADES: m	ESCALA: 1:100	MATERIAL: N/A
APROBÓ: CARLOS JORDAN PARRA R.	N° DE PIEZA: N/A	FORMATO: A 4	Hoja: 1 DE 1
PROYECCIÓN: 			



ITEM	NOMBRE DEL ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	Zapata de concreto	Concreto estructural 325*325*250 mm	5
2	Placa base	ASTM A36 225,4*225,4*4 mm	5
3	Perno de anclaje	Diametro de 14 mm Longitud de 150 mm	20
4	Columna	Ver plano columna	5
5	Vigas a media altura	Ver plano vigas a media altura	4
6	Zona peatonal	Ver plano zona peatonal	1
7	Rejilla de soporte de tanque	Ver plano rejilla de soporte de tanque	1
8	Baranda perimetral	Ver plano baranda perimetral	1
9	Escalera	Ver plano escalera	1

PROGRAMA:  
INGENIERIA MECANICA

FECHA: D/M/A  
20 DE JUNIO DEL 2020

NOMBRE DEL PROYECTO O TRABAJO:  
DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO

DIBUJÓ:  
CARLOS JORDAN PARRA R.

CODIGO:  
10451414497

NOMBRE DEL PLANO:  
ESTRUCTURA METALICA PARA TANQUE ELEVADO

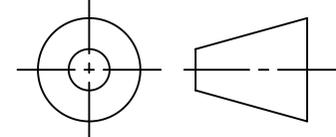
DISEÑÓ:  
CARLOS JORDAN PARRA R.

UNIDADES:  
mm

ESCALA:  
1:50

MATERIAL:  
ASTM A36 / CONCRETO

PROYECCIÓN:



APROBÓ:  
CARLOS JORDAN PARRA R.

