



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Diseño de un sistema de riego para pastizales a través de un mecanismo de rueda hidráulica y bomba de pistón para el sector “Sharve” de la parroquia El Cisne

Trabajo de Titulación previo a
la obtención del título de
Ingeniero Electromecánico.

AUTOR:

Bryan Marcelo Paccha Paccha

DIRECTOR:

Ing. Marco Vinicio Rojas Moncayo Mg.Sc.

Loja - Ecuador

2023

Certificación

Loja, 01 de agosto de 2023

Ing. Marco Vinicio Rojas Moncayo Mg.Sc.
DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño de un sistema de riego para pastizales a través de un mecanismo de rueda hidráulica y bomba de pistón para el sector “Sharve” de la parroquia El Cisne, previo a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico,** de la autoría del señor **Bryan Marcelo Paccha Paccha** con **cedula de identidad Nro. 1105171589**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Ing. Marco Vinicio Rojas Moncayo Mg.Sc.
DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Bryan Marcelo Paccha Paccha**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

Firma:

Cédula: 1105171589

Fecha: Loja, 01/08/2023

Correo Electrónico: bmpacchap@unl.edu.ec

Teléfono: 0980766237

Carta de autorización por parte del autor, para la consulta, reproducción parcial o total, y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **Bryan Marcelo Paccha Paccha**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño de un sistema de riego para pastizales a través de un mecanismo de rueda hidráulica y bomba de pistón para el sector “Sharve” de la Parroquia El Cisne**, como requisito para optar por el **título de Ingeniero Electromecánico**; autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con los cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza del plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a un día del mes de agosto del dos mil veintitrés.

Firma:

Autor: Bryan Marcelo Paccha Paccha

Cédula: 1105171589

Dirección: Loja, Joaquín Gallegos Lara y Av. Villonaco (151-81).

Correo electrónico: bmpacchap@unl.edu.ec

Teléfono: 0980766237

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Marco Vinicio Rojas Moncayo, Mg. Sc.

Dedicatoria

El presente trabajo va dedicado con todo cariño a mis padres Marcelo y Carmen, siendo ellos el pilar principal para mi formación académica superior. Quienes me supieron inculcar los valores de respeto, responsabilidad, dedicación y superación.

A mis hermanos Darwin, Stalin e Ivannova y a mis sobrinas Nataly y Catalina por el apoyo incondicional brindado para mi formación académica.

Bryan Paccha.

Agradecimientos

A toda mi familia por apoyarme en cada momento para realizar el presente trabajo de investigación.

A mis compañeros y amigos, en especial a mi amigo Jaime, a Priscila por el apoyo a lo largo de toda la carrera universitaria.

A la Comunidad Universitaria, a los docentes de la carrera de Ingeniería Electromecánica de la U.N.L por sus enseñanzas y valores implementados a lo largo de todos los ciclos académicos de estudio, en especial Ing. Marco Vinicio Rojas Moncayo, Mg. Sc, por su colaboración para la culminación del presente Trabajo de Titulación.

Bryan Paccha.

Índice de contenido

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimientos	vi
Índice de contenido	vii
Índice de tablas	x
Índice de figuras	xi
Índice de anexos	xiii
Simbología	xiv
1 Título	1
2 Resumen	2
2.1 Abstract.....	3
3 Introducción	4
4 Marco teórico	6
4.1 Capítulo I: Suelo, Pastos y Forrajes	6
4.1.1 Textura del suelo	6
4.1.2 Velocidad de infiltración del suelo.....	7
4.1.3 Pastos y Forrajes.....	7
4.2 Capítulo II: Riego	8
4.2.1 Agua disponible total (ADT).....	8
4.2.2 Agua fácilmente aprovechada (AFA).....	9
4.2.3 Evapotranspiración (<i>ET_o</i>)	9
4.2.4 Lámina bruta o total de riego.....	15
4.2.5 Frecuencia de riego	16
4.2.6 Tiempo de riego.....	16
4.3 Capítulo III: Canales abiertos.....	17
4.3.1 Canales abiertos.....	17
4.3.2 Hidrodinámica	21
4.4 Capítulo IV: Rueda hidráulica e Inercia	26
4.4.1 Rueda Hidráulica	26
4.4.2 Volantes De Inercia	27

4.4.3	Esfuerzos para un volante.....	28
4.5	Capítulo V: Potencia y factor de seguridad.....	30
4.5.1	Potencia mecánica	30
4.5.2	Factores de seguridad	30
4.5.3	Transmisiones mecánicas	31
4.6	Capítulo VI: Bombas de Desplazamiento Positivo	33
4.6.1	Bombas de émbolo	33
4.6.2	Caudal teórico.....	33
4.6.3	Caudal Real	33
4.6.4	Caudal instantáneo	34
4.6.5	Potencia interna	34
4.6.6	Potencia hidráulica	34
5	Metodología.....	35
5.1	Área de trabajo.	35
5.2	Equipos y Materiales.	35
5.2.1	Equipos.	35
5.2.2	Materiales y Recursos.	35
5.3	Procesos metodológicos.	36
5.3.1	Primer Objetivo.	36
5.3.2	Segundo Objetivo.	37
5.3.3	Tercer Objetivo.....	37
5.4	Procesamiento y análisis de datos.	38
5.4.1	Primer Objetivo: Desarrollo de sistema de riego.	38
5.4.1.1	Levantamiento topográfico.....	38
5.4.2	Segundo objetivo: Potencialidad del afluente.	61
5.4.3	Tercer objetivo: Diseño de la rueda hidráulica.....	67
6	Resultados	95
6.1	Requerimientos iniciales de riego.	95
6.1.1	Topografía del área de riego.....	95
6.1.2	Estructura del suelo.	95
6.1.3	Cultivo	96
6.1.4	Evapotranspiración.	96
6.1.5	Requerimiento de agua.	97
6.1.6	Diseño hidráulico.	100

6.1.7	Altura del tanque.	102
6.2	Potencialidad del Afluente	103
6.3	Resultado de simulación de riego.....	103
6.4	Desarrollo del mecanismo.	105
6.4.1	6.4.1 Selección de la bomba	105
6.4.2	Rueda hidráulica.....	106
7	Discusión.....	109
8	Conclusiones.....	111
9	Recomendaciones.....	112
10	Bibliografía.....	113
11	Anexos.....	115

Índice de tablas:

Tabla 1. Velocidades de infiltración	7
Tabla 2. Eficiencia de aplicación de riego	16
Tabla 3. Geometría frecuente de canales abiertos.....	17
Tabla 4. Valores del coeficiente manning "CM"	20
Tabla 5. Coeficiente de corrección "cs"	21
Tabla 6. Características de factores de seguridad A, B y C	31
Tabla 7. Características del factor de seguridad D y E	31
Tabla 8. Porcentajes del suelo en estudio	40
Tabla 9. Característica del suelo franco-limo-arenoso.....	41
Tabla 10. Datos meteorológicos El Cisne	42
Tabla 11. Evapotranspiración por mes.....	46
Tabla 12. Parámetros de funcionamiento del aspersor	50
Tabla 13. Riego por secciones	51
Tabla 14. Accesorios tramo n20-n21	54
Tabla 15. Accesorios tramo n18-n20	56
Tabla 16. Accesorios tramo Tanque_Distribución-n18	58
Tabla 17. Potencialidad del afluente para determinadas fechas.....	66
Tabla 18. Accesorios de la bomba	69
Tabla 19. Torque de la rueda hidráulica por el peso del fluido	75
Tabla 20. Resumen de la topografía de riego.....	95
Tabla 21. Resumen de la estructura del suelo	95
Tabla 22. Resumen de las características del suelo franco-limo-arenoso.....	95
Tabla 23. Resumen evapotranspiración mensual.....	96
Tabla 24. Requerimiento inicial del cultivo.....	97
Tabla 25. Requerimiento real del cultivo.....	98
Tabla 26. Balance diario del cultivo	99
Tabla 27. Resumen de la ruta crítica de riego.....	101
Tabla 28. Resumen de la altura del tanque	102
Tabla 29. Resumen de la potencia de la bomba.....	105
Tabla 30. Resumen detallado de los cálculos de la rueda hidráulica.....	106
Tabla 31. Resumen del conjunto de transmisión de potencia de la rueda	107
Tabla 32. Resumen de datos del rodamiento	107
Tabla 33. Resumen de datos del acople	108

Índice de figuras:

Figura 1. Composición del suelo.	6
Figura 2. Triángulo de texturas del suelo.	6
Figura 3. Balance de agua en la zona radicular.	9
Figura 4. Factores de la evapotranspiración.	10
Figura 5. Principio de continuidad.....	22
Figura 6. Principio de la conservación de la energía.	23
Figura 7. Fuerza ejercida por un fluido.....	25
Figura 8. Principio de desplazamiento positivo.....	33
Figura 9. Ubicación geográfica de trabajo.....	35
Figura 10. Metodología objetivo 1.	36
Figura 11. Metodología objetivo 2.	37
Figura 12. Metodología objetivo 3.	37
Figura 13. Área de riego.	38
Figura 14. División del área en 3 partes.	38
Figura 15. Extracción de la muestra de 1 m de profundidad.	39
Figura 16. Análisis de suelo.....	39
Figura 17. Características del suelo.	40
Figura 18. Pasto de gordura.	41
Figura 19. Plano de la red hidráulica.	49
Figura 20. Curva característica del aspersor.	50
Figura 21. Sección 1 de riego. Tramo n20-n21.	52
Figura 22. Sección 1 de riego. Tramo n18-n20.	55
Figura 23. Sección 1 de riego. Tanque_Distribución-n18.....	57
Figura 24. Afluente del sector “Sharve”.	61
Figura 25. Pendiente del afluente.	61
Figura 26. Sección transversal trapecio/rectangular “Punto 1”.	62
Figura 27. Sección transversal trapecio/rectangular “Punto 2”.	63
Figura 28. Sección transversal trapecio/rectangular “Punto 3”.	64
Figura 29. Caudal del afluente.....	65
Figura 30. Esquema de bombeo.....	67
Figura 31. Curva de la bomba ZM 76.....	70
Figura 32. Componentes de la rueda hidráulica.	71
Figura 33. Dimensiones del anillo o carrete.	72

Figura 34. Dimensiones del cangilón.	73
Figura 35. Volumen de agua en el cangilón.	74
Figura 36. Velocidad del fluido que ingresa a la rueda.	76
Figura 37. Análisis de reacciones en el cangilón.	77
Figura 38. Elementos de transmisión.	79
Figura 39. Factor de seguridad $F1$ “rayos”	80
Figura 40. Factor de seguridad $F2$ “rayos”	80
Figura 41. Distribución del momento flector.	81
Figura 42. Análisis de esfuerzos sobre el rayo.	81
Figura 43. Fuerza axial en el rayo.	82
Figura 44. Esfuerzos máximos sobre el rayo.	83
Figura 45. Factor de seguridad $F1$ “eje”	85
Figura 46. Factor de seguridad $F2$ “eje”	85
Figura 47. Distancia entre elementos en el eje.	86
Figura 48. Diagrama de fuerzas cortante.	86
Figura 49. Diagrama de momentos.	87
Figura 50. Esquema del cubo.	89
Figura 51. Análisis de fuerzas en el perno cubo-eje.	90
Figura 52. Análisis de fuerzas para un perno.	91
Figura 53. Corte del perno en el disco.	92
Figura 54. Espesor del disco.	93
Figura 55. Pasto nativo del sector.	96
Figura 56. Evapotranspiración en el software CROPWAT.	97
Figura 57. Programa de Riego Software CROPWAT.	98
Figura 58. Distribución de riego.	100
Figura 59. Plano de la red hidráulica.	101
Figura 60. Demanda de riego en los nodos EPANET.	104
Figura 61. Demandas en las tuberías EPANET.	104
Figura 62. Simulación de riego EPANET.	104
Figura 63. Bomba ZM MAXXI 76.	105

Índice de anexos:

Anexo 1. Análisis del suelo laboratorio particular	115
Anexo 2. Evapotranspiración y profundidad radicular (FAO)	119
Anexo 3. Datos del aspersor seleccionado según Plastigama.....	120
Anexo 4. Propiedades de los fluidos y tuberías	121
Anexo 5. Acoplamientos SKF	126
Anexo 6. Afluente del sector Sharve	127
Anexo 7. Resultados hidráulicos para la sección 2 y 3 de riego.....	128
Anexo 8. Datos del afluente.....	133
Anexo 9. Resultado de simulación de la sección 1 de riego.....	135
Anexo 10. Resultado de simulación de la sección 2 de riego.....	136
Anexo 11. Resultado de simulación de la sección 3 de riego.....	137
Anexo 12. Sistema de accionamiento del mecanismo	138
Anexo 13. Ficha técnica de la bomba ZM 76 MAXXI	139
Anexo 14. Bomba ZM 76 MAXXI y vista explosiva de la bomba	140
Anexo 15. Planos de la rueda hidráulica.....	141
Anexo 16. Certifiacado de traducción	142

Simbología:

ADT	Agua Disponible Total	C_p	Calor específico a presión constante
C_c	Capacidad de Campo	λ	Calor latente
P_{mp}	Punto de Marchites Permanente	ϵ	Cociente de peso molecular de vapor de agua/aire seco
P_r	Profundidad de la raíz	H_R	Humedad
AFA	Agua Fácilmente Aprovechada	G_{sc}	Constante solar
L_N	Lamina neta	d_r	Distancia relativa inversa tierra-sol
f_a	Factor de Fracción de agotamiento	ω_s	Ángulo de radiación a la puesta del sol
ET_o	Evapotranspiración	φ	Latitud
Δ_v	Pendiente de la curva de presión de vapor	δ	Declinación solar
R_n	Radiación neta en la superficie del cultivo	j	Número de días en el año entre 1(1 de enero) y 365 (31 de diciembre)
R_a	Radiación extraterrestre	M	Mes
R_s	Radiación solar	N_i	Duración máxima de insolación
R_{ns}	Radiación neta solar o de onda corta	n_i	Duración real de insolación
R_{nl}	Radiación neta de onda larga	$a_s + b_s$	Fracción de radiación extraterrestre
R_{so}	Radiación solar en un día despejado	α	Coefficiente de reflexión del cultivo
G	Flujo de calor del suelo	β	Constante de Stefan Boltzmann
γ_{ps}	Constante psicrométrica	L_T	lamina total de riego
u_2	Velocidad del viento a 2 m de altura	E_a	Eficiencia de aplicación
e_s	Presión media de vapor de saturación	F_r	frecuencia de riego
e_a	presión real de vapor	t_r	Tiempo de riego
$e^\circ(T)$	Presión de saturación de vapor a la temperatura del aire	v_i	velocidad e infiltración
T_{2m}	Temperatura a 2 metros de la superficie	A	Área
T_{med}	Temperatura media	A_h	Área hidráulica
T_{max}	Temperatura máxima	P_m	Perímetro mojado
T_{min}	Temperatura mínima	S	Pendiente
P	Presión	R_h	Radio hidráulico
z	Elevación sobre el nivel del mar	N_R	Número de Reynolds
		v	Velocidad del fluido

v_l	Velocidad lineal de la rueda	rpm	Revoluciones por minuto
v_t	Velocidad en la tubería de admisión de la rueda	n	Número de revoluciones
v_e	Velocidad efectiva	E_c	Energía cinética rotacional
D	Dímetro	I	Momento de inercia
Le	Longitud equivalente	r	Radio
ν	Viscosidad cinemática	ω	Velocidad angular
g	Constante gravitacional	F	Fuerza
T	Ancho de la superficie libre del fluido	σ	Esfuerzo
V_M	Velocidad de Manning	q	Peso de la rueda
C_M	Coefficiente de Manning	C	Constante de número de rayos
t	Tiempo	b	Ancho de la rueda
c_s	Coefficiente de corrección superficial	e	Espesor
ρ	Densidad	θ	Ángulo formado entre aspas
m	Masa	θ_1	Ángulo entre rayos
V	Volumen	ϕ	Ángulo desde la línea media entre rayos
γ	Peso específico	M_f	Momento flector
Q	Caudal	c	Distancia desde el eje neutro
Q_e	Caudal efectivo	Ss	Módulo de sección
h	Altura	τ	Toque
f	Factor de fricción	σ_y	Esfuerzo del material
h_L	Perdidas de energía	F_s	Factor de seguridad
h_p	Perdidas primarias	d_o	Diámetro exterior
h_s	Perdidas secundarias	d_i	Diámetro interior
ϵ	Rugosidad absoluta	M_t	Momento torsor
K_T	Coefficiente de resistencia	J	Momento polar
P_M	Potencia mecánica	η	Rendimiento
P_i	Potencia interna	W	Watt
P_H	Potencia hidráulica	μ	Relación de Poisson
H	Carga agregada		

1 Título

Diseño de un sistema de riego para pastizales a través de un mecanismo de rueda hidráulica y bomba de pistón para el sector “Sharve” de la parroquia El Cisne

2 Resumen

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como propósito diseñar un sistema de riego mediante un mecanismo de rueda hidráulica y bomba de pistón. El funcionamiento del mismo se basa en elevar el agua desde el afluente hasta un depósito y posterior el suministro al cultivo de pasto. A su vez, mediante el método de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación siglas en inglés (FAO) se establece la cantidad de agua que debe ser proporcionado en cada riego, y así mantener el cultivo en su máxima producción. La metodología de canales abiertos hace posible determinar el caudal y volumen de un afluente natural; así mismo, evaluar la diferencia de caudales proporcionados por diferentes secciones transversales aplicadas. Se concluye que el volumen proporcionado por el afluente satisface la demanda de riego y el funcionamiento de la rueda hidráulica. El objetivo del trabajo es el dimensionamiento de la rueda hidráulica que cumpla con la demanda requerida por la bomba de pistón ZM seleccionada, con el número de cangilones, diámetros de la rueda y ancho de la rueda. Los resultados obtenidos tanto en el diseño agronómico como en el diseño hidráulico son confiables, ya que las comparaciones realizadas con las simulaciones en el software CROPWAT y EPANET, reflejan valores coherentes con los métodos matemáticos y los parámetros de funcionamiento del aspersor. Por otra parte, la rueda hidráulica de perfilería metálica y madera satisface a la bomba ZM, ya que los resultados obtenidos en su diseño son satisfactorios en comparación con ruedas metálicas existentes en la Facultad de Energía de la Universidad Nacional de Loja.

Palabras claves: Riego, FAO, Hidráulica de Canales, EPANET, Rueda Hidráulica.