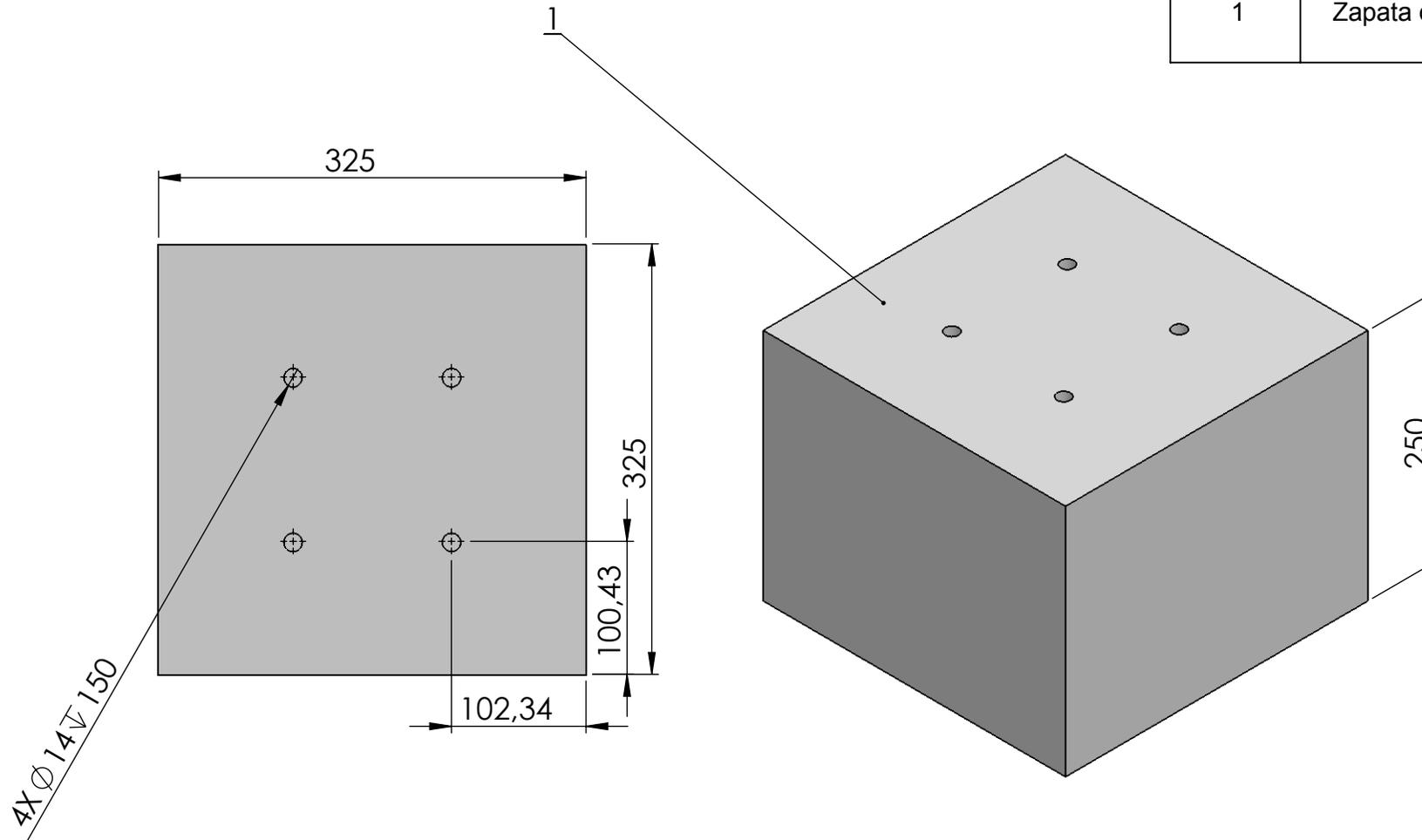
N° DE PIEZA:  
N/A

FORMATO:  
A 4

Hoja:  
1 DE 10

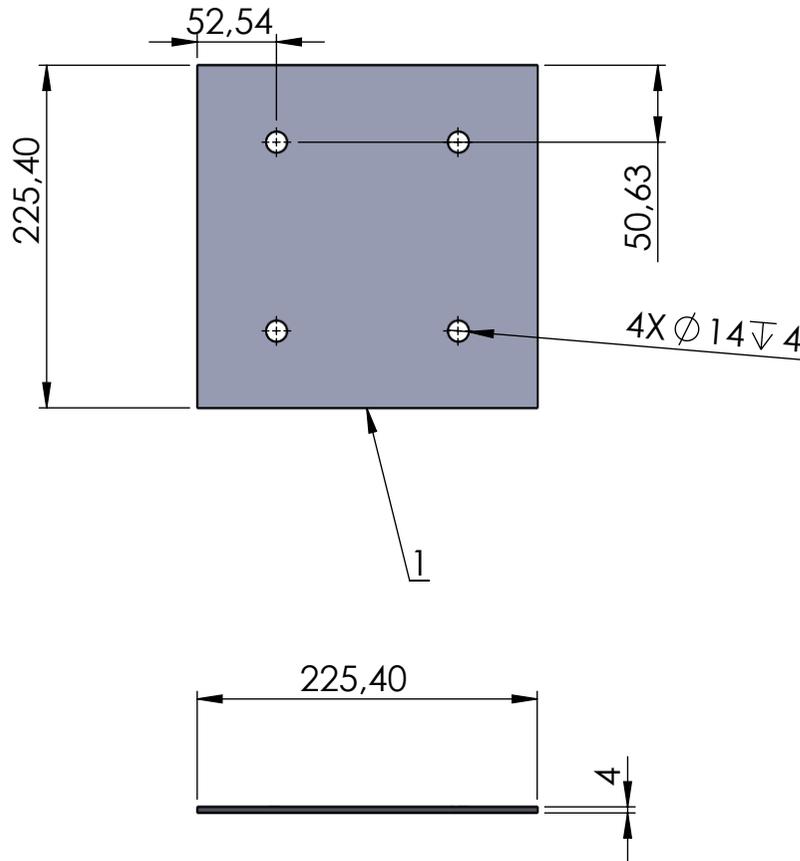


ITEM	NOMBRE DEL ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	Zapata de concreto	Concreto estructural de 325*325*250 mm	5

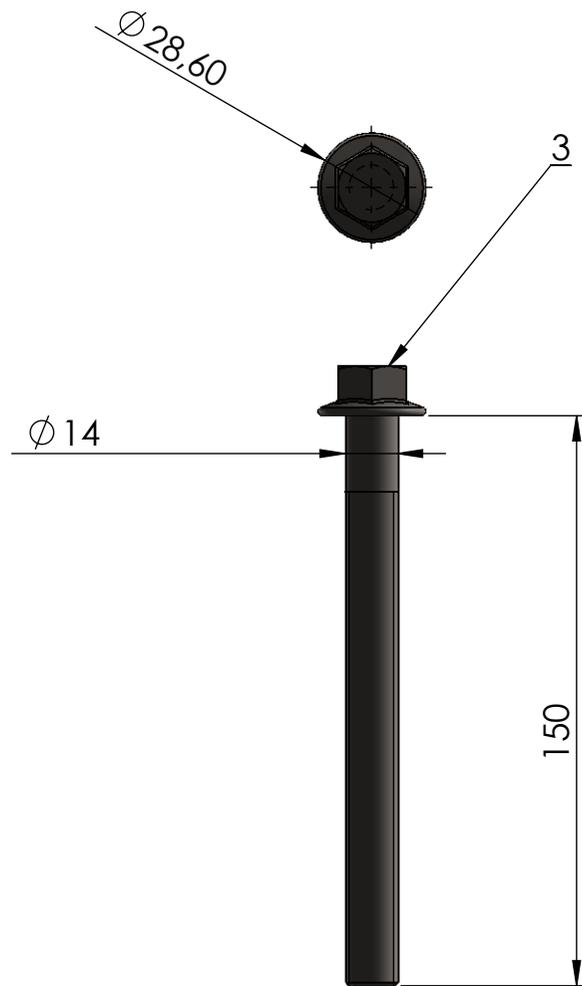


	PROGRAMA: INGENIERIA MECANICA	FECHA: D/M/A 20 DE JUNIO DEL 2020	NOMBRE DEL PROYECTO O TRABAJO: DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO		
	DIBUJÓ: CARLOS JORDAN PARRA R.	CODIGO: 10451414497	NOMBRE DEL PLANO: ZAPATA DE CONCRETO		
	DISEÑÓ: CARLOS JORDAN PARRA R.	UNIDADES: mm	ESCALA: 1:5	MATERIAL: CONCRETO ESTRUCTURAL	PROYECCIÓN: 
	APROBÓ: CARLOS JORDAN PARRA R.	N° DE PIEZA: 1	FORMATO: A 4	Hoja: 2 DE 10	

ITEM	NOMBRE DEL ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANT.
2	Placa base	Platina espesor 4 mm	5



PROGRAMA: INGENIERIA MECANICA	FECHA: D/M/A 20 DE JUNIO DEL 2020	NOMBRE DEL PROYECTO O TRABAJO: DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO		
DIBUJÓ: CARLOS JORDAN PARRA R.	CODIGO: 10451414497	NOMBRE DEL PLANO: PLACA BASE		
DISEÑÓ: CARLOS JORDAN PARRA R.	UNIDADES: mm	ESCALA: 1:5	MATERIAL: ASTM A 36	PROYECCIÓN: 
APROBÓ: CARLOS JORDAN PARRA R.	N° DE PIEZA: 2	FORMATO: A 4	Hoja: 3 DE 10	



ITEM	NOMBRE DEL ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANT.
3	Perno de anclaje	Perno metrico de rosca basta, clase 4.6, con paso de 2 mm	20

PROGRAMA:  
INGENIERIA MECANICA

FECHA: D/M/A  
20 DE JUNIO DEL 2020

NOMBRE DEL PROYECTO O TRABAJO:  
DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO

DIBUJÓ:  
CARLOS JORDAN PARRA R.

CODIGO:  
10451414497

NOMBRE DEL PLANO:  
PLANO PERNOS DE ANCLAJE

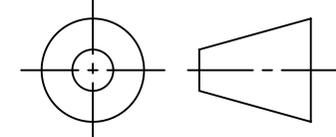
DISEÑÓ:  
CARLOS JORDAN PARRA R.

UNIDADES:  
mm

ESCALA:  
1:2

MATERIAL:  
MEDIO O BAJO CARBONO

PROYECCIÓN:

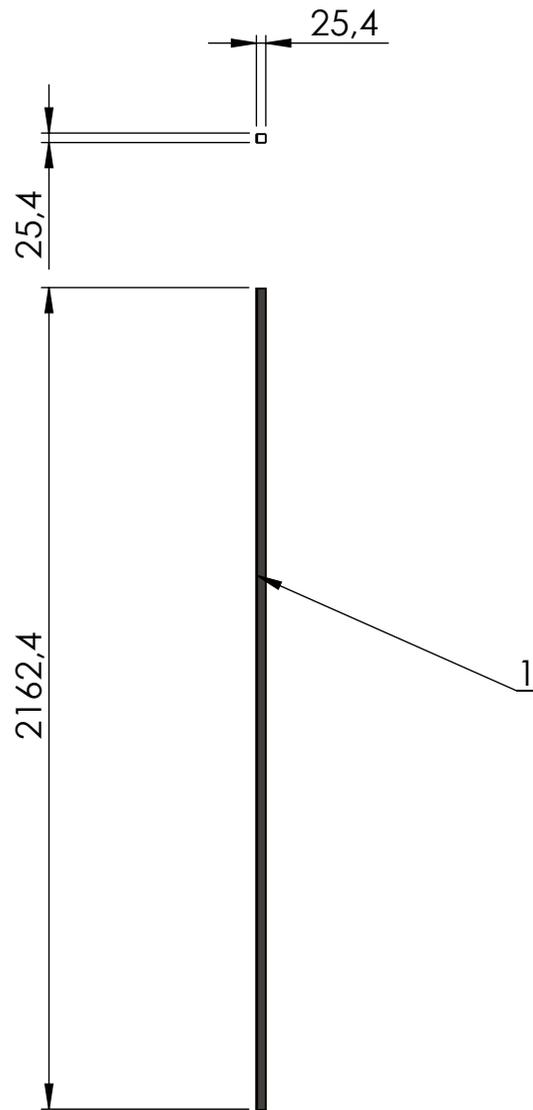


APROBÓ:  
CARLOS JORDAN PARRA R.