2.1 Abstract

The present degree work pretends to design an irrigation system, using a hydraulic wheel and piston pump mechanism. Its operation is based on raising the water from the tributary to a deposit and later supplying it to the grass crop. In addition, using the method of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) the amount of water that must be provided in each irrigation is established, thus maintaining the crop at its maximum production. The open channel methodology allows for determining the flow and volume of a natural tributary; likewise, evaluating the difference in flow rates provided by different cross-sections applied. It is determined that the volume provided by the tributary satisfies the demand for irrigation and the operation of the hydraulic wheel. The objective of the work is to know the sizing of the hydraulic wheel that meets the demand required by the selected ZM piston pump, with the number of buckets, wheel diameters, and wheel width. The results obtained in both the agronomic design and the hydraulic design are reliable since the comparisons made with the simulations in the CROPWAT and EPANET software reflect values consistent with the mathematical methods and the sprinkler operating parameters. On the other hand, the hydraulic wheel of metallic and wooden profiles satisfies the ZM pump, given that the results obtained in the design are satisfactory in comparison with existing metallic wheels in the Faculty of Energy of the National University of Loja.

Keywords: Irrigation, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Canal Hydraulics, EPANET, hydraulic wheel.

3 Introducción

Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos-INEC (2019), bajo labor agropecuaria se encuentra 1.99 millones de hectáreas en todo el país, siendo el pasto el cultivo con mayor producción en el Ecuador con 38.85%, donde, una pequeña área consta de un sistemas de riego que le permite mantener el pastizal en producción continua (INEC, 2019).

El desarrollo de un sistema de riego para el cultivo de pasto permite reponer el agua consumida por la planta, que, mediante procesos biológicos y naturales se pierden por transpiración de la planta y evaporación del agua en el suelo, llamado evapotranspiración. El desarrollo de un sistema de riego es el complemento de suministro de agua a un cultivo, si las lluvias no llegan a satisfacer la demanda del pastizal para su desarrollo.

El diseño propuesto en el siguiente trabajo es un sistema que se adapta al entorno natural donde se encuentra el punto de riego. Aprovechando el recurso hídrico de una quebrada disponible en el sector, mismo que se usa como fuente de energía para el funcionamiento del mecanismo de rueda hidráulica y bomba de pistón.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO (siglas en inglés), mediante manuales y guías, propone una metodología que permite determinar la cantidad de agua por área de cultivo. Así mismo, mediante métodos empíricos y semi-empíricos demuestra la necesidad del cultivo, elaborando un procedimiento de riego que se ejecuta desde la demanda base del cultivo y frecuencia de riego recomendado por la FAO.

El software CROPWAT desarrollado por la FAO genera planes y programas de riego para los cultivos mediante datos meteorológicos, considerando el tipo de suelo y la evapotranspiración del lugar. El software EPANET permite desarrollar la simulación del diseño hidráulico propuesto, donde se verifican las demandas de cada emisor (aspersor) para la aplicación de riego.

De lo antes mencionado, nace la idea y motivación del diseño de un sistema de riego que permita ser implementado y mejorar la producción agrícola tanto personal, social y económica para el productor.

El presente trabajo de titulación se estructura en los siguientes objetivos generales y específicos:

General

Diseñar la red hidráulica de riego y rueda hidráulica que satisfaga la bomba de pistón para abastecer el requerimiento inicial de riego para el sector “Sharve” de la parroquia El Cisne.

Específicos

- Determinar los requerimientos iniciales de riego por hectárea.
- Evaluar la potencialidad del afluente aledaña al sector.
- Diseñar la rueda hidráulica que satisfaga la bomba de pistón seleccionada.

4 Marco teórico

4.1 Capítulo I: Suelo, Pastos y Forrajes

El suelo proporciona un anclaje mecánico a las plantas y es el medio en que se almacenan el agua y el oxígeno que absorben las raíces, el mismo está constituido por tres fases: sólida, líquida y gaseosa (ver **Figura 1**). La fase sólida se compone de partículas, minerales y materia orgánica. El espacio no ocupado por la fase sólida constituye los poros del suelo, que están ocupados por las fases líquida y gaseosa (Pizarro, 1996).

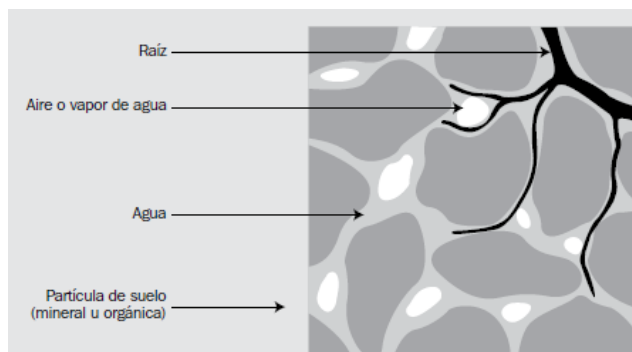


Figura 1. Composición del suelo.

Fuente: (Alocén Carrazón, 2007).

4.1.1 Textura del suelo

Las partículas minerales del suelo se clasifican en tamaños de: Arena (0.05-2) mm, Limo (0.002 - 0.05) mm y arcillas (<0.002) mm, que pueden unirse entre sí formando agregados y creando una estructura del suelo. La **Figura 2** muestra el triángulo de texturas del suelo, el porcentaje de cada una define la textura de este, conformando el suelo general de trabajo (Alocén Carrazón, 2007).

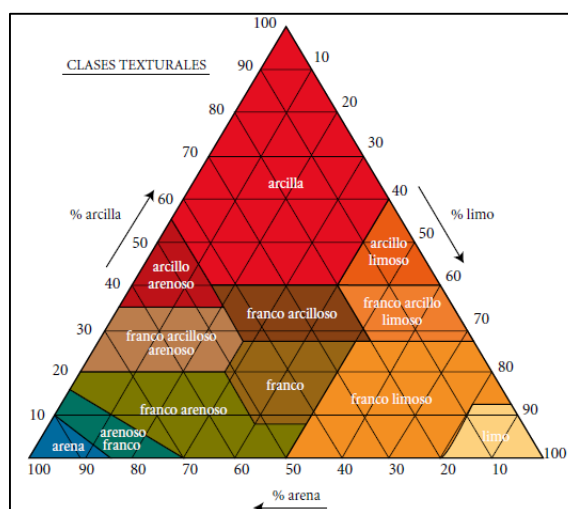


Figura 2. Triángulo de texturas del suelo.

Fuente: (León , 2018).

4.1.2 Velocidad de infiltración del suelo

Es la capacidad del suelo de absorber el agua. Cuando se inicia el riego, la velocidad de penetración en la superficie del suelo es muy rápida, si se aporta continuamente agua, la velocidad de infiltración es constante. En la **Tabla 1** se aprecia las velocidades de infiltración para diferentes tipos de suelos. (Traxco, 2009).

Tabla 1

Velocidades de infiltración

Tipo de Suelo	Velocidad de Infiltración(mm/hora)
Muy arenoso	20 – 25
Arenoso	15 – 20
Limo-Arenoso	10 – 15
Limo-Arcillosa	8 – 10
Arcilloso	< 8

Fuente: (Traxco, 2009).

4.1.3 Pastos y Forrajes

Los pastos y forrajes constituyen el alimento más barato disponible para la alimentación de ganado, además, ofrece todos los nutrientes necesarios para el desarrollo del animal. Las mejoras tecnológicas de producción de pastos redundará en forma directa en la producción animal (León, 2018).

4.1.3.1 Clasificación de las pasturas

Las pasturas se clasifican en pasturas naturales y pasturas sembradas. Las pasturas naturales son formadas por pastos nativos y las pasturas sembradas se dan en tierras cultivadas con semillas mejoradas (León, 2018).

4.1.3.2 Pasto de gordura

Se lo conoce en el país como Yaragua, proveniente del continente Africo y del país de Brasil, tomando como nombre científico “*Melinis Minutiflora Beauv*”. Pasto principalmente de pastoreo, que se puede realizar 5 o más cortes al año. Manteniendo una fertilización cada dos años, se puede alcanzar cortes entre 6 y 9 veces al año, desarrollando alturas de 90 a 150 cm, formando matas compactas con abundantes tallos.

Ciclo vegetativo perenne, ya que una vez sembrada puede durar de un promedio de 20 a 25 años. Es un pasto muy resistente a la sequía, pero no a la inundación, adaptable a cualquier tipo de suelo, pero alcanza un mejor desarrollo en terrenos Arcillosos-Arenosos (León, 2018).

4.2 Capítulo II: Riego

En términos generales, consiste en suministrar agua de forma artificial y satisfacer las necesidades de un cultivo a lo largo de todo su ciclo vegetativo. Existe algunos aspectos que deben cumplirse para un riego:

- Proporcionar la humedad necesaria para el desarrollo del cultivo.
- Asegurar la cosecha en tiempo de sequía.
- Refrigerar al suelo y la atmósfera para mejorar el hábitat del cultivo (Pizarro, 1996).

Para establecer un programa de riego en un determinado cultivo, existen parámetros que condicionan el diseño para la necesidad de riego. Los factores como evapotranspiración, tipo de suelo y profundidad de la raíz, son parámetros que definen los requerimientos de agua de un cultivo (CONGOPE, 2016).

4.2.1 Agua disponible total (ADT)

El ADT es la capacidad de un suelo de retener el agua necesaria para las plantas. Después de una lluvia o riego, el suelo comenzará a drenar el agua hasta alcanzar la capacidad de campo. El contenido de humedad en la zona radicular se reducirá, como resultado del consumo de agua por el cultivo. A medida que aumenta el consumo, el agua remanente será retenida con mayor fuerza por las partículas del suelo, lo que hará más difícil su extracción por las raíces (ver **Figura 3**). En algún momento la extracción de agua será nula y habrá alcanzado el punto de marchitez permanente del cultivo (Villegas & Torres).

Los contenidos de humedad por encima de la capacidad de campo y contenidos de humedad por debajo del punto de marchitez no son extraídos por las raíces de las plantas, por lo cual, el total de agua disponible en la zona radicular está dada por la **Ecuación (1)** (CONGOPE, 2016).

$$ADT = (Cc - Pm) * Pr \quad (1)$$

Donde: ADT = Agua Disponible Total (mm)

Cc = Capacidad de Campo (%/100)

P_{mp} = Punto de marchitez (%/100)

P_r = Profundidad de la raíz (mm)

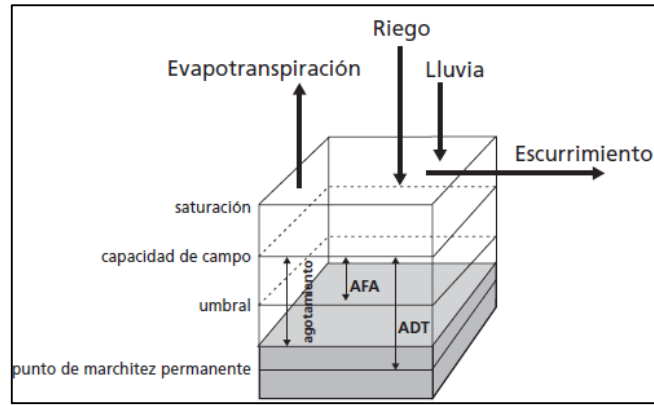


Figura 3. Balance de agua en la zona radicular.

Fuente: (Villegas & Torres).

4.2.2 Agua fácilmente aprovechada (AFA)

A medida que la planta consume el agua del suelo, esta va disminuyendo y cada vez necesita hacer un mayor esfuerzo para extraerla. En la **Figura 3** cuando la humedad del suelo está por debajo del valor del umbral, el agua del suelo no podrá ser transportada por las raíces con la velocidad suficiente para satisfacer la demanda y el cultivo comenzará a sufrir de estrés hídrico. Extraer el agua de la zona radicular sin experimentar estrés hídrico se denomina agua fácilmente aprovechada AFA (Villegas & Torres). La lámina neta del cultivo está dada por la **Ecuación (2)**.

$$L_N = ADT * f_a \quad (2)$$

Donde: L_N = Lámina neta (mm)

ADT = Agua disponible total

f_a = Factor de fracción de agotamiento (0 – 1)

El factor de fracción de agotamiento f_a , está dada a una evapotranspiración constante por cada cultivo. Una aproximación numérica para ajustar f_a a la tasa de evapotranspiración de un lugar establecido está dada por la **Ecuación (3)**.

$$f_c = f_a + 0.04(5 - ET_o) \quad (3)$$

4.2.3 Evapotranspiración (ET_o)

La evapotranspiración (ET) es la combinación de dos procesos separados, porque el agua se llega a perder a través de la superficie del suelo por evaporación y por transpiración a través del cultivo (ver **Figura 4**). La evaporación y la transpiración (evapotranspiración) ocurren simultáneamente y no hay manera sencilla de distinguir entre los dos procesos (Villegas & Torres).

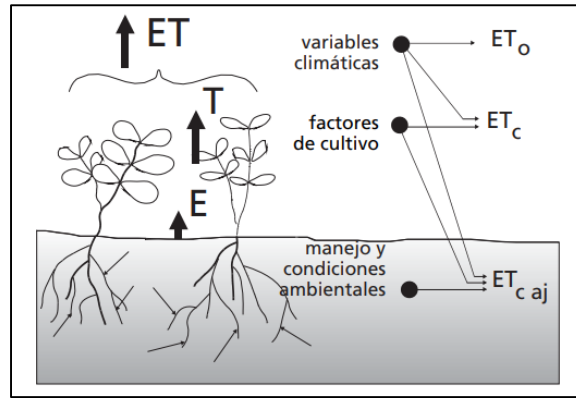


Figura 4. Factores de la evapotranspiración.

Fuente: (Villegas & Torres).

De la **Figura 4** incluye tres diferentes definiciones de la evapotranspiración donde: ET_o es la evapotranspiración del cultivo de referencia en el lugar; ET_c es la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándares de manejo; $ET_{c aj}$ es la evapotranspiración bajo condiciones no estándares de manejo.

Desde el punto de vista matemático el método de la FAO Penman-Monteith, es el método más recomendado para determinar la ET_o con parámetros climáticos que aproxima de una manera cercana la ET_o de cualquier localidad evaluada, asumiendo bases físicas sólidas que incorpora explícitamente parámetros fisiológicos, aerodinámicos y está dada por la **Ecuación (4)** (Villegas & Torres).

$$ET_o = \frac{0.408\Delta_v(R_n - G) + \gamma_{ps} \frac{900}{T + 273} u_2(e_s - e_a)}{\Delta_v + \gamma_{ps}(1 + 0.34u_2)} \quad (4)$$

Donde: ET_o = Evapotranspiración (mm/día)

Δ_v = Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa/°C)

R_n = Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/m² día)

G = Flujo del calor del suelo (MJ/m² día)

γ_{ps} = Constante Psicrométrica (kPa/°C)

u_2 = Velocidad del viento a 2 m de altura (m/s)

e_s = Presión media de vapor de saturación (kPa)

e_a = Presión real del vapor (kPa)

$e_s - e_a$ = Déficit de la presión de vapor (kPa)

T = Temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)

Los parámetros señalados en la **Ecuación (4)** se determinan mediante los procedimientos matemáticos que se explican a continuación:

- Presión atmosférica.

La presión atmosférica (P), es la presión ejercida por el peso de la atmósfera terrestre. La evaporación en altitudes elevadas ocurre en partes gracias a la baja presión atmosférica que se expresa en la constante psicrométrica, **Ecuación (5)**.

$$P = 101.3 \left[\frac{293 - 0.0065z}{293} \right]^{5.26} \quad (5)$$

Donde: P = Presión atmosférica (kPa)

z = Elevación sobre el nivel del mar (m)

- Calor latente de evaporación.

Energía requerida para cambiar una unidad de masa de agua líquida a vapor de agua bajo presión y temperatura constante. Cuando varía dentro de los rangos de temperaturas considerados normales se estima un valor constante de $\lambda = 2.45 \text{ MJ/kg}$, para la simplificación de la ecuación FAO Penman-Monteith (Villegas & Torres).

- Constante psicrométrica.

La constante psicrométrica se determina por la **Ecuación (6)**.

$$Y_{ps} = \frac{c_p P}{\epsilon \lambda} \quad (6)$$

Donde: c_p = Calor específico a presión constante $1.013 \times 10^{-3} \text{ (MJ/kg } ^\circ\text{C)}$

ϵ = Cociente de peso molecular de vapor de agua / aire seco 0.622

- Temperatura media del aire.

Está dada por la **Ecuación (7)**.

$$T_{med} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad (7)$$

- Presión media de vapor de saturación.

La presión de saturación se determina en función de la temperatura del aire, puesto que de ella depende, la relación se expresa en la **Ecuación (8)**.

$$e^\circ(T) = 0.6108 * e^{\left[\frac{17.27 * T}{T + 237.3} \right]} \quad (8)$$

Donde: $e^\circ(T)$ = Presión de saturación de vapor a la temperatura del aire (kPa)

$e = 2.7183$ (base del logaritmo natural)

Para la presión media de saturación de vapor se expresa a la temperatura máxima y mínima, se determina por la **Ecuación (9)**.

$$e_s = \frac{e^\circ(T_{max}) + e^\circ(T_{mi})}{2} \quad (9)$$

- Pendiente de la curva de presión de saturación de vapor

La pendiente de la curva de presión de saturación de vapor se determina por la **Ecuación (10)** con relación a la presión de saturación de vapor y la temperatura media.

$$\Delta_v = \frac{4098 \left[0.6108 * e^{\left(\frac{17.27 * T_{med}}{T_{med} + 237.3} \right)} \right]}{(T_{med} + 237.3)^2} \quad (10)$$

Donde: Δ_v = Pendiente de la curva de la presión de saturación de vapor $\left(\frac{\text{kPa}}{^\circ\text{C}} \right)$

- Presión real de vapor.

La presión real de vapor se deriva de la humedad relativa y está dada por la **Ecuación (11)**.

$$e_a = \frac{e^\circ(T_{mi}) \frac{H_{Rmax}}{100} + e^\circ(T_{max}) \frac{H_{Rmi}}{100}}{2} \quad (11)$$

Donde: e_a = Presión de vapor real (kPa)

H_R = Humedad (%)

- Radiación extraterrestre.

La radiación extraterrestre para cada día del año y para diversas latitudes se puede estimar a partir de la constante solar, declinación solar y época del año, **Ecuación (12)** (Villegas & Torres).

$$R_a = \frac{24 * 60}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \sin \omega] \quad (12)$$

Donde: R_a = Radiación extraterrestre (MJ/m² dia)

G_{sc} = Constante solar = 0.082 (MJ/m² min)

d_r = Distancia relativa inversa tierra-sol

ω_s = Ángulo de radiación a la puesta del sol (°)

φ = Latitud (°)

δ = Declinación solar (°)

La distancia relativa inversa tierra-sol y la declinación solar están dadas por la **Ecuación (13)** y **Ecuación (14)**.

$$d_r = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{2\pi}{365}j\right) \quad (13)$$

$$\delta = 0.409 \sin\left(\frac{2\pi}{365}j - 1.39\right) \quad (14)$$

Donde j es el número de días en el año entre 1 (1 de enero) y 365 (31 de diciembre). Se determina una evapotranspiración promedio de cada mes, entonces j tomará un valor en el primer mes de 15 días (Villegas & Torres). Para cálculos mensuales de la evapotranspiración j es el día 15 de cada mes y viene dado por la **Ecuación (15)**.

$$j = 30.4M - 15 \quad (15)$$

Donde: M = mes

El ángulo de radiación a la hora de la puesta del sol está dado por la **Ecuación (16)**.

$$\omega_s = \arccos[-\tan \varphi \tan \delta] \quad (16)$$

- Duración máxima de insolación.

Se expresa en la **Ecuación (17)**.

$$N_i = \frac{24}{\pi} \omega_s \quad (17)$$

Donde: N_i = Duración máxima de insolación (horas)

- Radiación solar.

Se determina mediante la fórmula de Angstrom que relaciona la radiación solar con la radiación extraterrestre y la duración de la insolación y está dada por la **Ecuación (18)** (Villegas & Torres).

$$R_s = \left(a_s + b_s \frac{n_i}{N_i}\right) R_a \quad (18)$$

Donde: R_s = Radiación solar (MJ/m² día)

n_i = Duración real de insolación (horas)

N_i = Duración máxima posible de la insolación (horas)

$\frac{n_i}{N_i}$ = Duración relativa de insolación (adimensional)

El valor a_s constante de regresión, expresa la fracción de radiación extraterrestre que llega a la tierra en días muy nublados ($n_i = 0$). El valor de $a_s + b_s$ fracción de la radiación extraterrestre que llega a la tierra en días despejados ($n_i = N_i$), depende de las condiciones atmosféricas y la declinación solar los valores de la ecuación pueden variar. Si no se dispone de datos reales de radiación solar y no se realizaron calibraciones a la ecuación se recomienda utilizar valores de $a_s = 0.25$ y $b_s = 0.5$ (Villegas & Torres).

- Radiación solar en día despejado.

La radiación en días despejados, cuando $n_i = N_i$, se puede calcular por la **Ecuación (19)**.

$$R_{so} = (a_s + b_s)R_a. \quad (19)$$

Donde: R_{so} = Radiación solar en un día despejado (MJ/m²día)

- Radiación neta solar o de onda corta.

Está dada por el equilibrio entre la radiación solar entrante y la reflejada y se determina por la **Ecuación (20)**.

$$R_{ns} = (1 - \alpha)R_s \quad (20)$$

Donde: R_{ns} = Radiación neta solar o de onda corta (MJ/m² día)

α = Albedo o coeficiente de reflexión del cultivo = 0.23, para cultivo hipotético de referencia (adimensional)

- Radiación neta de onda larga.

Expresada cuantitativamente por la ley de Stefan Boltzmann en la **Ecuación (21)** (Steduto, 2012).

$$R_{nl} = \beta \left[\frac{T_{max,K}^4 + T_{mi,K}^4}{2} \right] (0.34 - 0.14\sqrt{e_a}) \left(1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35 \right) \quad (21)$$

Donde: R_{nl} = Radiación neta de onda larga (MJ/m² día)

β = Constante de Stefan Boltzmann 4.903×10^{-9} (MJ/ K⁴ m² día)

$\frac{R_s}{R_{so}}$ = Radiación relativa de onda corta (valores ≤ 1)

- Radiación neta.

La radiación neta es la diferencia entre la relación neta de onda corta y la radiación neta de onda larga **Ecuación (22)**.

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (22)$$

- Flujo de calor del suelo.

Para un flujo de calor para periodos mensuales se asume una capacidad calorífica constante del suelo de 2.1 (MJ/m³ °C) a una profundidad media **Ecuación (23)**.

$$G_{mes,i} = 0.07(T_{mes,i+1} - T_{mes,i-1}) \quad (23)$$

Donde: $G_{mes,i}$ = Flujo de calor del suelo (MJ/m² día)

$T_{mes,i}$ = Temperatura media del aire en el mes i (°C)

$T_{mes,i-1}$ = Temperatura media del aire en el mes i-1 (°C)

$T_{mes,i+1}$ = Temperatura media del aire en el mes i+1 (°C)

- Velocidad del viento a 2 m de la superficie.

La velocidad del viento sobre la superficie varía. La fricción superficial tiende a reducir la velocidad. Determinar la velocidad del viento, los anemómetros se colocan a una altura de 10 m estándar para la toma de datos meteorológicos. Para la evapotranspiración se requiere una velocidad del viento a 2 m de la superficie. Para ajustar la velocidad se utiliza la **Ecuación (24)** (Villegas & Torres).

$$u_2 = u_z \frac{4.87}{\ln(67.8 z - 5.42)} \quad (24)$$

Donde: u_2 = Velocidad del viento a 2 m sobre la superficie (m/s)

u_z = Velocidad del viento medida a 10 m de la superficie (m/s)

z = Altura de medición sobre la superficie (m)

4.2.4 Lámina bruta o total de riego

En la **Tabla 2** se muestra las eficiencias de riego de acuerdo con diferentes métodos, se evidencia que no es posible alcanzar un 100% de eficiencia en el suministro de riego, existiendo pérdidas de aplicación de agua por la no uniformidad de la aplicación, escurrimiento superficial, percolación debajo de las raíces. Para asegurar la aplicación neta de la cantidad que será consumida por la planta, es necesario emplear una mayor cantidad de agua en el riego con

el fin de contrarrestar dichas pérdidas. La **Ecuación (25)** permite calcular la Lámina total de riego. (CONGOPE, 2016).

$$L_T = \frac{L_N}{E_a} \quad (25)$$

Donde: L_T = Lámina total de riego (mm)

L_N = Lámina neta (mm)

E_a = Eficiencia de aplicación (%)

Tabla 2

Eficiencia de aplicación de riego

Método de Riego	Eficiencia (E_a) %
Riego por surcos	50 – 70
Riego por inundación	60 – 80
Riego por inundación permanente	30 – 40
Riego por aspersión	65 – 85
Riego por goteo	75 – 90

Fuente: (CONGOPE, 2016).

4.2.5 Frecuencia de riego

El número de días que transcurre de riego a riego se llama frecuencia de riego. Depende del balance de la oferta y demanda de agua existente, es decir, de la capacidad de retención de agua del suelo, la demanda de agua de la planta y se determina por la **Ecuación (26)** (CONGOPE, 2016).

$$F_r = \frac{L_N}{ET_o} \quad (26)$$

Donde: F_r = Frecuencia de riego (días)

L_N = Lámina neta (mm)

ET_o = Evapotranspiración (mm/día)

4.2.6 Tiempo de riego

Es el tiempo necesario para que la lámina total de agua se infiltre en el suelo, se calcula mediante la **Ecuación (27)**.

$$t_r = \frac{L_T}{vi} \quad (27)$$

Donde: t_r = Tiempo de riego (horas)

v_i = Velocidad de infiltración (mm/hora)

4.3 Capítulo III: Canales Abiertos

4.3.1 Canales abiertos

Son conductos en los que el fluido circula por la acción de la gravedad y sin presión manométrica, pues la superficie del fluido está en contacto con la atmósfera, es decir que el agua fluye impulsada por la presión atmosférica y de su propio peso.

Los canales pueden ser naturales (ríos y arroyos) o artificiales (construidos por el hombre), dentro de este último pueden estar incluidos aquellos conductos cerrados que trabajan parcialmente llenos (alcantarillas y tuberías) (Villón Beéjar, 2007).


La sección transversal del canal abierto resulta crítica para su capacidad de entregar una rapidez de flujo volumétrico particular del fluido, su caracterización se basa en los términos de radio hidráulico (R_h), área de sección transversal de la corriente de flujo (A_h), pendiente del canal (S) y el perímetro mojado (P_m). La sección transversal del canal depende de las formas geométricas que pueda aproximarse el canal (Mott, 2015).

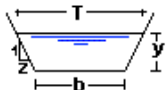
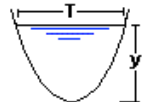
4.3.1.1 Secciones transversales

Los canales abiertos naturales por donde circula el fluido con frecuencia son de tierra, piedra o una mezcla de los dos. Determinar su sección transversal se dificulta por la irregularidad de sus paredes por donde circula el fluido. Las paredes irregulares de estos canales se aproximan a relaciones geométricas que facilitan la determinación de su sección transversal como muestra la **Tabla 3**.

Tabla 3

Geometría frecuente de canales abiertos

Tipo de sección	Área (m)	Perímetro mojado (m)
Rectangular 	$A_h = b * y$ (28)	$P_m = 2y * b$ (29)

Tipo de sección	Área (m)	Perímetro mojado (m)
Trapecio 	$A_h = \frac{b + T}{2} y \quad (30)$	$P_m = b + 2y\sqrt{1 + Z^2} \quad (31)$
Parabólico 	$A_h = \frac{2}{3} T y \quad (32)$	$P_m = T + \frac{8y^2}{3T} \quad (33)$

Fuente: (Rodríguez Ruiz, 2008).

Pendiente.

Está dada por la **Ecuación (34)**.

$$S = \frac{Y_{max}}{X_{max}} * 100\% \quad (34)$$

Donde: S = Pendiente (adimensional)

Y_{max} = Altura máxima (m)

X_{max} = Ancho máximo (m)

4.3.1.2 Radio hidráulico

La dimensión característica de los canales abiertos es el radio hidráulico. Está dada por la relación entre el área de la sección transversal neta de corriente de flujo por el perímetro mojado de la sección. El área de la sección debe ser evidente a la geometría de selección. Para corrientes naturales se puede aproximar el perímetro mojado a la longitud de los límites de la sección transversal que entran en contacto. El radio hidráulico se calcula mediante la **Ecuación (35)** (Rodríguez Ruiz, 2008).

$$R_h = \frac{A_h}{P_m} \quad (35)$$

Donde: R_h = Radio hidráulico (m)

A_h = Área sección transversal del flujo (m²)

P_m = Perímetro mojado (m)

4.3.1.3 Número de Reynolds (Tuberías)

En cualquier sistema de tuberías existen pérdidas de energía debido a la fricción que produce el fluido en una tubería, dichas pérdidas se ven afectadas por el tipo de fluido, la velocidad y la naturaleza de la superficie de la pared de la tubería estacionaria. Los flujos con número de Reynolds bajos fluyen lentamente, suave e iguales se llaman laminares. Los flujos con Reynolds altos son rápidos, caóticos y desiguales se denominan turbulentos (Mott, 2015).

Si $N_R < 2000$, el flujo es laminar.

Si $N_R > 4000$, el flujo es turbulento.

Donde el número de Reynolds para secciones circulares está dado por la **Ecuación (36)**:

$$N_R = \frac{vD}{\nu} \quad (36)$$

Donde: N_R = Número de Reynolds (adimensional)

v = Velocidad del fluido (m/s)

D = Diámetro de la tubería (m)

ν = Viscosidad cinemática del fluido (m^2/s)

4.3.1.4 Número de Reynolds (Canales Abiertos)

El número de Reynolds para el flujo en canales abiertos se expresa en la **Ecuación (37)**.

$$N_R = \frac{vR_h}{\nu} \quad (37)$$

Donde se produce un flujo laminar cuando $N_R < 500$. El rango de transición va de 500 a 2000 y por lo general el flujo turbulento se presenta cuando $N_R > 2000$.

4.3.1.5 Ecuación de Manning

Robert Manning en 1889 presenta la ecuación para determinar la velocidad en canales abiertos y cerrados en función del radio hidráulico y la rugosidad del material que está construido el canal, misma que se presenta en la **Ecuación (38)**. Manning establece las rugosidades de algunos materiales en la **Tabla 4** (Rodríguez Ruiz, 2008).

$$V_M = \frac{1}{C_M} R_h^{2/3} S^{1/2} \quad (38)$$

Donde: V_M = Velocidad Manning (m/s)

C_M = Coeficiente de rugosidad de Manning

S = Pendiente de la línea de energía

Tabla 4

Valores del coeficiente Manning "CM"

Material	Valores		
	Mínimo	Normal	Máximo
Arroyo de montaña con muchas piedras.	0.035	0.04	0.05
Tepetate (liso y uniforme).	0.025	0.035	0.04
Tierra en buenas condiciones.	0.017	0.02	0.025
Tierra libre de vegetación.	0.02	0.025	0.033
Mampostería seca.	0.025	0.03	0.033
Mampostería con cemento.	0.017	0.02	0.025
Concreto.	0.013	0.017	0.02
Asbesto cemento.	0.09	0.01	0.011
Hierro fundido.	0.011	0.014	0.016
Acero.	0.013	0.015	0.017
Polietileno y PVC.	0.007	0.008	0.009
Vidrio, cobre.	0.009	0.01	0.01

Fuente: (Rodríguez Ruiz, 2008).

4.3.1.6 Velocidad del fluido (flotador)

La velocidad promedio de un fluido en canales abiertos depende de las características de la superficie de la línea por donde corre el fluido. La velocidad mediante un flotador se determina por la **Ecuación (39)**.

$$v = \frac{d}{t} \quad (39)$$

Donde: v = Velocidad del fluido (m/s)

d = Distancia (m)

t = Tiempo (s)

La velocidad del fluido en centro del canal es superior que en las paredes y en el fondo del canal, por lo tanto, un factor de corrección por la superficie del canal " C_s " equipara la velocidad en todo el canal de conducción **Tabla 5** (Hidalgo, 2017).

Tabla 5Coeficiente de corrección " C_s "

Superficie del Canal	Coefficiente
Arena	0.9
Arcilla	0.85
Roca	0.8

Fuente:(Hidalgo, 2017).

4.3.2 Hidrodinámica**4.3.2.1 Propiedades de los Fluidos****4.3.2.1.1 Densidad**

La densidad es la cantidad de masa presente por cada unidad de volumen y se determina por la **Ecuación (40)**.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (40)$$

Donde: ρ = Densidad (kg/m^3)

m = Masa (kg)

V = Volumen (m^3)

4.3.2.1.2 Peso específico

El peso específico es el peso por unidad de volumen (ver **Ecuación (41)**).

$$\gamma = \rho * g = \frac{m * g}{V} \quad (41)$$

Donde: γ = Peso específico (N/m^3)

ρ = Densidad (kg/m^3)

g = Constante gravitacional (m/s^2)

4.3.2.1.3 Viscosidad dinámica

A medida que un fluido se desplaza, se desarrolla en él un esfuerzo cortante cuya magnitud depende de la viscosidad del fluido. Se puede delimitar como la fuerza requerida para deslizar una capa de área unitaria de una sustancia sobre otra. Las unidades de la viscosidad dinámica en el SI son (Pa.s).

4.3.2.1.4 Viscosidad cinemática

En fluidos muchos cálculos implican la relación de la viscosidad dinámica con la densidad del fluido. Por una cuestión de conveniencia, la viscosidad cinemática se define como $\nu = \text{viscosidad dinámica}/\text{densidad}$. Donde las unidades en el SI son (m^2/s) (Mott, 2015).

4.3.2.2 Caudal

- Caudal es el volumen de fluido por unidad de tiempo que pasa a través de una sección transversal a la corriente.
- La velocidad que circula un fluido a través de una sección transversal.

Se determina por la **Ecuación (42)**.

$$Q = \frac{V}{t} = v * A \quad (42)$$

Donde: $Q = \text{Caudal } (\text{m}^3/\text{s})$

$A = \text{Área de la sección transversal } (\text{m}^2)$

4.3.2.3 Ecuación de la continuidad

Un fluido fluye desde la sección 1 hasta sección 2 a una velocidad constante. Es decir, la cantidad de fluido que fluye a lo largo de cualquier sección en una cantidad de tiempo dada es constante. Si se añade o se elimina fluido entre una sección 1 y una sección 2, la masa del fluido de la sección 2 debe ser la misma masa de la sección 1 (ver **Figura 5**) (Mott, 2015).

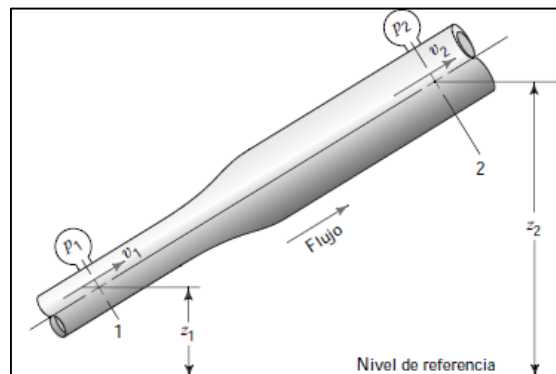


Figura 5. Principio de continuidad.

Fuente: (Mott, 2015).

La ecuación de continuidad para cualquier fluido está dada por la **Ecuación (43)**.

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (43)$$

Dado que $Q = Av$ se tiene la **Ecuación (44)**.

$$Q_1 = Q_2 \quad (44)$$

4.3.2.4 Ecuación de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli se basa en el principio de la conservación de la energía, tomando en cuenta la totalidad de la energía presente dentro de un sistema. Basado en el principio que la energía no se crea ni se destruye, sino que se puede transformar de una forma a otra, se denomina ley de la conservación de la energía (ver **Figura 6**) (Mott, 2015).

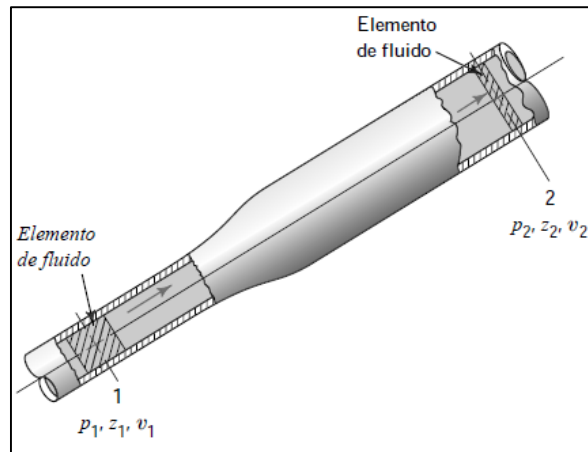


Figura 6. Principio de la conservación de la energía.

Fuente: (Mott, 2015).

Considere la **Figura 6**, desde el punto 1 al punto 2, los valores de p , z y v son diferentes en las dos secciones. Si no se añade energía al fluido y no se pierde energía entre el punto 1 y punto 2, entonces el principio de la conservación de la energía se expresa en la **Ecuación (45)** (Mott, 2015).

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (45)$$

Donde: $\frac{P}{\gamma}$ = Carga de presión (m)

z = Carga de elevación (m)

$\frac{v^2}{2g}$ = Carga de velocidad (m)

4.3.2.5 Ecuación General de la Energía

La ecuación general de la energía es una ampliación de la ecuación de Bernoulli. Donde se ve inmerso en las pérdidas y ganancias de energía. Los distintos tipos de dispositivos y componentes de los sistemas de fluidos añaden, eliminan o causan pérdidas indeseables de energía en un flujo. Cada válvula, T, codo, reducción y ampliación hacen que se pierda energía desde el fluido, como también por longitudes rectas de tubería debido a la fricción y se expresa en la **Ecuación (46)**.

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + h_A - h_L - h_R = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (46)$$

Donde, h_A es la energía añadida al fluido mediante un dispositivo mecánico como una bomba, este se le denomina carga agregada total de la bomba, h_L pérdidas de energía del sistema debido a la fricción en tuberías o pérdidas menores debido a válvulas y accesorios, h_R es la carga retirada por motores hidráulicos (Mott, 2015).