N° DE PIEZA:  
3

FORMATO:  
A 4

Hoja:  
4 DE 10



ITEM	NOMBRE DEL ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANT.
4	Columna estructura	Perfil tubular cuadrado de 25,4*1,2 mm	5

PROGRAMA:  
INGENIERIA MECANICA

FECHA: D/M/A  
20 DE JUNIO DEL 2020

NOMBRE DEL PROYECTO O TRABAJO:  
DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO

DIBUJÓ:  
CARLOS JORDAN PARRA R.

CODIGO:  
10451414497

NOMBRE DEL PLANO:  
PLANO COLUMNA ESTRUCTURA

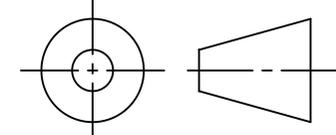
DISEÑÓ:  
CARLOS JORDAN PARRA R.

UNIDADES:  
mm

ESCALA:  
1:20

MATERIAL:  
ASTM A36

PROYECCIÓN:

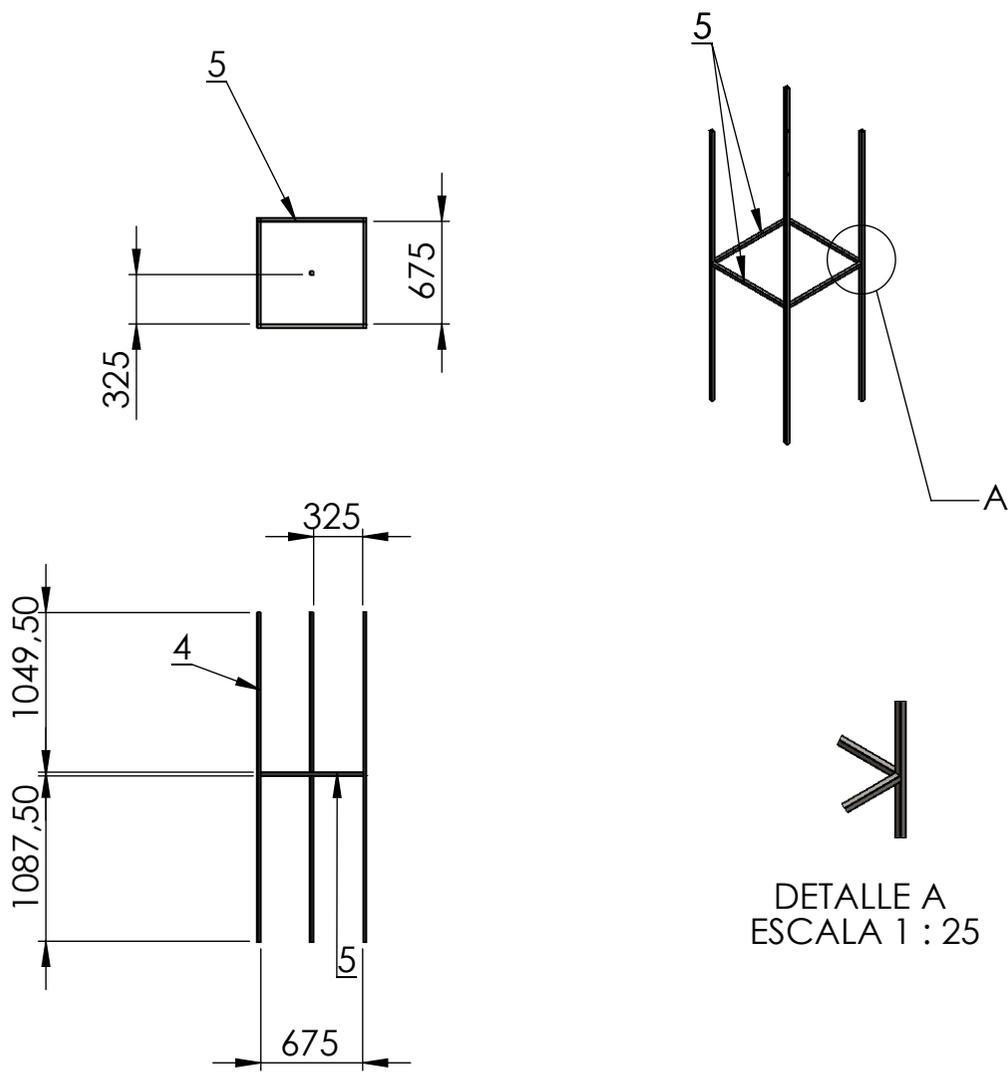


APROBÓ:  
CARLOS JORDAN PARRA R.

N° DE PIEZA:  
4

FORMATO:  
A 4

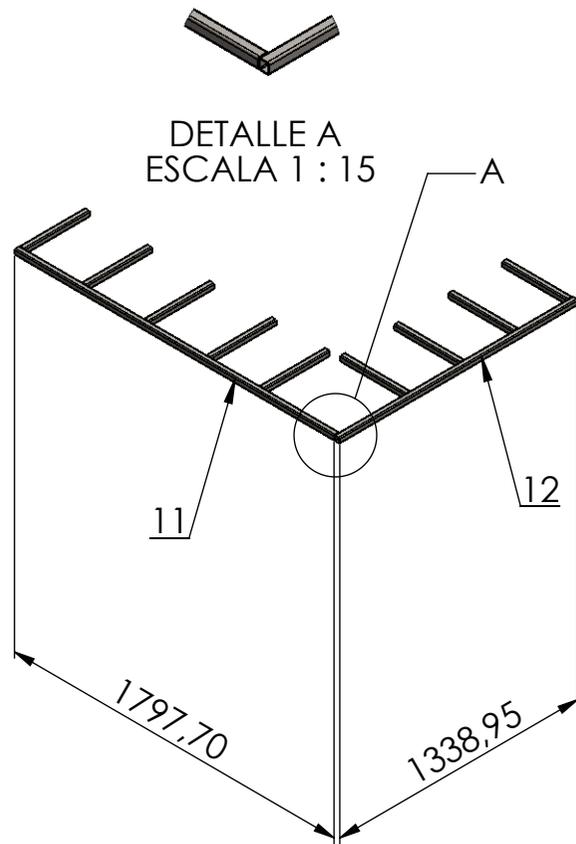
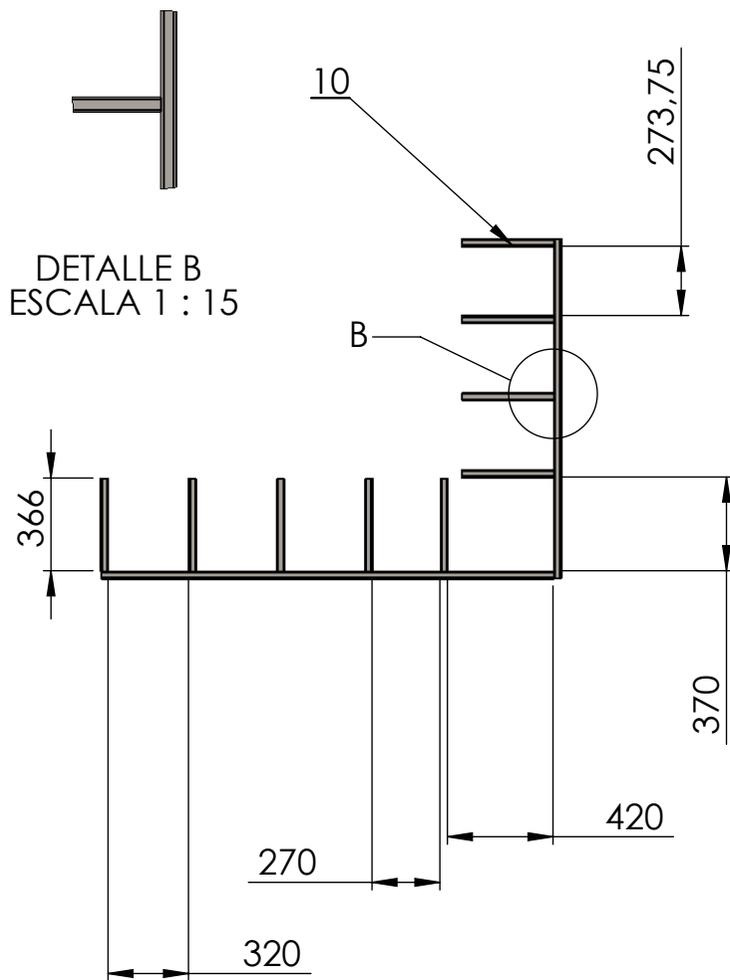
Hoja:  
5 DE 10



ITEM	NOMBRE DEL ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANT.
4	Columnas estructura	Perfil estructural tubular cuadrado de 25,4*1,2 mm	5
5	Vigas a media altura	Perfil estructural tubular cuadrado de 25,4*1,2 mm	4



PROGRAMA: INGENIERIA MECANICA	FECHA: D/M/A 20 DE JUNIO DEL 2020	NOMBRE DEL PROYECTO O TRABAJO: DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO	
DIBUJÓ: CARLOS JORDAN PARRA R.	CODIGO: 10451414497	NOMBRE DEL PLANO: PLANO VIGAS A MEDIA ALTURA	
DISEÑÓ: CARLOS JORDAN PARRA R.	UNIDADES: mm	ESCALA: 1:50	MATERIAL: ASTM A36
APROBÓ: CARLOS JORDAN PARRA R.	N° DE PIEZA: 5	FORMATO: A 4	Hoja: 6 DE 10
PROYECCIÓN:			



ITEM	NOMBRE DEL ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANT.
10	Pasarela zona peatonal	Perfil estructural tubular cuadrado de 25,4*1,2 mm	9
11	Viga horizontal zona peatonal	Perfil estructural tubular cuadrado de 25,4*1,2 mm	1
12	Viga vertical zona peatonal	Perfil estructural tubular cuadrado de 25,4*1,2 mm	1

PROGRAMA:  
INGENIERIA MECANICA

FECHA: D/M/A  
20 DE JUNIO DEL 2020

NOMBRE DEL PROYECTO O TRABAJO:  
DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO

DIBUJÓ:  
CARLOS JORDAN PARRA R.