4.3.2.6 Ecuación de Torricelli

De la ecuación de Bernoulli, con $P_1 = P_2 = 0$ a presión atmosférica y $v_1 = 0$ en la superficie libre del fluido, se obtiene la **Ecuación (47)** de Torricelli o velocidad de salida por un orificio (Mataix, 1986).

$$v = \sqrt{2gh} \quad (47)$$

Donde: Altura $h = z_1 - z_2$ (m)

4.3.2.7 Pérdidas de Energía

4.3.2.7.1 Pérdidas Primarias

Ecuación de Darcy

De la ecuación general de la energía el término h_L se define como las pérdidas de energía en el sistema. Esta pérdida de energía se debe a la fricción del fluido que fluye, para el caso del fluido en tuberías y tubos, la fricción es proporcional a la carga de velocidad del flujo y la relación de la longitud por el diámetro de la corriente del flujo, el cual se expresa como la **Ecuación (48)** de Darcy, tanto como para flujo laminar y turbulento (Mott, 2015).

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} \quad (48)$$

Donde: h_{Lp} = Pérdidas primarias de energía debido a la fricción (m)

L = Longitud de la corriente de flujo (m)

D = Diámetro de la tubería (m)

v = Velocidad del flujo (m/s)

f = Factor de fricción (adimensional)

Factor de fricción

En la zona de flujo laminar debajo de $N_R = 2000$, f el factor de fricción se puede calcular mediante $f = 64/N_R$. Para un flujo laminar o turbulento el factor de fricción se determina mediante la **Ecuación (49)** (Mott, 2015).

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7(D/\varepsilon)} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (49)$$

Donde: ε = Rugosidad absoluta del material (m)

4.3.2.7.2 Pérdidas Secundarias

Las pérdidas secundarias de energía son proporcionales a la carga de velocidad del fluido a medida que fluye por un codo, T, ampliación, contracción de la sección de flujo o a través de una válvula y se determina por la **Ecuación (50)**.

$$h_L = K_T \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (50)$$

Donde: h_{LS} = Pérdidas menores o secundarias (m)

K_T = Coeficiente de resistencia (adimensional)

El coeficiente de resistencia K está dada por la longitud equivalente y el diámetro del accesorio por la **Ecuación (51)**.

$$K_T = \left(\frac{L_e}{D} \right) f_T \quad (51)$$

Donde: L_e/D = Longitud equivalente del accesorio (adimensional)

f_T = Factor de fricción en zona de turbulencia completa (adimensional)

4.3.2.8 Fuerzas sobre objetos en movimiento

Las paletas de turbinas y otras máquinas rotatorias son muestras de objetos móviles, sobre los que actúan fluidos en movimiento a alta velocidad. El fluido posee mayor velocidad que las aspas de una máquina rotatoria que ejerce una fuerza sobre estas (ver **Figura 7**), haciendo que se aceleren o generen energía mecánica útil (Mott, 2015).

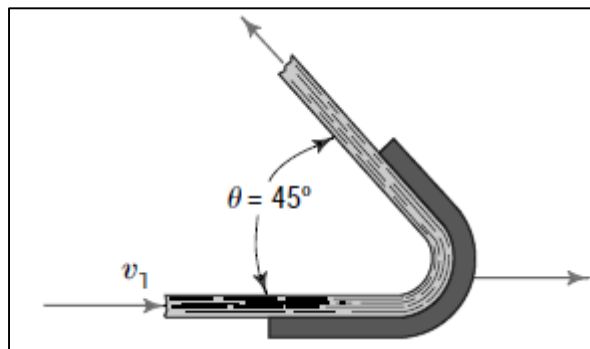


Figura 7. Fuerza ejercida por un fluido.

Fuente: (Mott, 2015).

4.3.2.8.1 *Velocidad efectiva*

La velocidad efectiva está dada por la diferencia entre velocidad de entrada del fluido y la velocidad periférica del elemento en movimiento **Ecuación (52)**.

$$v_e = v_t - v_l \quad (52)$$

4.3.2.8.2 *Caudal efectivo*

Se determina por la velocidad efectiva y el área de la tubería de salida del chorro **Ecuación (53)**.

$$Q_e = v_e A \quad (53)$$

Reacciones producidas por las fuerzas del fluido de la **Figura 7** se determina por la **Ecuación (54)** y **Ecuación (55)**.

$$R_x = \rho Q_e v_e (1 + \cos\theta) \quad (54)$$

$$R_y = \rho Q_e v_e \sin\theta \quad (55)$$

Donde: θ = Ángulo formado entre las aspas ($^\circ$)

4.4 **Capítulo IV: Rueda hidráulica e Inercia**

4.4.1 *Rueda Hidráulica*

Se pueden nombrar receptores hidráulicos a las máquinas en la que el agua actúa como fuerza motriz, recibe la energía del agua y la transforma en energía mecánica o según sea su utilización (Cardona Alvarez, 1985).

4.4.1.1 **Clasificación de la rueda hidráulica**

- Ruedas de agua por debajo.

El choque del chorro de agua se realiza en la parte inferior de la rueda. Para el mejor aprovechamiento de este tipo de rueda se encaja la parte inferior de la rueda en el canal.

- Ruedas con agua de costado o de lado.

Es tipo de rueda recibe el agua por debajo de su eje de giro.

- Ruedas con aguas superior.

Este tipo de rueda generalmente se usan para aprovechar grandes saltos de agua. Se componen de dos coronas circulares unidas en su interior por un fondo cilíndrico o tambor (Cardona Alvarez, 1985).

4.4.2 Volantes De Inercia

Los volantes por lo regular son dispositivos mecánicos para controlar la variación de velocidad de una máquina. Los volantes distribuyen energía dentro de un ciclo para controlar la velocidad. Si la potencia de entrada es variable y los requerimientos de carga son constantes, se puede utilizar un volante para aumentar la uniformidad del funcionamiento (Hibbeler, 2010).

4.4.2.1 Momentos de inercia

El momento de inercia de masa de cuerpo es una medida de la resistencia del cuerpo a la aceleración angular.

- Momento de inercia con respecto a una masa

El momento de inercia de un cuerpo respecto a un eje de giro se representa mediante la masa por la distancia al cuadrado con respecto a su centro de rotación **Ecuación (56)**.

$$I = mr^2 \quad (56)$$

Donde: I = Momento de inercia (kg m^2)

m = Masa del cuerpo (kg)

r = Distancia del eje central al cuerpo (m)

- Momento de inercia para un cilindro

Su momento de inercia está dado con respecto a su radio de giro, por lo tanto, se obtiene por la **Ecuación (57)**.

$$I = \frac{1}{2} m(r_1^2 + r_2^2) \quad (57)$$

- Momento de inercia de cuerpos compuestos

Un cuerpo que esté constituido por un número de formas simples como discos, esferas y barras, el momento de inercia del cuerpo con respecto a su eje puede determinarse al sumar algebraicamente los momentos de inercia de todas las formas compuestas calculadas con respecto a un mismo eje. La suma algebraica es necesaria, ya que hay partes que se debe considerar como negativas que corresponden a agujeros sustraídos de una placa sólida (Hibbeler, 2010).

4.4.2.2 Energía cinética rotacional

La ecuación de la energía cinética de rotación depende de la velocidad angular con la que gira el cuerpo (ver **Ecuación 58**). Mientras más alejado esté la masa del cuerpo con

respecto a su eje de rotación, se requiere más energía para que el cuerpo adquiriera una velocidad angular.

$$E_{c\text{ rotacional}} = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (58)$$

Donde: $E_{c\text{ rotacional}}$ = Energía cinética rotacional (N m)

I = Momento de inercia (kg m²)

ω = Velocidad angular (rad/s)

La velocidad angular está dada por la **Ecuación (59)**.

$$\omega = \frac{n\pi}{30} \quad (59)$$

Donde: n = rpm (revoluciones por minuto)

La velocidad lineal con respecto a la velocidad angular está dada por la **Ecuación (60)**.

$$v_l = \frac{\omega D}{2} \quad (60)$$

4.4.3 Esfuerzos para un volante

Fuerza axial en un rayo

Está dada por la **Ecuación (61)**.

$$F = \frac{2q v_{media}^2}{3gC} \quad (61)$$

Donde: F = Fuerza en el rayo (N)

v_{media} = Velocidad en el radio medio

q = Peso de la llanta o anillo por unidad de longitud (kg/m)

C = Contante que depende de la sección transversal de la llanta, área de la sección transversal del rayo, ángulo entre rayos y número de rayos,

Valores numéricos para la constante "C" se obtienen mediante la **Ecuación (62)**.

$$4 \text{ rayos } (2\theta_1 = 90); C = \frac{12r^2}{t_R^2} (0.00608) + 0.643 + \frac{A_{llanta}}{A_1} \quad (62)$$

Esfuerzo de tensión anillo

Dada por la **Ecuación (63)**.

$$F = \sigma t_R b \quad (63)$$

Donde: σ = Esfuerzo del material (N/m²)

F = Fuerza máxima de tensión (N)

t_R = Espesor de Rueda (m)

b = Ancho de la rueda (m)

El esfuerzo máximo de tensión producido por la llanta de un volante es un poco más complicado, cuando se considera la flexión y el esfuerzo normal debido a la inercia. Timoshenko dedujo sobre las bases racionales de la **Ecuación (64)** que toma en cuenta la fuerza axial entre los rayos, la flexión y el esfuerzo normal; considerando un anillo delgado, despreciando la curvatura de la llanta y utilizando el signo que dé el mayor valor de $\frac{P}{A} \pm \frac{Mc}{I}$ (Holowenco & Laughlin).

$$\sigma = \frac{qv^2}{bt_{RG}} \left[1 - \frac{\cos \phi}{3C \operatorname{sen} \theta_1} \pm \frac{2r}{Ct_R} \left(\frac{1}{\theta_1} - \frac{\cos \phi}{\operatorname{sen} \theta_1} \right) \right] \quad (64)$$

Donde: ϕ = Ángulo sostenido desde la línea media entre los rayos hasta la sección donde se encuentra el esfuerzo.

θ_1 = Ángulo entre los rayos

r = Radio medio (m)

Esfuerzos normales

Punto crítico en el cual las cargas aplicadas producen los efectos combinados por el esfuerzo máximo, mismos que son esfuerzos a la tracción o compresión **Ecuación (65)** (Holowenco & Laughlin).

$$\sigma = \frac{F}{A} \pm \frac{Mc}{I} \quad (65)$$

Donde: F = Fuerza aplicada (N)

A = Área a la que se le aplica la fuerza (m²)

M_f = Momento flector en esa sección (N m)

c = Distancia del centro del eje neutro a superficie más lejana de la viga (m)

I = Momento de inercia del área de la sección transversal con respecto a su eje neutro (m⁴)

Esfuerzos cortantes máximos

Punto crítico considerado que va a ser igual a la mitad de la mayor diferencia entre 2 de los 3 esfuerzos principales. Por tanto, para el caso de cargas bidimensionales sobre una partícula está dada por la **Ecuación (66)**.

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \quad (66)$$

Módulo de la sección

Dada por la **Ecuación (67)**.

$$S_s = \frac{I}{c} \quad (67)$$

Donde: S_s = Módulo de sección (m^3)

4.5 Capítulo V: Potencia y factor de seguridad

4.5.1 Potencia mecánica

La potencia está dada por el torque y la velocidad angular **Ecuación (68)**.

$$P_M = \tau\omega \quad (68)$$

Donde: P_M = Potencia mecánica (W)

τ = Torque (N m)

4.5.2 Factores de seguridad

El factor de seguridad de diseño está basado en incertidumbres que conciernen al diseñador que pueden ser: propiedades de los materiales, variación de la carga, fiabilidad de la fabricación, validez de los modelos matemáticos, impacto económico y peligro del personal (Budynas & Nisbett, 2015).

Para obtener un factor de seguridad, el método de Pugsley ilustra las preocupaciones presentes en la selección del factor de seguridad. Se estima cada característica para una aplicación en particular como: muy buena (mb), buena (b), regular (r), pobre (p), muy serio (ms), serio (s), no serio (ns). El método de Pugsley es una directriz en ingeniería, ya que la mayoría de factores de seguridad son mucho mayores que las que resultan y está dada por la **Ecuación (69)** (Hamrock, 2000).

$$F_s = F_1 F_2 \quad (69)$$

Donde F_1 y F_2 , son factores de seguridad que se expresan en la **Tabla 6** y **Tabla 7** respectivamente.

Tabla 6

Características de factores de seguridad A, B y C

Características		B				
		mb	b	r	p	
A=mb	C =	mb	1.1	1.3	1.5	1.7
		b	1.2	1.45	1.7	1.95
		r	1.3	1.6	1.9	2.2
		p	1.4	1.75	2.1	2.45
A = b	C =	mb	1.3	1.55	1.8	2.05
		b	1.45	1.75	2.05	2.35
		r	1.6	1.95	2.3	2.65
		p	1.75	2.15	2.55	2.95
A = r	C =	mb	1.5	1.8	2.1	2.4
		b	1.7	2.05	2.4	2.75
		r	1.9	2.3	2.7	3.1
		p	2.1	2.55	3	3.45
A = p	C =	mb	1.7	2.15	2.4	2.75
		b	1.95	2.35	2.75	3.15
		r	2.2	2.65	3.1	3.55
		p	1.45	2.95	3.45	3.95

Nota. Fuente:(Hamrock, 2000). A = calidad del material, mano de obra, mantenimiento e inspección. B = Control sobre la carga aplicada. C = Exactitud en el análisis de esfuerzos, información experimental o de la experiencia con partes similares.

Tabla 7

Características del factor de seguridad D y E

Características		D		
		ns	s	ms
E =	ns	1	1.2	1.4
	s	1	1.3	1.5
	ms	1.2	1.4	1.6

Nota. Fuente:(Hamrock, 2000). E = Impacto económico. D = Peligro para el personal.

4.5.3 Transmisiones mecánicas

El diámetro para un eje hueco según el código ASME está dado por la **Ecuación (70)**.

$$d_o^3 = \frac{16}{\pi \sigma_y (1 - K^4)} \sqrt{\left[M_f + \frac{F_a d_o (1 + K^2)}{8} \right]^2 + (M_t)^2} \quad (70)$$

Donde: d_o = Diámetro exterior del eje (m)

$$K = d_i/d_o$$

M_f = Momento flector.

M_t = Momento torsión.

Momento polar de inercia para un eje hueco está dado por la **Ecuación (71)**.

$$J = \frac{\pi(D_o^4 - D_i^4)}{32} \quad (71)$$

Donde: J = Momento polar (m^4)

Según Faires, el diámetro exterior del cubo (manzana) depende del diámetro interior del elemento de transmisión, este mismo principio se toma en cuenta para relacionar el diámetro exterior de un eje hueco, mismo que se determina por **Ecuación (72)** (Faires).

$$d_o = (1.75 \text{ a } 2) d_i \quad (72)$$

4.5.3.1 Deformación por torsión

Cuando el eje se somete a un par de torsión, sufre una deformación angular donde la sección transversal gira con respecto a otras secciones transversales de su propio eje (Mott, 2006). El ángulo de giro del eje de la sección circular se calcula mediante la **Ecuación (73)**.

$$\Delta\theta = \frac{\tau L}{G_c J} \quad (73)$$

Donde: $\Delta\theta$ = Deformación angular por torsión (rad)

G_c = Módulo de elasticidad al corte (Pa)

L = Longitud del eje (m)

La deformación angular es el cambio en el ángulo recto de un elemento en esfuerzo cuando está sometido a esfuerzo cortante puro (Budynas & Nisbett, 2015). El módulo de elasticidad al corte está dado por la **Ecuación (74)**.

$$G_c = \frac{E}{2(1 + \mu)} \quad (74)$$

Donde: E = Módulo de elasticidad o de Young (Pa)

μ = Relación de Poisson

Los valores más frecuentes de la relación de Poisson son de 0.25 a 0.30 para el acero, 0.33 aproximadamente para otros muchos metales y 0.20 para el concreto (Pytel & Singer, 2008).

4.6 Capítulo VI: Bombas de Desplazamiento Positivo

Este grupo importante de las bombas de émbolo comprende al grupo compuesto por los cilindros hidráulicos, neumáticos y las bombas con motores positivos que constituyen una industria. El funcionamiento del émbolo se basa en el principio del desplazamiento positivo. El émbolo al moverse desplaza al fluido a través de un orificio. Si el émbolo recorre un espacio hacia la izquierda el volumen ocupado por el líquido se reducirá en un valor igual al área por la longitud (ver **Figura 8**). Puede funcionar como bomba o como motor, es decir, la máquina puede absorber potencia mecánica y reconstruir potencia hidráulica o viceversa (Mataix, 1986).

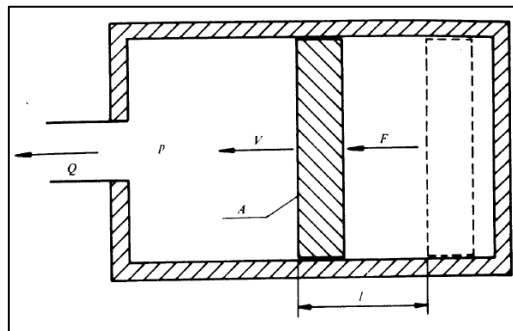


Figura 8. Principio de desplazamiento positivo.

Fuente: (Mataix, 1986).

4.6.1 Bombas de émbolo

Las bombas de émbolo no tienen límite de presión. Para aumentar la presión basta con hacer la bomba más robusta y el motor más potente. El principio de desplazamiento positivo demuestra que teóricamente cualquier presión es alcanzable. Se adaptan a caudales limitados, para aumentar el caudal, hay que aumentar el tamaño de la máquina por ser un flujo pulsante. Los fenómenos de inercia impiden aumentar el caudal al aumentar la velocidad (Mataix, 1986).

4.6.2 Caudal teórico

El caudal teórico de una bomba de émbolo es directamente proporcional al área del émbolo, a la carrera y al número de revoluciones del eje motriz y no de la presión creada por la bomba.

4.6.3 Caudal Real

Es menor que el caudal teórico, a causa de fugas a retraso de cierres de válvulas. El caudal útil se ve afectado también por el caudal de retroceso que circula en estas bombas por el juego entre el émbolo y el cilindro dilatado sobre todo a grandes presiones. Estas pérdidas afectan el rendimiento volumétrico $\eta_v = Q/Q_t$, donde: Q caudal real y Q_t caudal teórico. Según (Mataix), el rendimiento volumétrico oscila entre 0.85 a 0.90, en cuyos émbolos el

diámetro sea mayor, mayor será su rendimiento y es menor cuanto menor sea la viscosidad del fluido (Mataix, 1986).