CODIGO:  
10451414497

NOMBRE DEL PLANO:  
PLANO ZONA PEATONAL

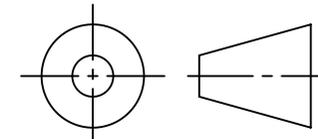
DISEÑÓ:  
CARLOS JORDAN PARRA R.

UNIDADES:  
mm

ESCALA:  
1:30

MATERIAL:  
ASTM A36

PROYECCIÓN:



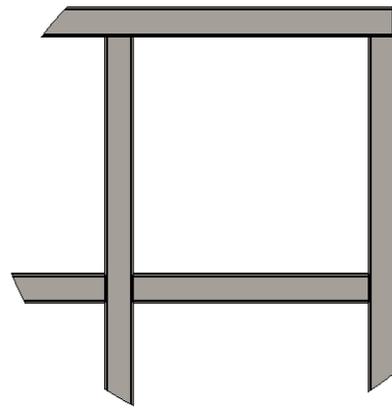
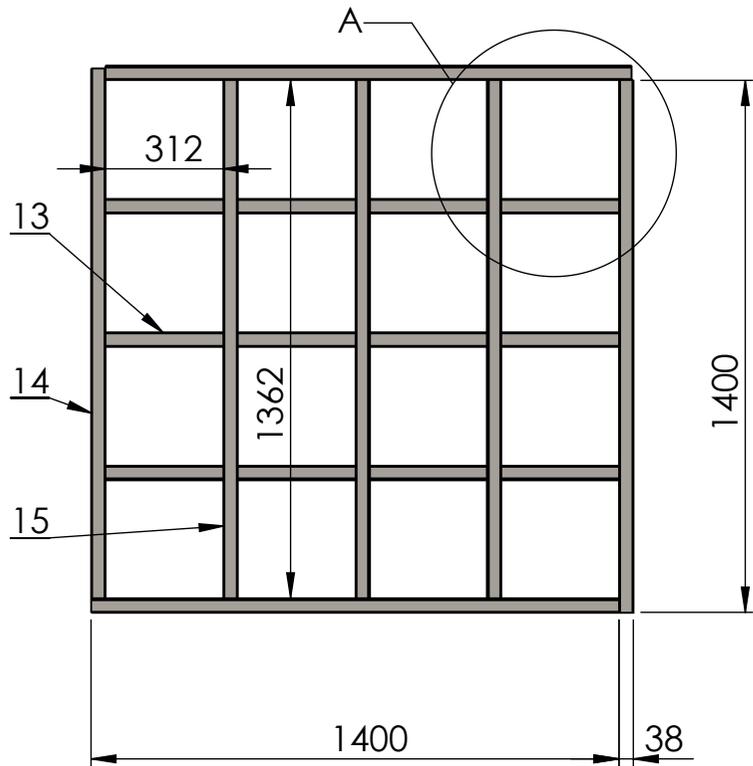
APROBÓ:  
CARLOS JORDAN PARRA R.

N° DE PIEZA:  
6

FORMATO:  
A 4

Hoja:  
7 DE 10





DETALLE A  
ESCALA 1 : 10

ITEM	NOMBRE DEL ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANT.
13	Viga horizontal rejilla de soporte	Perfil estructural tubular rectangular de 76*38*1,1 mm	12
14	Viga perimetral rejilla de soporte	Perfil estructural tubular rectangular de 76*38*1,1 mm	4
15	Viga vertical rejilla de soporte	Perfil estructural tubular rectangular de 76*38*1,1 mm	3



PROGRAMA:  
INGENIERIA MECANICA

FECHA: D/M/A  
20 DE JUNIO DEL 2020

NOMBRE DEL PROYECTO O TRABAJO:  
DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO

DIBUJÓ:  
CARLOS JORDAN PARRA R.

CODIGO:  
10451414497

NOMBRE DEL PLANO:  
PLANO REJILLA DE SOPORTE DE TANQUE

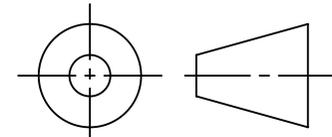
DISEÑÓ:  
CARLOS JORDAN PARRA R.