4.6.4 Caudal instantáneo

Este caudal no es constante como en bombas rotodinámicas, lo que constituye una desventaja, en bombas de émbolos el caudal es pulsante. La velocidad no es lineal, por lo tanto, sigue una ley sinusoidal.

4.6.5 Potencia interna

Es la potencia total transmitida al fluido, que comprende la potencia de accionamiento descontando las pérdidas mecánicas. Se determina en función de las pérdidas hidráulicas y las pérdidas volumétricas (Mataix, 1986).

4.6.6 Potencia hidráulica

Potencia invertida en impulsar el caudal útil Q a la altura útil H está dada por la **Ecuación (75)**.

$$P_H = Q \gamma H \quad (75)$$

Donde: P_H = Potencia Hidráulica (W)

Q = Caudal (m^3/s)

H = Carga agregada (m)

5 Metodología

5.1 Área de trabajo.

Se encuentra ubicado en la parroquia El Cisne, sector “Sharve” en la provincia de Loja y cantón Loja, al nor-oeste de la ciudad en las siguientes coordenadas: Ubicación geográfica: El Cisne, Latitud $-3^{\circ}51'57.63''$ y Longitud $-79^{\circ}27'20.60''$. Consta de un área de riego de 1.02 hectáreas y una altura promedio de 1825 msnm (GPS) (ver **Figura 9**).

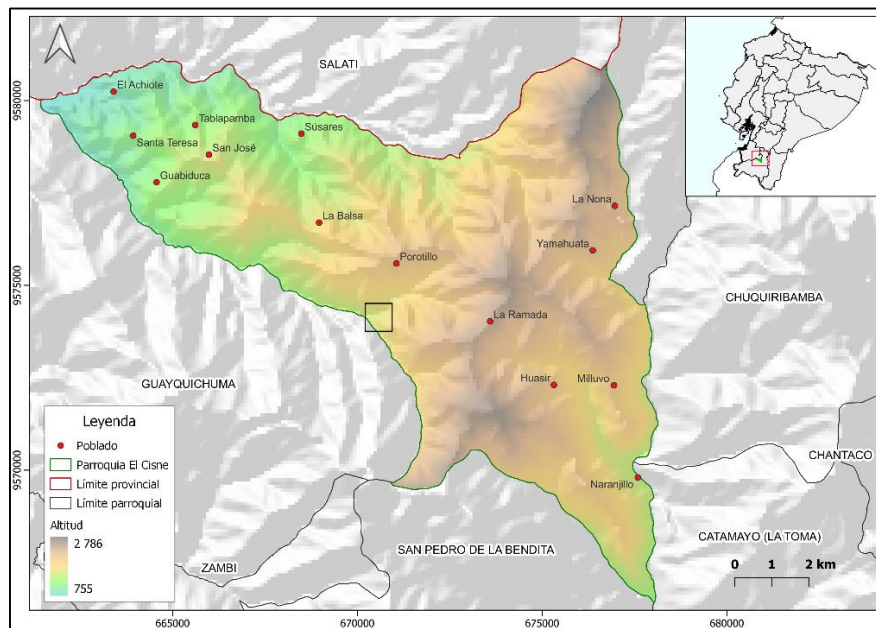


Figura 9. Ubicación geográfica de trabajo.

5.2 Equipos y Materiales.

5.2.1 Equipos.

- Sistema de posicionamiento global (GPS).

5.2.2 Materiales y Recursos.

- Recursos humanos.
 - Tutor de trabajo de titulación
 - Laboratorista de suelos U.N.L
- Recursos institucionales
 - Laboratorio de suelos U.N.L
- Recursos informáticos
 - Computador
 - Paquete de Microsoft office
 - Google Earth
 - Soil Water Characteristics
 - CROPWAT

- AutoCAD
- EPANET

5.3 Procesos metodológicos.

El proyecto planteado requiere la obtención de datos e identificación de variables relevantes, por lo que el enfoque del trabajo será: cualitativa y cuantitativa. Dentro del enfoque cualitativo encontramos herramientas como toma de datos, muestras, inspección, este enfoque tendrá como principal objetivo identificar, evaluar y determinar parámetros iniciales de riego y caudal del afluente. Para la obtención de información cuantitativa, los instrumentos son aquellos que ya existen; en este caso, para la medición alturas de ubicación de los emisores.

El tipo de investigación que mejor se adapta para la obtención de datos relevantes son: experimentales, descriptivos y explicativos. Esto debido al análisis de la información que se puede ir obteniendo del lugar de estudio mediante la observación, medición y circunstancias en las que se encuentra el afluente, a partir de la descripción de las condiciones, parámetros y funcionalidad podemos definir el diseño del mecanismo.

5.3.1 Primer Objetivo.

Se realiza la metodología que muestra la **Figura 10**, donde se obtiene un diseño agronómico e hidráulico para un sistema de riego propuesto.

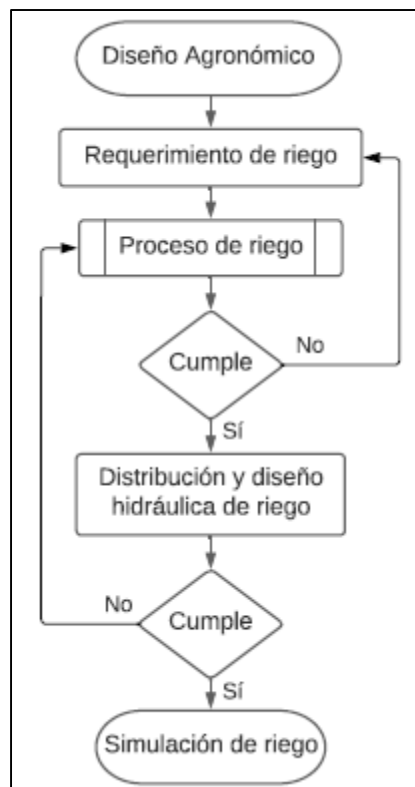


Figura 10. Metodología objetivo 1.

5.3.2 Segundo Objetivo.

Se realiza la metodología que muestra la **Figura 11**, donde se obtiene la potencialidad del afluente.

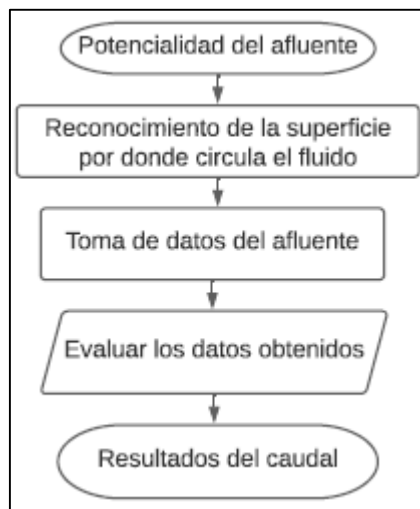


Figura 11. Metodología objetivo 2.

5.3.3 Tercer Objetivo.

Se realiza la metodología que muestra la **Figura 12**, donde se obtiene el diseño de una rueda hidráulica.

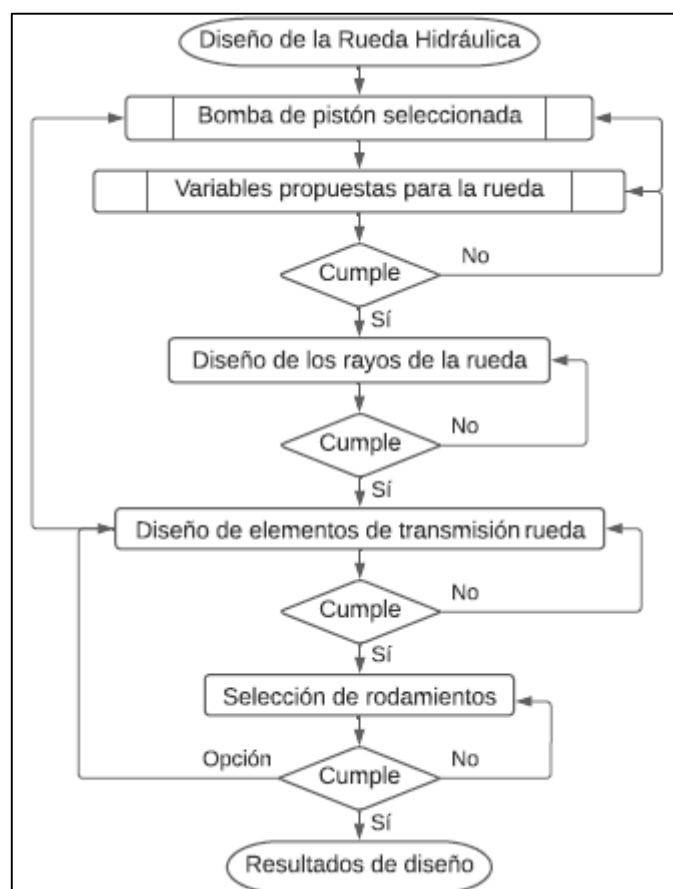


Figura 12. Metodología objetivo 3.

5.4 Procesamiento y análisis de datos.

5.4.1 Primer Objetivo: Desarrollo de sistema de riego.

5.4.1.1 Levantamiento topográfico.

En la **Figura 13** se establece la topografía del área de riego, con el software Google Earth se determina la ubicación geográfica de riego, Bomba y Tanque.

- Área de riego: 1.02 hectáreas
- Ubicación geográfica: El Cisne, Latitud $-3^{\circ}51'57.63''$ y Longitud $-79^{\circ}27'20.60''$ y altura promedio de 1825 msnm (GPS)



Figura 13. Área de riego.

Fuente: (Google Earth,2020).

5.4.1.2 Diseño agronómico.

- Estructura del suelo.

Se extrae 3 muestras de 1.02 ha de riego para su análisis (ver **Figura 14**), a una profundidad de 1 metro **Figura 15**. El laboratorio particular (Suelos y Pavimentos, Laboratorio de Materiales) establece un suelo Limo-Arenoso con contenido elevado de grava (Anexo 1).

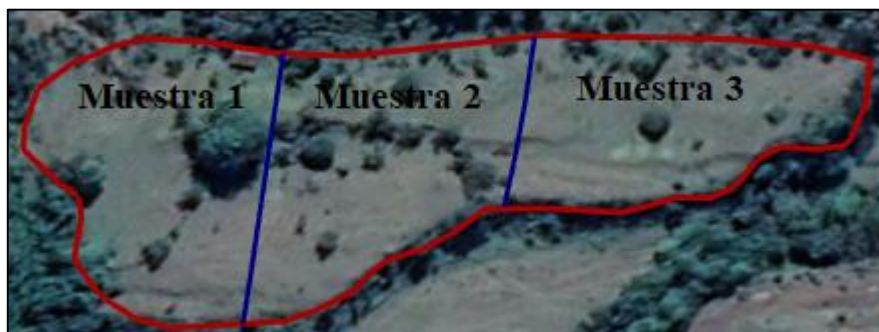


Figura 14. División del área en 3 partes.

Fuente: (Google Earth,2020).



Figura 15. Extracción de la muestra de 1 m de profundidad.

El análisis que se obtiene no determina los porcentajes de cada tipo de suelo existente. Como complemento a ello, se desarrolla en el laboratorio de suelos de la U.N.L un nuevo análisis, mismo que se explica a continuación:

- Método experimental desarrollado en el laboratorio de suelos de la U.N.L.

Para el análisis de las muestras obtenidas, se pasa por un colador donde no permite el paso de partículas de tierra mayores a 2 milímetros. Se toma un aproximado de unos 100 gramos de muestra filtrada y se fricciona hasta descomponerse en partículas más pequeñas.

Los 100 gramos de muestra se mezclan con agua hasta alcanzar una consistencia densa (masa de tierra), mediante el tacto y la observación se reconoce los tipos de suelo que pueden existir y comparar con muestras ya existentes en el laboratorio antes analizadas (ver **Figura 16**).



Figura 16. Análisis de suelo.

Se realiza la comparación con las muestras del laboratorio y la muestra en estudio y con asesoría de profesionales de este campo del laboratorio de suelo de la U.N.L, se determina que el suelo de estudio es tipo Franco-Limo-Arenoso, con porcentajes promedios de Arena, Arcilla y Limo. En la **Tabla 8** muestra los porcentajes de casa suelo.

Tabla 8

Porcentajes del suelo en estudio

Suelo	Porcentaje (%)
Arena	40
Arcilla	23
Limo	37

Los porcentajes obtenidos de cada tipo de suelo se ingresan al software Soil Water Characteristics (ver **Figura 17**).

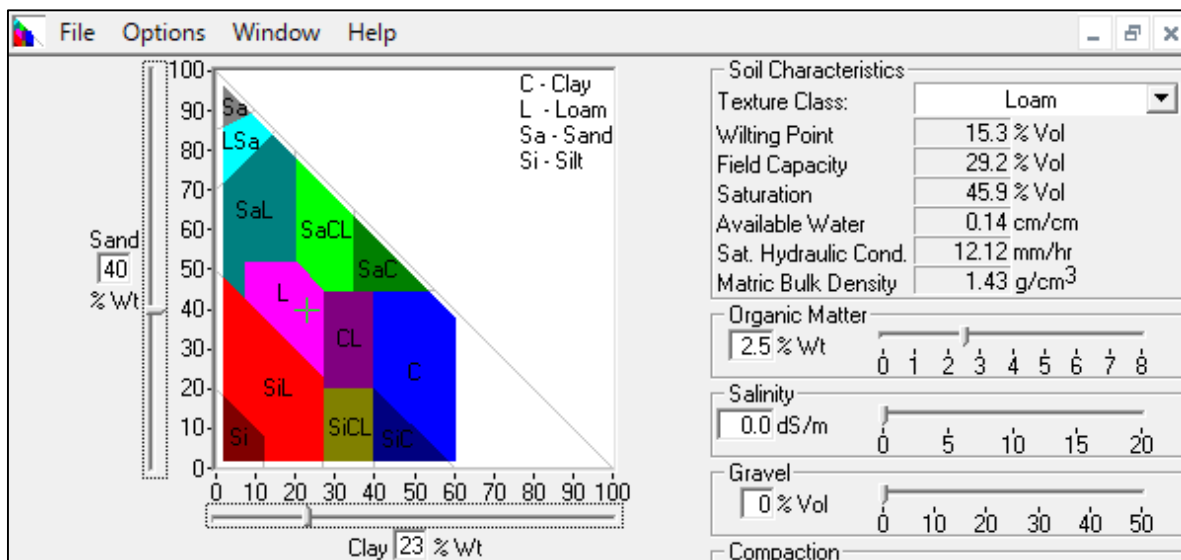


Figura 17. Características del suelo.

Fuente: (Soil Water Characteristics).

La **Figura 17** detalla las características de agua en el suelo franco-limo-arenoso, cada porcentaje obtenido de suelo es ingresado para obtener la textura mixto del mismo, donde se detalla las características de la superficie obteniéndose los siguientes datos: velocidad de infiltración, disponibilidad de agua, densidad aparente, saturación y datos que muestra la **Tabla 9** para los tres tipos de suelo existentes.

Tabla 9

Característica del suelo franco-limo-arenoso

Características	Valores
Punto de marchitez (Pm)	15.3 %
Capacidad de campo (Cc)	29.2 %
Velocidad de infiltración	12.12 mm/hora

Fuente: (Soil Water Characteristics).

- Cultivo.

El cultivo es perenne y estable, comúnmente llamado en el país como “Yaragua” (ver **Figura 18**), nombre científico *Melinis Minutiflora Beauv* denominado pasto de gordura. Según FAO, la profundidad de su raíz puede alcanzar de (0.5 a 1.5) m (Anexo 2).



Figura 18. Pasto de gordura.

Fuente: (León, 2018).

5.4.1.2.1 Agua Disponible Total (ADT).

De la **Ecuación (1)** se determina el ADT para el suelo Franco-Limo-Arenoso, se establece una profundidad de la raíz promedio de 1 m (Anexo 2).

$$ADT = (Cc - Pm) * Pr$$

$$ADT = (0.292 - 0.153) * (1000 \text{ mm})$$

$$ADT = 139 \text{ mm}$$

Donde: $1 \text{ mm} = 1\text{L}/\text{m}^2 = 10 \text{ m}^3/\text{ha}$

Determinar la lámina neta de riego se requiere del factor de fracción de agotamiento del cultivo f_a , este factor está dado a una evapotranspiración de 5 mm, mismo que se debe corregir, para ello se debe determinar la evapotranspiración del lugar del cultivo mediante la **Ecuación (4)**. Para determinar la evapotranspiración se debe obtener los siguientes datos:

1.- Cálculo de la presión atmosférica

Se determina por la **Ecuación (5)** con una altura $z = 1825$ m, altura promedio del sector con respecto al nivel del mar (GPS).

$$P = 101.3 \left[\frac{293 - 0.0065z}{293} \right]^{5.26}$$

$$P = 101.3 \left[\frac{293 - 0.0065(1825)}{293} \right]^{5.26}$$

$$P = 81.5 \text{ kPa}$$

2.- Cálculo de la constante Psicrométrica.

La **Ecuación (6)** establece el cálculo de la constante psicrométrica. La FAO determina valores constantes para el calor específico a presión constante $C_p = 1.013 \times 10^{-3}$ (MJ/kg °C), el peso molecular de vapor de agua/aire seco es $\epsilon = 0.622$ y calor latente de evaporación de $\lambda = 2.45$ MJ/kg a 20 °C.

$$Y_{ps} = \frac{c_p P}{\epsilon \lambda}$$

$$Y_{ps} = 0.665 \times 10^{-3} P$$

$$Y_{ps} = 0.665 \times 10^{-3} (81.5 \text{ kPa})$$

$$Y_{ps} = 0.054 \text{ kPa/}^\circ\text{C}$$

La temperatura media se determina mediante la **Ecuación (7)**. Los datos meteorológicos de la **Tabla 10** se obtienen del informe del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial GAD-Parroquial-El-Cisne del 2015.

$$T_{med} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2}$$

Tabla 10

Datos meteorológicos El Cisne

Mes	Temp.	Temp.	Temp.	Hr.	Hr.	Hr.	V.	Insolación
	Min	Max	Med	Min	Max	Med	viento	
	°C			%			m/s	Horas
Enero	11.8	21.8	16.8	36	98	77	0.4	4.3
Febrero	12.3	22	17.2	39	98	80	0.4	3.7
Marzo	11.8	22.5	17.5	44	96	78	0.5	4.6
Abril	12.3	22.4	17.4	46	98	79	0.4	4
Mayo	11.8	21.1	16.5	32	100	76	0.7	4.1
Junio	12.2	21.5	16.9	47	96	77	0.8	4.5

Mes	Temp.	Temp.	Temp.	Hr.	Hr.	Hr.	V.	Insolación
	Min	Max	Med	Min	Max	Med	viento	
	°C				%		m/s	Horas
Julio	12.1	19.2	15.7	47	96	77	0.8	3.3
Agosto	12.6	20.6	16.6	38	95	69	1.2	5.8
Septiembre	12.7	20.5	16.6	47	99	74	0.8	4.1
Octubre	10.7	22.9	16.8	35	98	73	0.31	5.5
Noviembre	11.2	23.1	17.2	29	96	76	0.3	4.5
Diciembre	12.8	21.6	17.2	43	99	79	0.3	4.4
Promedio	12.3	21.6	16.81	40.3	97.4	76.3	0.58	4.4

Fuente: (GAD Parroquial El Cisne, 2015).

3.- Cálculo de la presión media de saturación

De la **Ecuación (8)** se determina la presión de saturación a temperatura mínima y máxima. Para el procedimiento de cálculo se hace referencia a los datos de **Tabla 10** para el mes de enero.

$$e^{\circ}(T_{min}) = 0.6108 * e^{\left[\frac{17.27 * T_{min}}{T_{min} + 237.3}\right]}$$

$$e^{\circ}(T_{min}) = 0.6108 * e^{\left[\frac{17.27 * 11.8}{11.8 + 237.3}\right]}$$

$$e^{\circ}(T_{min}) = 1.384 \text{ kPa}$$

$$e^{\circ}(T_{max}) = 0.6108 * e^{\left[\frac{17.27 * T_{max}}{T_{max} + 237.3}\right]}$$

$$e^{\circ}(T_{max}) = 0.6108 * e^{\left[\frac{17.27 * 21.8}{21.8 + 237.3}\right]}$$

$$e^{\circ}(T_{max}) = 2.611 \text{ kPa}$$

Por lo tanto, de la **Ecuación (9)** se determina la presión media de saturación.

$$e_s = \frac{e^{\circ}(T_{max}) + e^{\circ}(T_{mi})}{2}$$

$$e_s = \frac{2.611 \text{ kPa} + 1.384 \text{ kPa}}{2}$$

$$e_s = 2 \text{ kPa}$$

4.- Cálculo de la pendiente de la curva de presión de saturación de vapor

La **Ecuación (10)** relaciona la presión de saturación de vapor con la temperatura media.

$$\Delta_v = \frac{4098 \left[0.6108 * e^{\left(\frac{17.27 * T_{med}}{T_{med} + 237.3}\right)} \right]}{(T_{med} + 237.3)^2}$$

$$\Delta_v = \frac{4098 \left[0.6108 * e^{\left(\frac{17.27 * 16.8}{16.8 + 237.3} \right)} \right]}{(16.8 + 237.3)^2}$$

$$\Delta_v = \mathbf{0.121 \text{ kPa}/^\circ\text{C}}$$

5.- Cálculo de la presión real de vapor

Por la disponibilidad de los datos se utiliza la **Ecuación (11)** para su determinación.

$$e_a = \frac{e^\circ(T_{mi}) \frac{H_{Rmax}}{100} + e^\circ(T_{max}) \frac{H_{Rmi}}{100}}{2}$$

$$e_a = \frac{1.384 * \frac{98}{100} + 2.611 * \frac{36}{100}}{2}$$

$$e_a = \mathbf{1.148 \text{ kPa}}$$

6.- Cálculo de la radiación extraterrestre

Se determina la radiación extraterrestre de la **Ecuación (13)**. Se evalúa la evapotranspiración promedio de cada mes, donde j toma un valor en el primer mes de 15 días. Para cálculos mensuales j será el día 15 de cada mes y está dado por la **Ecuación (15)**. Para el procedimiento del cálculo se utilizará el primer mes, $j = 15$.

$$d_r = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} j\right)$$

$$d_r = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} * 15\right)$$

$$d_r = 1.032$$

Declinación solar para $j = 15$ de la **Ecuación (14)**.

$$\delta = 0.409 \sin\left(\frac{2\pi}{365} j - 1.39\right)$$

$$\delta = 0.409 \sin\left(\frac{2\pi}{365} * 15 - 1.39\right)$$

$$\delta = -0.37 \text{ rad}$$

El ángulo de radiación a la hora de la puesta del sol está dado por la **Ecuación (16)**. Donde la latitud de la ubicación de riego es $\varphi = -3^\circ 51' = -0.0612 \text{ rad}$

$$\omega_s = \arccos[-\tan \varphi \tan \delta]$$

$$\omega_s = \arccos[-\tan(-0.0612) \tan(-0.37)]$$

$$\omega_s = 1.594 \text{ rad}$$

Radiación extraterrestre está dada por la **Ecuación (12)**.

$$R_a = \frac{24 * 60}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \sin \omega]$$

$$R_a = \frac{24 * 60}{\pi} (0.082)(1.032)[(1.594) \sin(-0.0612) \sin(-0.37) + \cos(-0.0612) \cos(-0.37) \sin(1.594)]$$

$$R_a = 37.448 \text{ MJ/m}^2 \text{ día}$$

6.- Cálculo de la radiación solar

La **Ecuación (17)** determina la duración máxima de insolación.

$$N_i = \frac{24}{\pi} \omega_s$$

$$N_i = \frac{24}{\pi} * 1.594$$

$$N_i = 12.181 \text{ horas de máxima insolación}$$

La radiación solar está dada por la **Ecuación (18)** en función de la radiación extraterrestre y la duración máxima de insolación.

$$R_s = (a_s + b_s \frac{n_i}{N_i}) R_a$$

$$R_s = \left(0.25 + 0.5 \frac{4.8 \text{ horas}}{12.18 \text{ horas}} \right) (37.448 \text{ MJ/m}^2 \text{ día})$$

$$R_s = 15.971 \text{ MJ/m}^2 \text{ día}$$

7.- Radiación solar en un día despejado

La radiación solar en un día despejado está dada por la **Ecuación (19)** cuando $n_i = N_i$, es decir, cuando el número de insolación real es igual al número de insolación máxima.

$$R_{so} = (a_s + b_s) R_a$$

$$R_{so} = (0.25 + 0.5)(37.448 \text{ MJ/m}^2 \text{ día})$$

$$R_{so} = 28.086 \text{ MJ/m}^2 \text{ día}$$

8.- Radiación neta solar o de onda corta

Está dada por el equilibrio entre la radiación solar entrante y la reflejada por un cultivo hipotético de referencia y se determina de la **Ecuación (20)**.

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s$$

$$R_{ns} = (1 - 0.23)(15.971 \text{ MJ/m}^2 \text{ día})$$

$$R_{ns} = 12.298 \text{ MJ/m}^2 \text{ día}$$

9.- Radiación neta de onda larga se expresa en la Ecuación (21).

$$R_{nl} = \beta \left[\frac{T_{max,K}^4 + T_{mi,K}^4}{2} \right] (0.34 - 0.14 \sqrt{e_a}) \left(1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35 \right)$$

$$R_{nl} = \frac{4.903 \times 10^{-9} \text{ MJ}}{\text{K}^4 \text{ m}^2 \text{ día}} \left[\frac{(294.93 \text{ K})^4 + (284.93 \text{ K})^4}{2} \right] (0.34 - 0.14 \sqrt{1.148}) [(1.35)(0.56) - 0.35]$$

$$R_{nl} = 2.755 \text{ MJ/m}^2 \text{ día}$$

10.- Radiación neta está dado por la Ecuación (22).

$$R_n = R_{ns} - R_{nl}$$

$$R_n = 12.298 \text{ MJ/m}^2\text{día} - 2.755 \text{ MJ/m}^2\text{día}$$

$$R_n = 9.543 \text{ MJ/m}^2\text{día}$$

11.- Flujo de calor del suelo de la Ecuación (23).

$$G_{mes,i} = 0.07(T_{mes,i+1} - T_{mes,i-1})$$

$$G_{mes,i} = 0.07(15.15 \text{ °C} - 17.2 \text{ °C})$$

$$G_{mes,i} = -0.0035 \text{ MJ/m}^2\text{día}$$

12.- Para el ajuste de la velocidad se utiliza la Ecuación (24).

$$u_2 = u_z \frac{4.87}{\ln(67.8 z - 5.42)}$$

$$u_2 = 0.4(\text{m/s}) \frac{4.87}{\ln(67.8 (10) - 5.42)}$$

$$u_2 = 0.299 \text{ m/s}$$

5.4.1.2.2 Cálculo de la Evapotranspiración.

La evapotranspiración mensual se determina de la Ecuación (4). Para el procedimiento de cálculos se toma como base el mes de enero.

$$ET_o = \frac{0.408\Delta_v(R_n - G) + \gamma_{ps} \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta_v + \gamma_{ps}(1 + 0.34u_2)}$$

$$ET_o = \frac{0.408(0.121)(9.543 - (-0.0035)) + (0.054) \frac{900}{16.8 + 273} (0.299)(0.850)}{0.121 + 0.054(1 + 0.34(0.299))}$$

$$ET_o = 2.84 \text{ mm/día}$$

La evapotranspiración por cada mes en la **Tabla 11**.

Tabla 11

Evapotranspiración por mes

Mes	Evapotranspiración ETo
	mm/día
Enero	2.84
Febrero	2.81
Marzo	3.01
Abril	2.71
Mayo	2.58
Junio	2.53

Mes	Evapotranspiración ETo
	mm/día
Julio	2.31
Agosto	3.1
Septiembre	2.84
Octubre	3.08
Noviembre	2.86
Diciembre	2.82
Promedio	2.80

5.4.1.2.3 Cálculo de lámina neta de riego.

Según el (Anexo 2) el factor de agotamiento es $f_a = 0.6$ para una evapotranspiración de 5 mm/día. La **Ecuación (3)** ajusta f_a la evapotranspiración promedio determinada en la **Tabla 11** $ET_o = 2.80$ mm/día.

$$f_c = f_a + 0.04(5 - ET_o)$$

$$f_c = 0.6 + 0.04(5 - 2.8)$$

$$f_c = \mathbf{0.68}$$

Lámina neta de riego se obtiene de la **Ecuación (2)**.

$$L_N = ADT * f_c$$

$$L_N = 139 \text{ mm} * 0.68$$

$$L_N = 94.52 \text{ mm}$$

5.4.1.2.4 Cálculo de lámina total de riego.

Se propone un riego por aspersión, por lo tanto, la eficiencia de la aplicación de riego se establece en **Tabla 2** y se la determina de la **Ecuación (25)**.

$$L_T = \frac{L_N}{Ea}$$

$$L_T = \frac{94.52 \text{ mm}}{0.75}$$

$$L_T = \mathbf{126.02 \text{ mm}}$$

5.4.1.2.5 Cálculo del tiempo de riego.

Para determinar el tiempo de riego se obtiene de la **Ecuación (27)**. La velocidad de infiltración v_i está dada por la **Tabla 1**.

$$t_r = \frac{L_T}{v_i}$$

$$t_r = \frac{126.02 \text{ mm}}{12.12 \text{ mm/hora}}$$

$$t_r = \mathbf{10.39 \text{ horas}}$$

5.4.1.2.6 Cálculo de la frecuencia de riego.

Se obtiene de la **Ecuación (26)**, para la frecuencia de riego el ET_o es el valor más alto de todos meses **Tabla 11**.

$$F_r = \frac{L_N}{ET_o}$$

$$F_r = \frac{94.52 \text{ mm}}{3.1 \text{ mm/día}}$$

$$F_r = \mathbf{30 \text{ días}}$$

La frecuencia de riego establece cada que tiempo se debe aplicar el agua. Una frecuencia muy alta, hará que la planta absorba con mayor esfuerzo el agua disponible o en el mayor de los casos el cultivo llega a un punto de marchitez permanente. Para evitar aquello, es recomendable bajar la frecuencia de riego con el fin de que la planta se encuentre en estado de confort, la frecuencia de riego debe encontrarse entre 6 a 9 días según recomienda la FAO o la disponibilidad que tenga la persona encargada del riego. Al establecer frecuencias bajas, disminuye la lámina de riego que se debe aplicar.

- Lámina neta real de riego.

De lo mencionado anteriormente se propone y se establece una frecuencia de riego $F_r = 3$ días, de la **Ecuación (26)** se determina la lámina neta real de riego.

$$F_r = \frac{L_N}{ET_o}$$

$$L_N = F_r * ET_o$$

$$L_N = (3 \text{ días})(3.1 \text{ mm/días})$$

$$L_N = \mathbf{9.3 \text{ mm}}$$

La lámina neta real de riego $L_N = 9.3 \text{ mm}$

- Factor de fracción de agotamiento real.

Se determina de la **Ecuación (2)**.

$$L_N = ADT * f_a$$

$$f_a = \frac{L_N}{ADT}$$

$$f_a = \frac{9.3 \text{ mm}}{139 \text{ mm}}$$

$$f_a = 0.06$$

El factor de fracción de agotamiento real es de $f_a = 0.06$

- Lámina total real se obtiene de **Ecuación (25)**.

$$L_T = \frac{L_N}{Ea}$$

$$L_T = \frac{9.3 \text{ mm}}{0.75}$$

$$L_T = 12.4 \text{ mm}$$

Lámina total de riego es de $L_T = 12.4 \text{ mm}$

- Tiempo de riego real. De la **Ecuación (27)** se determina el tiempo requerido de riego.

$$t_r = \frac{L_T}{v_i}$$

$$t_r = \frac{12.4 \text{ mm}}{12.12 \text{ mm/hora}}$$

$$t_r = 1.023 \text{ horas}$$

El tiempo real de riego es de 1.023 horas.

5.4.1.3 Diseño hidráulico de riego.

Se propone un riego por aspersión y la red de distribución hidráulica que satisface el riego para un área de 1.02 hectáreas (ver **Figura 19**).

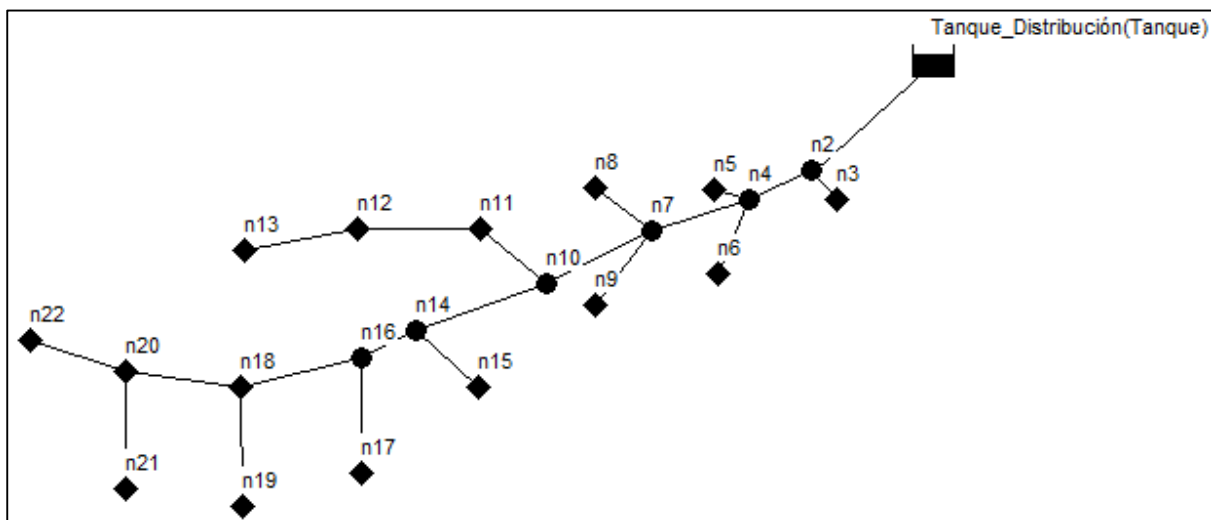


Figura 19. Plano de la red hidráulica.

Nota. Fuente: EPANET. En la presente Figura se detalla el tanque de distribución y la red de distribución hidráulica. Los rombos representan la ubicación de cada aspersor y en algunos casos también nodos de paso (16 nodos) y solo nodos de paso son representados por un círculo (5 nodos).

Datos del aspersor en la **Tabla 12** del (Anexo 3).

Tabla 12

Parámetros de funcionamiento del aspersor

Aspersor	"4123-1-3/4" M Círculo Parcial
Caudal (gpm)	5.52
Diámetro alcance (m)	28.38
Presión (Psi)	30

Fuente: (Plastigama).

El aspersor es un emisor que permite modelar la salida del flujo a través del orificio de descarga, cuyo caudal de salida varía en función de la presión del nodo y está dada por la siguiente expresión (Plaza, 2017).

$$q = kH^x$$

Donde q es el caudal del emisor, H la presión, k coeficiente de descarga y x exponente de la presión.

Los emisores se emplean para simular el caudal de salida a través de fugas de tuberías o como hidratante en un sistema de riego a presión. EPANET interpreta los emisores como una propiedad del nodo y no como un componente independiente. Para su simulación en EPANET, es necesario obtener los valores del coeficiente de descarga y exponente de la presión (Plaza, 2017). Con valores de presión/caudal se obtiene la curva característica del aspersor y su ecuación (ver **Figura 20**). Datos obtenidos en el (Anexo 3).

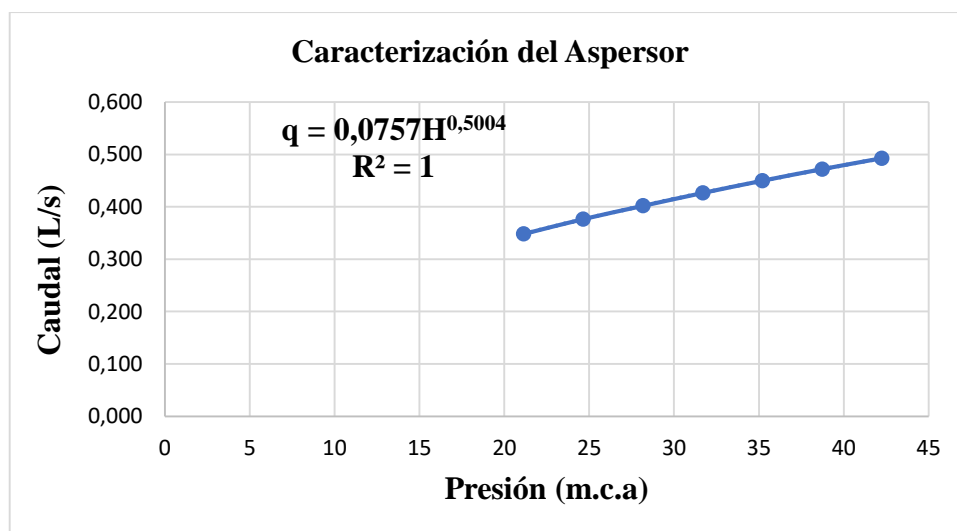


Figura 20. Curva característica del aspersor.

Área de alcance del aspersor y número de aspersores.

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi(28)^2}{4}$$

$$A_{asp} = 616 \text{ m}^2$$

$$\#_{asp} = \frac{\hat{A}rea_{riego}}{\hat{A}rea_{asp}}$$

$$\#_{asp} = \frac{10200 \text{ m}^2}{616 \text{ m}^2}$$

$$\#_{asp} = 16.55$$

Se requieren 16 aspersores para satisfacer el área de 1.02 hectáreas de riego.