UNIDADES:  
mm

ESCALA:  
1:20

MATERIAL:  
ASTM A36

PROYECCIÓN:

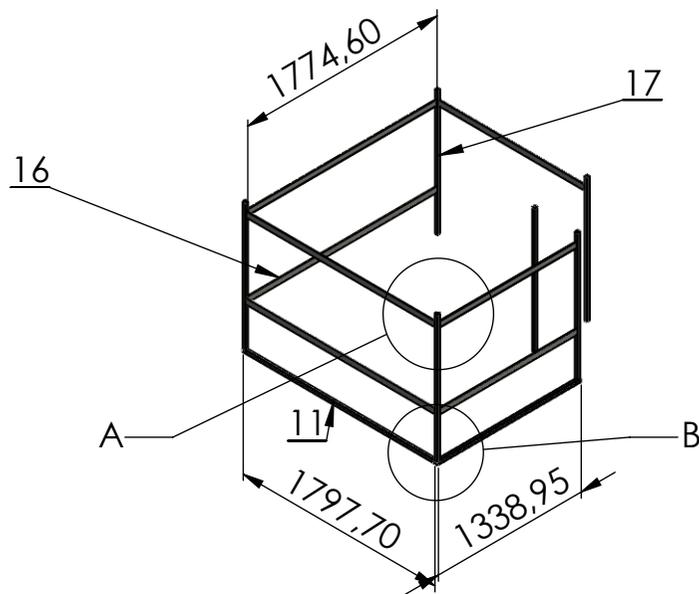
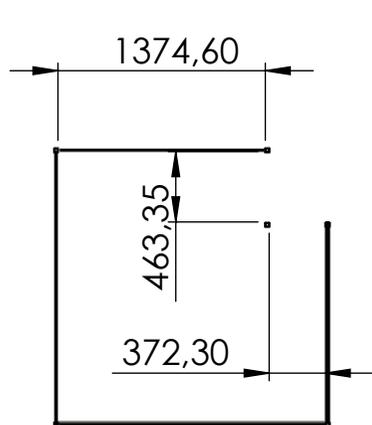


APROBÓ:  
CARLOS JORDAN PARRA R.

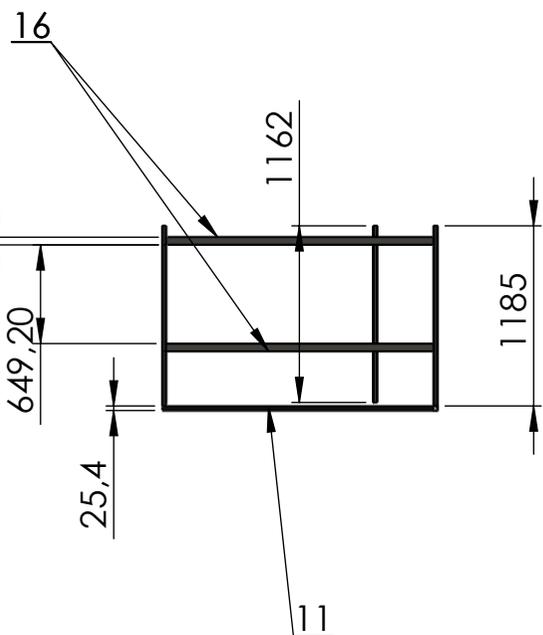
N° DE PIEZA:  
7

FORMATO:  
A 4

Hoja:  
8 DE 10



ITEM	NOMBRE DEL ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANT.
11	Viga horizontal de zona peatonal	Perfil estructural tubular cuadrado de 25,4*1,2 mm	1
16	Baranda horizontal perimetral	Platina de 50,8 mm ancho y 4,76 mm espesor	7
17	Columna baranda	Perfil estructural tubular cuadrado de 25,4*1,2 mm	6



DETALLE A  
ESCALA 1 : 25



DETALLE B  
ESCALA 1 : 25

PROGRAMA:  
INGENIERIA MECANICA

FECHA: D/M/A  
20 DE JUNIO DEL 2020

NOMBRE DEL PROYECTO O TRABAJO:  
DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO

DIBUJÓ:  
CARLOS JORDAN PARRA R.

CODIGO:  
10451414497

NOMBRE DEL PLANO:  
PLANO BARANDA PERIMETRAL

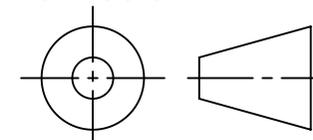
DISEÑÓ:  
CARLOS JORDAN PARRA R.

UNIDADES:  
mm

ESCALA:  
1:50

MATERIAL:  
ASTM A36

PROYECCIÓN:

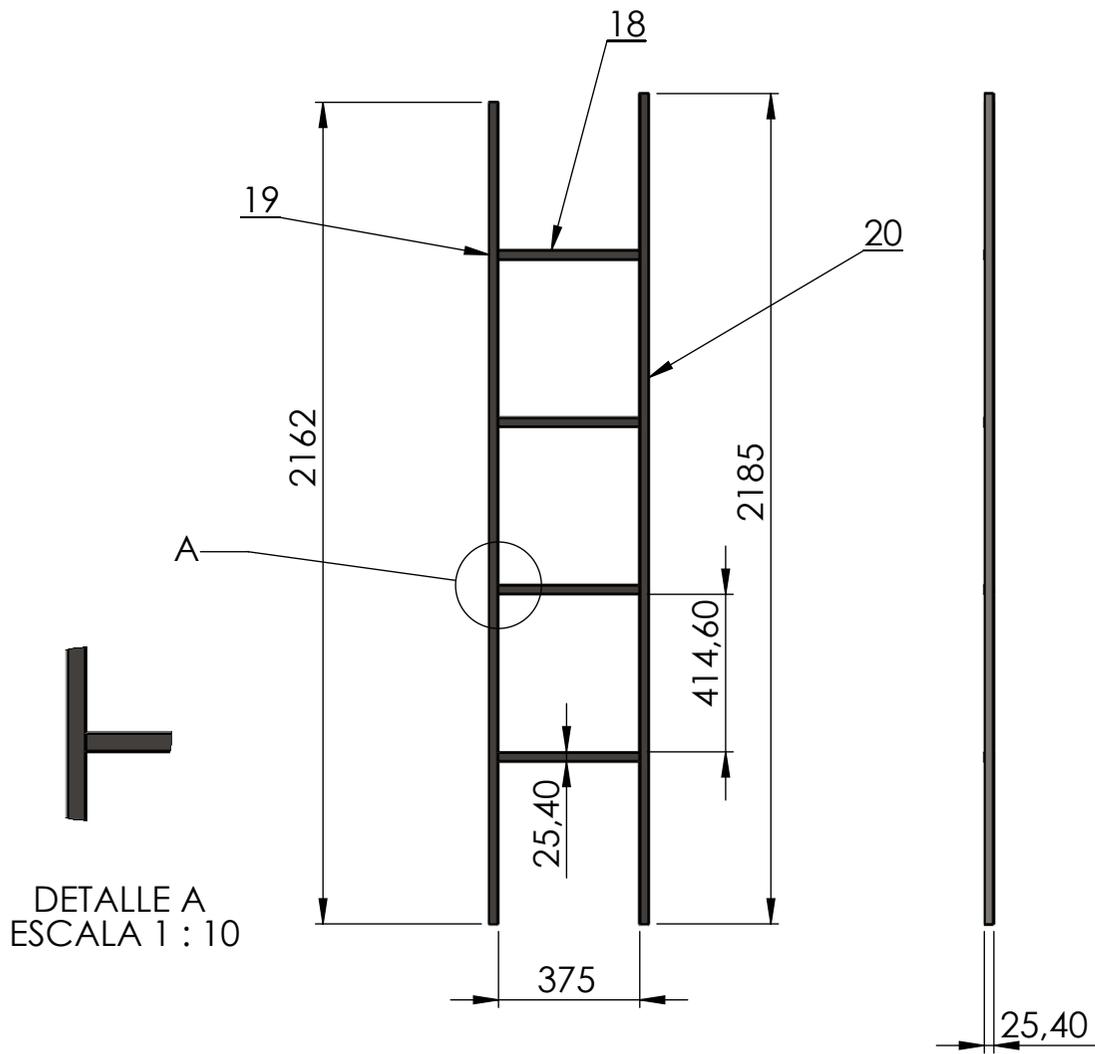


APROBÓ:  
CARLOS JORDAN PARRA R.

N° DE PIEZA:  
8

FORMATO:  
A 4

Hoja:  
9 DE 10



ITEM	NOMBRE DEL ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANT.
18	Peldaño	Perfil estructural tubular cuadrado de 25,4*1,2 mm	4
19	Columna izquierda	Perfil estructural tubular cuadrado de 25,4*1,2 mm	1
20	Columna derecha	Perfil estructural tubular cuadrado de 25,4*1,2 mm	1

DETALLE A  
ESCALA 1 : 10



PROGRAMA: INGENIERIA MECANICA	FECHA: D/M/A 20 DE JUNIO DEL 2020	NOMBRE DEL PROYECTO O TRABAJO: DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO		
DIBUJÓ: CARLOS JORDAN PARRA R.	CODIGO: 10451414497	NOMBRE DEL PLANO: PLANO ESCALERA		
DISEÑÓ: CARLOS JORDAN PARRA R.	UNIDADES: mm	ESCALA: 1:20	MATERIAL: ASTM A36	PROYECCIÓN: 
APROBÓ: CARLOS JORDAN PARRA R.	N° DE PIEZA: 9	FORMATO: A 4	Hoja: 10 DE 10	