Por facilidad de riego y dimensionamiento del mecanismo, se propone un riego por secciones, donde la sección 1 comprenden los nodos: n18, n19, n20, n21 y n22; sección 2 nodos: n6, n9, n15, n16 y n17; sección 3 nodos: n3, n5, n8, n11, n12 y n13 como lo muestra la **Tabla 13**.

Tabla 13

Riego por secciones

Riego	Sección		
	1	2	3
Nodos	n18	n9	n3
	n19	n6	n5
	n20	n15	n8
	n21	n16	n11
	n22	n17	n12
			n13

Para criterio de diseño se toma el punto más lejano nodo 21 (n21) que pertenece a la sección 1 de riego, que comprende desde el Tanque_Distribución al nodo 21 (n21) como ruta crítica de diseño (ver **Figura 19**).

5.4.1.3.1 Análisis de escorrentía superficial

Para el siguiente análisis se tiene en cuenta los siguientes datos:

- Caudal del aspersor $Q_{asp} = 3.48 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$
- Velocidad de infiltración del suelo de la **Tabla 1**, $v_i = 12.12 \text{ mm/hora} = 3.366 \times 10^{-6} \text{ m/s}$
- Área de alcance del aspersor $A_{asp} = 616 \text{ m}^2$

Caudal de infiltración

$$Q_i = v_i * A_{asp}$$
$$Q_i = (3.366 \times 10^{-6} \text{ m/s})(616 \text{ m}^2)$$
$$Q_i = 2.073 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

Volumen proporcionado por el aspersor en una hora

$$V_{asp} = Q_{asp} * t$$
$$V_{asp} = 3.48 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}(3600 \text{ s})$$
$$V_{asp} = 1.25 \text{ m}^3$$

Volumen de infiltración en una hora

$$V_i = Q_i * t$$
$$V_i = 2.073 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}(3600 \text{ s})$$
$$V_i = 7.46 \text{ m}^3$$
$$V_{asp} < V_i$$

El volumen proporcionado por el aspersor es menor al volumen de infiltración en una hora, por lo tanto, el agua suministrada no se perderá por escorrentías superficiales

5.4.1.3.2 Cálculo de tuberías

- Tramo n20-n21.

La **Figura 21** representa la ruta crítica de la sección 1 de riego tramo n20-n21.

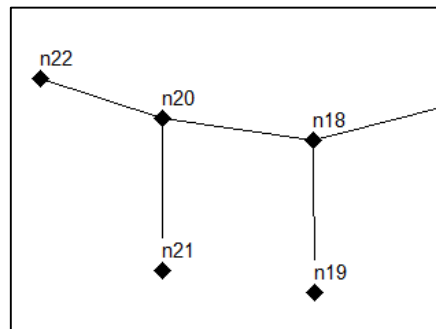


Figura 21. Sección 1 de riego. Tramo n20-n21.

De la **Ecuación (42)** se determina el diámetro de tubería. Para efecto de cálculos iniciales se propone una velocidad inicial del flujo dentro de la tubería de $v = 1 \text{ m/s}$.

Para un caudal $Q = 3.48 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$

$$Q = v * A = v * \frac{\pi D^2}{4}$$
$$D = \sqrt{\frac{4(3.48 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s})}{\pi(1 \text{ m/s})}}$$

$$D = 0.021 \text{ m}$$

Diámetro comercial según Plastigama $D = 0.025 \text{ m}$

$$A = \frac{\pi(0.025)^2}{4}$$

$$A = 4.908 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$v = \frac{3.48 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{4.908 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

Velocidad real tramo n20-n21 $v = 0.709 \text{ m/s}$

Pérdidas primarias

Número de Reynolds de la **Ecuación (36)**.

$$N_R = \frac{vD}{\nu}$$

$$N_R = \frac{(0.709 \text{ m/s})(0.025 \text{ m})}{1.151 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$N_R = 1.54 \times 10^4$$

Factor de fricción de la **Ecuación (49)**.

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

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7(0.025 \text{ m}/1.5 \times 10^{-6} \text{ m})} + \frac{5.74}{(1.54 \times 10^4)^{0.9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0.027$$

De la **Ecuación (48)** se determina las pérdidas primarias para una longitud de tubería de 28.5 m.

$$h_p = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

$$h_p = 0.027 * \frac{28.5 \text{ m}}{0.025 \text{ m}} * \frac{(0.709 \text{ m/s})^2}{2(9.81 \text{ m/s}^2)}$$

$$h_p = 0.78 \text{ m}$$

La **Tabla 14** muestra los accesorios que comprenden el tramo n20-n21.

Tabla 14*Accesorios tramo n20-n21*

Accesorio	Cantidad	Le/D
Válvula de globo abierto	1	340
Codo de 90 recto	1	30
Unión o junta	3	30
Contracción súbita	2	-

Factor de fricción para los accesorios de la **Ecuación (49)**, los elementos encuentran en zona de turbulencia completa la ecuación se simplifica:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7(D/\varepsilon)} \right) \right]^2}$$

$$f_T = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7(0.025 \text{ m}/1.5 \times 10^{-6} \text{ m})} \right) \right]^2}$$

$$f_T = 0.011$$

El coeficiente de resistencia K para los accesorios está dado por la **Ecuación (51)**. El (Anexo 4) proporciona la longitud equivalente para accesorios.

$$K_T = \left(\frac{L_e}{D} \right) f_T$$

$$K_T = (340 + 30 + 3(30))(0.011)$$

$$K_T = 5.6$$

K_T de contracción súbita.

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{0.025 \text{ m}}{0.019 \text{ m}} = 1.31$$

De la **Ecuación (43)** se determina la velocidad en el D_2 .

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$v_2 = \frac{(4.908 \times 10^{-4} \text{ m}^2)(0.709 \text{ m/s})}{2.835 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$v_2 = 1.22 \text{ m/s}$$

Del (Anexo 4) $K_T = 2(0.15) = 0.3$

$$K_T = 0.3 + 5.6$$

$$K_T = 5.9$$

De la **Ecuación (50)** se determina las pérdidas por accesorios.

$$h_L = K_T \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

$$h_s = (5.9) \left(\frac{(0.709 \text{ m/s})^2}{2(9.81 \text{ m/s}^2)} \right)$$

$$h_s = 0.15 \text{ m}$$

Pérdidas totales en el tramo n20-n21.

$$h_L = h_p + h_s$$

$$h_L = 0.78 \text{ m} + 0.15 \text{ m}$$

$$h_L = \mathbf{0.93 \text{ m}}$$

- **Tramo n18-n20.**

La **Figura 22** representa la sección 1 de riego tramo n18-n20.

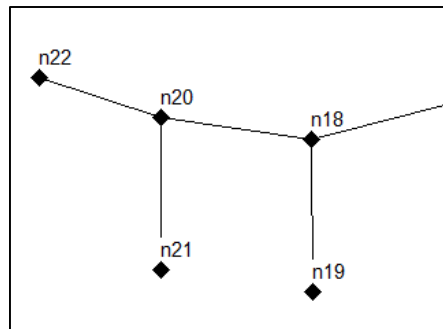


Figura 22. Sección 1 de riego. Tramo n18-n20.

De la **Ecuación (42)** se determina el diámetro de tubería.

Para un caudal de $Q = 1.044 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$

$$D = \sqrt{\frac{4(1.044 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s})}{\pi(1 \text{ m/s})}}$$

$$D = 0.036 \text{ m}$$

Diámetro comercial según Plastigama **$D = 0.038 \text{ m}$**

$$A = \frac{\pi(0.038)^2}{4}$$

$$A = 1.134 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$v = \frac{1.044 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{1.134 \times 10^{-3} \text{ m}^2}$$

Velocidad real tramo n18-n20 **$v = 0.921 \text{ m/s}$**

Pérdidas primarias

Número de Reynolds de la **Ecuación (36)**.

$$N_R = \frac{(0.921 \text{ m/s})(0.038 \text{ m})}{1.151 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$
$$N_R = 3.04 \times 10^4$$

Factor de fricción de la **Ecuación (49)**.

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7(0.038 \text{ m}/1.5 \times 10^{-6} \text{ m})} + \frac{5.74}{(3.04 \times 10^4)^{0.9}} \right) \right]^2}$$
$$f = 0.023$$

De la **Ecuación (48)** se determina las pérdidas primarias para una longitud de tubería de 28.12 m.

$$h_p = 0.023 * \frac{28.12 \text{ m}}{0.038 \text{ m}} * \frac{(0.921 \text{ m/s})^2}{2(9.81 \text{ m/s}^2)}$$
$$h_p = 0.74 \text{ m}$$

La **Tabla 15** muestra los accesorios que comprenden el tramo n18-n20.

Tabla 15

Accesorios tramo n18-n20

Accesorio	Cantidad	Le/D
Válvula de globo abierto	1	340
T de paso lateral	1	60
Unión o junta	2	30

Factor de fricción para los accesorios de la **Ecuación (49)**, los elementos encuentran en zona de turbulencia completa la ecuación se simplifica a:

$$f_T = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7(0.038 \text{ m}/1.5 \times 10^{-6} \text{ m})} \right) \right]^2}$$
$$f_T = 0.01$$

El coeficiente de resistencia K para los accesorios está dado por la **Ecuación (51)**. El (Anexo 4) proporciona la longitud equivalente para accesorios.

$$K_T = (340 + 60 + 2(30))(0.01)$$
$$K_T = 4.6$$

De la **Ecuación (50)** se determina la pérdida por accesorios.

$$h_s = (4.6) \left(\frac{(0.921 \text{ m/s})^2}{2(9.81 \text{ m/s}^2)} \right)$$

$$h_s = 0.2 \text{ m}$$

Pérdidas totales en el tramo n18-n20.

$$h_L = h_p + h_s$$

$$h_L = 0.74\text{m} + 0.2\text{m}$$

$$h_L = 0.94 \text{ m}$$

- **Tramo Tanque_Distribución-n18**

La **Figura 23** representa la sección 1 de riego Tanque_Distribución-n18. Ruta crítica de riego.

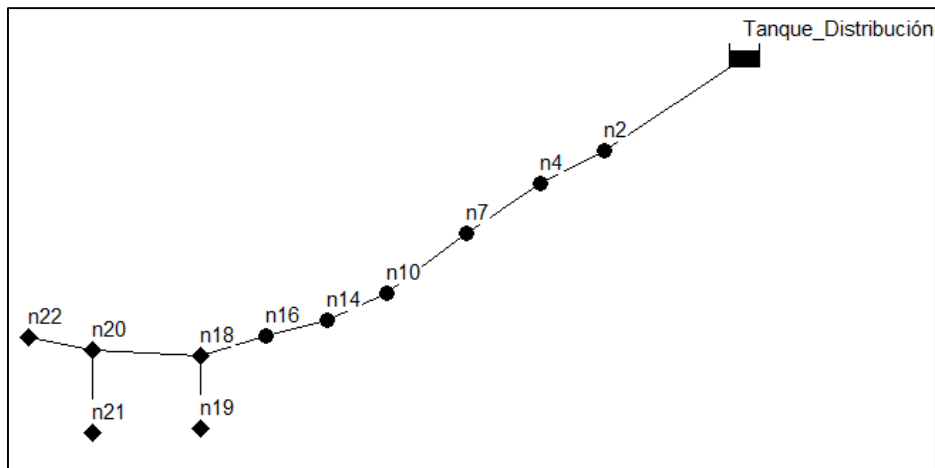


Figura 23. Sección 1 de riego. Tanque_Distribución-n18.

De la **Ecuación (42)** se determina el diámetro de tubería.

Para un caudal $Q = 1.74 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$

$$D = \sqrt{\frac{4(1.74 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s})}{\pi(1 \text{ m/s})}}$$

$$D = 0.047 \text{ m}$$

Diámetro comercial según Plastigama **$D = 0.05 \text{ m}$**

$$A = \frac{\pi(0.05)^2}{4}$$

$$A = 1.963 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$v = \frac{1.74 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{1.963 \times 10^{-3} \text{ m}^2}$$

Velocidad real tramo Tanque_Distribución-n18 **$v = 0.886 \text{ m/s}$**

Pérdidas primarias

Número de Reynolds de la **Ecuación (36)**.

$$N_R = \frac{(0.886 \text{ m/s})(0.05 \text{ m})}{1.151 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$
$$N_R = 3.85 \times 10^4$$

Factor de fricción de la **Ecuación (49)**.

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7(0.05 \text{ m}/1.5 \times 10^{-6} \text{ m})} + \frac{5.74}{(3.85 \times 10^4)^{0.9}} \right) \right]^2}$$
$$f = 0.022$$

De la **Ecuación (48)** se determina las pérdidas primarias para una longitud de tubería de 214.61 m desde el Tanque_Distribucion-n18.

$$h_p = 0.022 * \frac{214.61 \text{ m}}{0.05 \text{ m}} * \frac{(0.886 \text{ m/s})^2}{2(9.81 \text{ m/s}^2)}$$
$$h_p = 3.77 \text{ m}$$

La **Tabla 16** muestra los accesorios que comprenden el tramo Tanque_Distribución-n18.

Tabla 16

Accesorios tramo Tanque_Distribución-n18

Accesorio	Cantidad	Le/D
Válvula de globo abierto	3	340
T de paso lateral	7	60
Unión o junta	7	30

Factor de fricción para los accesorios de la **Ecuación (49)**, los elementos encuentran en zona de turbulencia completa la ecuación se simplifica:

$$f_T = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7(0.05 \text{ m}/1.5 \times 10^{-6} \text{ m})} \right) \right]^2}$$
$$f_T = 0.009$$

El coeficiente de resistencia K para los accesorios está dado por la **Ecuación (51)**. El (Anexo 4) proporciona la longitud equivalente para accesorios.

$$K_T = [3(340) + 7(60) + 7(60)](0.009)$$
$$K_T = 16.74$$

K_T por la tubería que se proyecta al interior del tanque del (Anexo 4) $K_T = 0.78$

$$K_T = 0.78 + 16.74$$

$$K_T = 17.52$$

De la **Ecuación (50)** se determina la pérdida por accesorios.

$$h_s = (17.52) \left(\frac{(0.886 \text{ m/s})^2}{2(9.81 \text{ m/s}^2)} \right)$$

$$h_s = 0.7 \text{ m}$$

Pérdidas totales en el tramo Tanque_Distribución-n18.

$$h_L = h_p + h_s$$

$$h_L = 3.77 \text{ m} + 0.7 \text{ m}$$

$$\mathbf{h_L = 4.47 \text{ m}}$$

Pérdidas totales de la ruta crítica de diseño Tanque_Distribución-n21.

$$h_L = h_{L_{n20-n21}} + h_{L_{n18-n20}} + h_{L_{Tanq_Distr-n18}}$$

$$h_L = 0.93 \text{ m} + 0.94 \text{ m} + 4.47 \text{ m}$$

$$\mathbf{h_L = 6.34 \text{ m}}$$

5.4.1.3.3 *Altura del Tanque_Distribución.*

Para determinar la altura del tanque se aplica la **Ecuación (46)** de Bernoulli, desde el Tanque_Distribución (1) al nodo n21 (2) (ver **Figura 23**). El tanque está abierto a la atmósfera, por lo tanto, el Punto 1 está ubicado en la superficie libre del fluido, el aspersor el Punto 2 que opera bajo parámetros especificados en la **Tabla 12**.

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

$$0 + z_1 + 0 = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_L$$

$$z_1 = \frac{206785 \text{ Pa}}{9810 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}} + 1824 \text{ m} + \frac{8 \left(\frac{3.48 \times 10^{-4} \text{ m}^3}{\text{s}} \right)^2}{\pi^2 \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) (0.025 \text{ m})^4} + 6.34 \text{ m}$$

$$\mathbf{z_1 = 1851.44 \text{ m}}$$

El tanque debe estar situado 1852 msnm, o una diferencia de altura de entre el punto 1 y 2 de 28 m.

Volumen del tanque

Para determinar el volumen del tanque se tiene los siguientes datos:

- Área de alcance del aspersor $A_{asp} = 616 \text{ m}^2$
- Lámina total de riego real $L_T = 12.4 \text{ mm}$

- Número máximo de aspersores en funcionamiento $\#_{asp} = 6$

Volumen por área del aspersor

$$V_{agua} = L_T * A_{asp}$$

$$V_{agua} = 12.4 \text{ L/m}^2 (616 \text{ m}^2)$$

$$V_{agua} = 7638.4 \text{ L}$$

$$t_{riego} = 21949.42 \text{ s} = 6.09 \text{ horas}$$

Volumen total

$$V_{total_{agua}} = V_{agua} * \#_{asp}$$

$$V_{total_{agua}} = 7638.4 (6)$$

$$V_{total_{agua}} = \mathbf{45830.4 \text{ L}}$$

Se requiere un volumen de agua $V_{total_{agua}} = 45.83 \text{ m}^3$, y se proponen las siguientes dimensiones del tanque de $V_{tanque} = (4 \times 5 \times 2.5) \text{ m}^3 = 50 \text{ m}^3$.

Objetivo Específico 2. Evaluar la potencialidad del afluente aledaña al sector.

5.4.2 Segundo objetivo: Potencialidad del afluente.

5.4.2.1 Características del afluente.

De la **Figura 24** se caracteriza la superficie por donde circula el fluido, según la **Tabla 4**, el afluente se aproxima a un arroyo de montaña con presencia de gran cantidad de piedras. Su determinación se basa en hidráulica de canales abiertos.



Figura 24. Afluente del sector “Sharve”.

5.4.2.2 Pendiente del afluente.

La pendiente se determina de la **Ecuación (34)**, para una distancia a lo largo de su flujo de 9.17 m, y la diferencia de altura entre los dos puntos de 0.79 m (ver **Figura 25**).

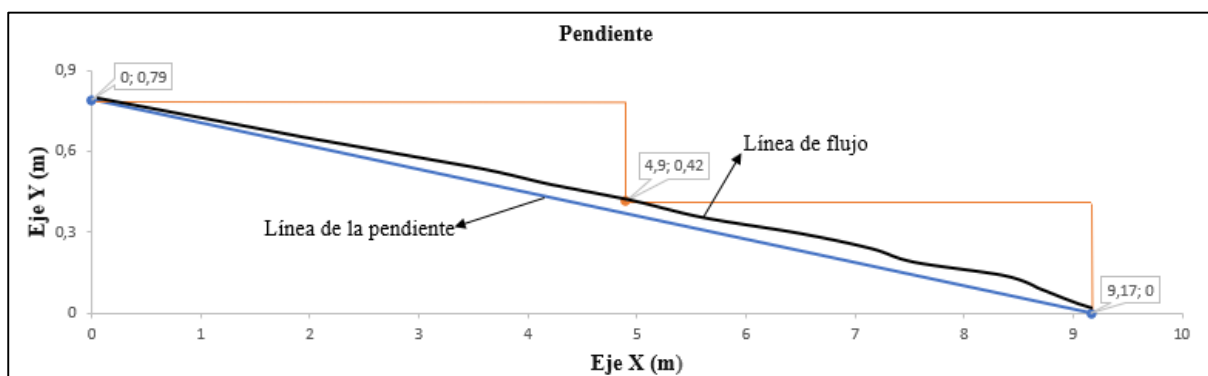


Figura 25. Pendiente del afluente.

$$S = \frac{0.79\text{m}}{9.17\text{ m}} * 100\%$$
$$S = 0.08615 = 8.615 \%$$

Se estima la sección transversal de un canal abierto mediante trapecio/rectangular. Para determinar el área sección se evalúa en 3 puntos a lo largo del tramo seleccionado $P_1 = (0; 0.79)\text{m}$, $P_2 = (4.9; 0.42)\text{m}$, $P_3 = (9.17; 0)\text{m}$.

5.4.2.3 Velocidad del fluido por la Ecuación Manning.

Punto 1. En la **Figura 26** se aproxima la sección transversal.

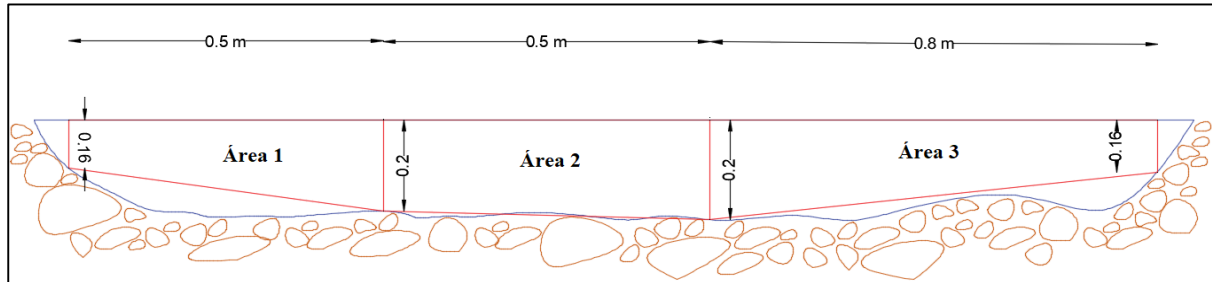


Figura 26. Sección transversal trapecio/rectangular “Punto 1”.

Se divide la sección transversal del canal en tres formas geométricas que se adaptan a la **Ecuación (28)** y **Ecuación (30)** y se determina el área de cada geometría.

$$A_h = \frac{b + T}{2} y$$

$$A_{h1} = \frac{0.16 \text{ m} + 0.2 \text{ m}}{2} (0.5 \text{ m})$$

$$A_{h1} = 0.09 \text{ m}^2$$

$$A_{h2} = b * y$$

$$A_{h2} = 0.5 \text{ m} * 0.2 \text{ m}$$

$$A_{h2} = 0.1 \text{ m}^2$$

$$A_{h3} = \frac{b + T}{2} y$$

$$A_{h3} = \frac{0.2 \text{ m} + 0.16 \text{ m}}{2} 0.8 \text{ m}$$

$$A_{h3} = 0.144 \text{ m}^2$$

$$A_{hT} = A_{h1} + A_{h2} + A_{h3}$$

$$A_{hT} = 0.334 \text{ m}^2$$

Perímetro mojado de la **Ecuación (29)** y **Ecuación (31)**.

$$P_{m1} = b + 2y\sqrt{1 + Z^2}$$

$$P_{m1} = 0.16 \text{ m} + (0.5 \text{ m})\sqrt{1 + (0.04)^2}$$

$$P_{m1} = 0.661 \text{ m}$$

$$P_{m2} = b$$

$$P_{m2} = 0.5 \text{ m}$$

$$P_{m3} = b + 2y\sqrt{1 + Z^2}$$

$$P_{m3} = 0.961 \text{ m}$$

$$P_{mT} = P_{m1} + P_{m2} + P_{m3}$$

$$P_{mT} = 2.122 \text{ m}$$

Radio hidráulico de la **Ecuación (35)**.

$$R_h = \frac{A_h}{P_{mT}}$$

$$R_h = \frac{0.334 \text{ m}^2}{2.122 \text{ m}}$$

$$R_h = 0.157 \text{ m}$$

La velocidad en el Punto 1 está dada por la **Ecuación (38)** de Manning.

$$V_M = \frac{1}{C_M} R_h^{2/3} S^{1/2}$$

$$V_M = \frac{1}{0.040} (0.157)^{2/3} (0.08615)^{1/2}$$

$$V_M = 2.138 \text{ m/s}$$

Punto 2. En la **Figura 27** se aproxima la sección transversal.

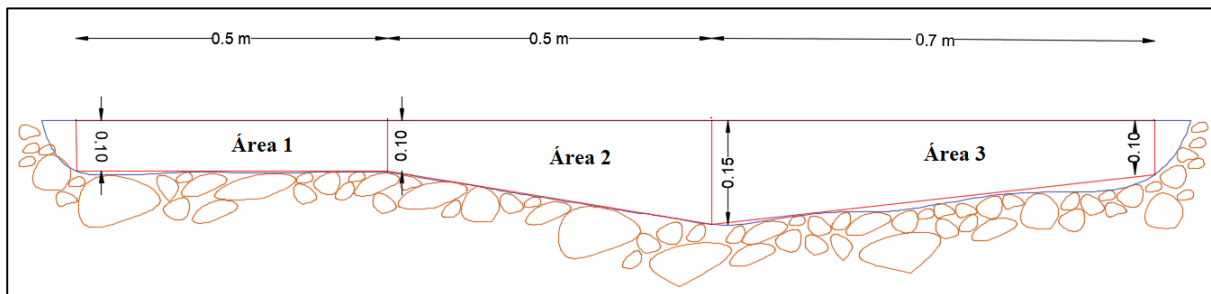


Figura 27. Sección transversal trapecio/rectangular “Punto 2”.

Se divide la sección transversal del canal en tres formas geométricas que se adaptan a la **Ecuación (28)** y **Ecuación (30)** y se determina el área de cada geometría.

$$A_{h1} = 0.05 \text{ m}^2$$

$$A_{h2} = 0.0625 \text{ m}^2$$

$$A_{h3} = 0.0875 \text{ m}^2$$

$$A_{hT} = 0.2 \text{ m}^2$$

Perímetro mojado de la **Ecuación (29)** y **Ecuación (31)**.

$$P_{m1} = 0.60 \text{ m}$$

$$P_{m2} = 0.502 \text{ m}$$

$$P_{m3} = 0.802 \text{ m}$$

$$P_{mT} = 1.904 \text{ m}$$

Radio hidráulico de la **Ecuación (35)**.

$$R_h = \frac{0.2 \text{ m}^2}{1.904 \text{ m}}$$

$$R_h = 0.105 \text{ m}$$

La velocidad en el Punto 2 está dada por la **Ecuación (38)** de Manning.

$$V_M = \frac{1}{0.040} (0.105)^{2/3} (0.08615)^{1/2}$$

$$V_M = 1.632 \text{ m/s}$$

Punto 3. En la **Figura 28** se aproxima la sección transversal.

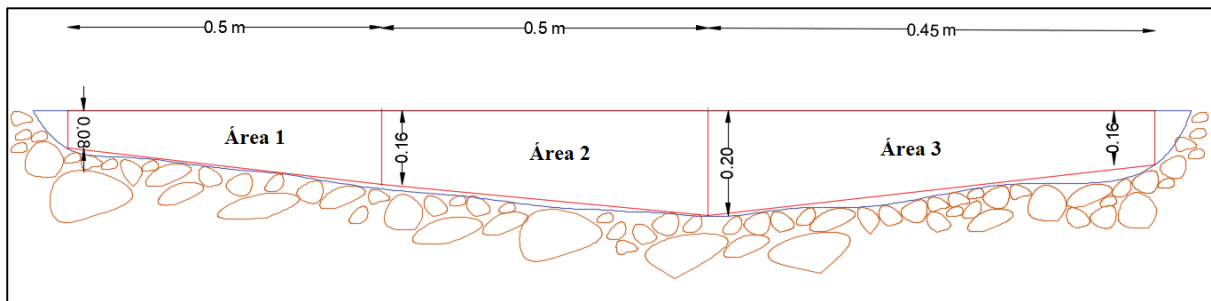


Figura 28. Sección transversal trapecio/rectangular “Punto 3”.

Se divide la sección transversal del canal en tres formas geométricas que se adaptan a la **Ecuación (28)** y **Ecuación (30)** y se determina el área de cada geometría.

$$A_{h1} = 0.0575 \text{ m}^2$$

$$A_{h2} = 0.09 \text{ m}^2$$

$$A_{h3} = 0.081 \text{ m}^2$$

$$A_{hT} = 0.226 \text{ m}^2$$

Perímetro mojado de la **Ecuación (29)** y **Ecuación (31)**.

$$P_{m1} = 0.584 \text{ m}$$

$$P_{m2} = 0.502 \text{ m}$$

$$P_{m3} = 0.611 \text{ m}$$

$$P_{mT} = 1.697 \text{ m}$$

Radio hidráulico de la **Ecuación (35)**.

$$R_h = \frac{0.226 \text{ m}^2}{1.697 \text{ m}}$$

$$R_h = 0.133 \text{ m}$$

La velocidad en el Punto 3 está dada por la **Ecuación (38)** de Manning.

$$V_M = \frac{1}{0.040} (0.133)^{2/3} (0.08615)^{1/2}$$

$$V_M = 1.912 \text{ m/s}$$

Para determinar el caudal del afluente se utiliza la **Ecuación (42)**. Se establece un promedio de todas las secciones transversales y las velocidades de Manning en cada punto.

$$A_{T \text{ prom}} = \frac{A_{TP_1} + A_{TP_2} + A_{TP_3}}{3}$$

$$A_{T \text{ prom}} = \frac{(0.334 + 0.2 + 0.226) \text{ m}^2}{3}$$

$$A_{T \text{ prom}} = 0.253 \text{ m}^2$$

$$V_{M \text{ prom}} = \frac{V_{M P_1} + V_{M P_2} + V_{M P_3}}{3}$$

$$V_{M \text{ prom}} = \frac{(2.138 + 1.632 + 1.912) \text{ m/s}}{3}$$

$$V_{M \text{ prom}} = 1.894 \text{ m/s}$$

Caudal del afluente

$$Q = v * A$$

$$Q = (1.894 \text{ m/s})(0.253 \text{ m}^2)$$

$$Q_{\text{afluente}} = 0.479 \text{ m}^3/\text{s} = 479 \text{ L/s}$$

Para evaluar la potencialidad del afluente se obtienen datos en determinadas fechas. El inicio de la primera muestra se realiza 09/06/2020 y finaliza 03/10/2020. En la **Tabla 17** y **Figura 29** muestra el caudal determinado.

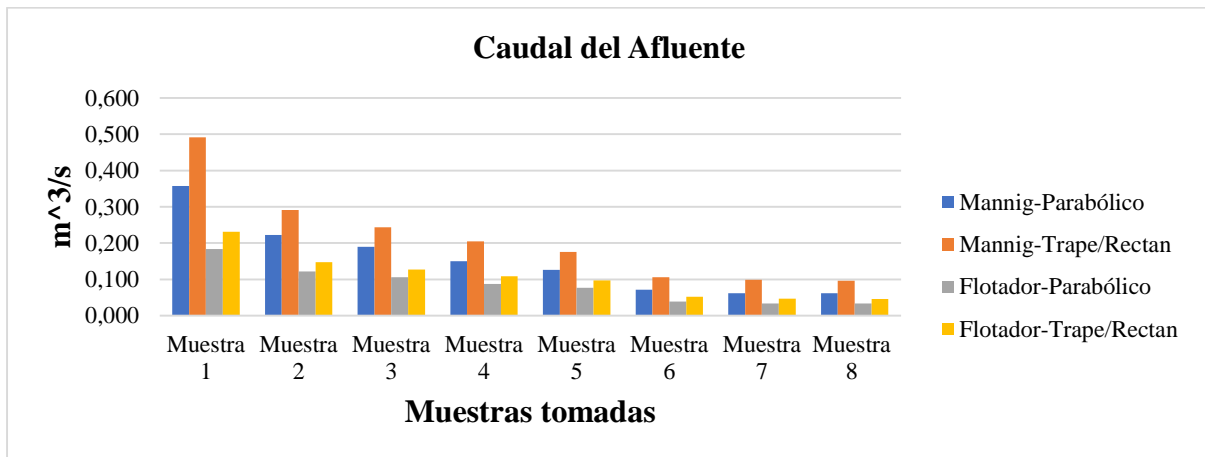


Figura 29. Caudal del afluente.

Tabla 17*Potencialidad del afluente para determinadas fechas*

Fecha		Potencialidad del afluente (m ³ /s)			
		Manning		Flotador	
		Trape/Rectan	Parabólica	Trape/Rectan	Parabólico
Muestra 1	Caudal	0.479	0.356	0.230	0.183
9/6/2020	Reynolds	217000	179000	104000	92000
Muestra 2	Caudal	0.291	0.22	0.147	0.122
4/7/2020	Reynolds	317000	117000	72700	66000
Muestra 3	Caudal	0.243	0.189	0.127	0.106
18/7/2020	Reynolds	117000	99500	64100	58300
Muestra 4	Caudal	0.205	0.150	0.109	0.087
25/7/2020	Reynolds	98800	79200	55700	48700
Muestra 5	Caudal	0.176	0.127	0.097	0.077
1/8/2020	Reynolds	84700	67700	49900	43600
Muestra 6	Caudal	0.106	0.072	0.052	0.039
7/9/2020	Reynolds	57000	40800	28900	23700
Muestra 7	Caudal	0.099	0.061	0.046	0.034
18/9/2020	Reynolds	55000	34900	26500	20300
Muestra 8	Caudal	0.096	0.061	0.045	0.033
3/10/2020	Reynolds	53800	34900	26100	20200

5.4.2.4 Análisis de volumen diario del afluente.

Para el siguiente análisis se toma el valor del caudal más crítico por el método de Manning por secciones transversales Trapecio/Rectangular de $Q = 0.096 \text{ m}^3/\text{s} = 96 \text{ L/s}$

$$Q = V/t$$

$$V = Q * t$$

$$V = (0.096 \text{ m}^3/\text{s})(86400 \text{ s})$$

$$V = 8294.4 \text{ m}^3$$

El volumen diario de agua que brinda el afluente es de $V = 8294.4 \text{ m}^3$ por día.

Objetivo Específico 3: Diseñar la rueda hidráulica que satisfaga la bomba de pistón seleccionada.

5.4.3 Tercer objetivo: Diseño de la rueda hidráulica.

5.4.3.1 Selección de bomba de pistón.

Cada riego que se ejecuta funciona con un mínimo de 5 y un máximo de 6 aspersores.

Volumen de riego

$$V_T = (7638.7 \text{ L})(6)$$

$$V_T = 45830.4 \text{ L}$$

Volumen total por cada riego es de $V_T = 45.8 \text{ m}^3$

Según el catálogo de bombas ZM, la bomba de pistón que permite satisfacer la demanda es una bomba ZM 76 MAXXI con un caudal de $Q = 47200 \text{ L/día}$.

5.4.3.2 Potencia y rendimiento de la bomba.

Carga agregada.

De la Ecuación (46) se determina la carga agregada de la bomba. La **Figura 30** muestra un esquema de bombeo.

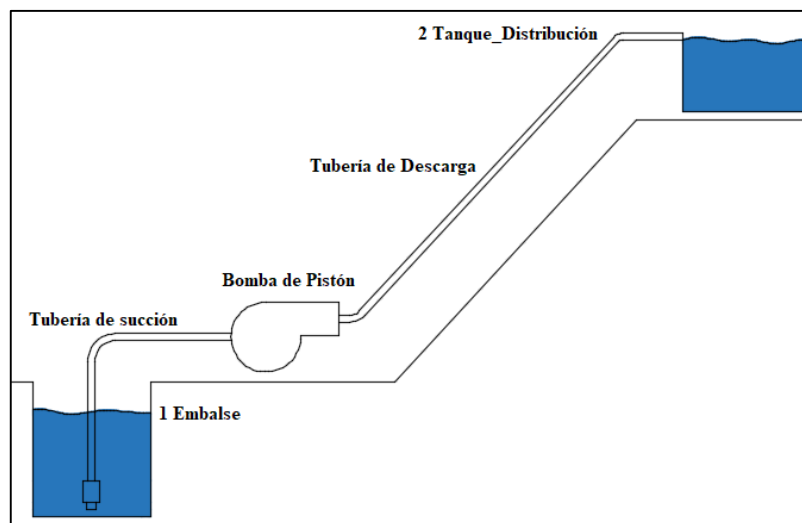


Figura 30. Esquema de bombeo.

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

$$h_A = H = (z_2 - z_1) + h_L$$

$$h_A = H = (1852 - 1825) \text{ m} + h_L$$

Pérdidas primarias.

Se propone un diámetro en toda la red de succión e impulso de 0.025 m

La velocidad en la tubería está dada por la **Ecuación (42)**, para un caudal de la bomba ZM 76 de $Q = 5.46 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ según la curva característica (ver **Figura 31**).

$$Q = v * A$$
$$v = \frac{5.46 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{4.908 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$
$$v = 1.11 \text{ m/s}$$

Número de Reynolds de la **Ecuación (36)**.

$$N_R = \frac{vD}{\nu}$$
$$N_R = \frac{(1.11 \text{ m/s})(0.025 \text{ m})}{1.151 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$
$$N_R = 2.42 \times 10^4$$

Factor de fricción de la **Ecuación (49)**.

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7(D/\varepsilon)} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}} \right) \right]^2}$$
$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7(0.025 \text{ m}/1.5 \times 10^{-6} \text{ m})} + \frac{5.74}{(2.42 \times 10^4)^{0.9}} \right) \right]^2}$$
$$f = 0.024$$

De la **Ecuación (48)** se determina las pérdidas primarias para una longitud de tubería de 138 m.

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$
$$h_p = 0.024 * \frac{138 \text{ m}}{0.025 \text{ m}} * \frac{(1.11 \text{ m/s})^2}{2(9.81 \text{ m/s}^2)}$$
$$h_p = 8.63 \text{ m}$$

La **Tabla 18** muestra los accesorios que comprenden la tubería de succión y descarga de la bomba.

Tabla 18*Accesorios de la bomba*

Accesorio	Cantidad	Le/D
Válvula pie y rejilla	1	420
Válvula de pie	1	100
Unión o junta	3	30

El factor de fricción para los accesorios se determina de la **Ecuación (49)**, los elementos se encuentran en zona de turbulencia completa la ecuación se simplifica:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7(D/\varepsilon)} \right) \right]^2}$$

$$f_T = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7(0.025 \text{ m}/1.5 \times 10^{-6} \text{ m})} \right) \right]^2}$$

$$f_T = 0.01$$

El coeficiente de resistencia K para los accesorios está dado por la **Ecuación (51)**. El (Anexo 4) proporciona la longitud equivalente en diámetros de tubería para algunos accesorios.

$$K_T = \left(\frac{L_e}{D} \right) f_T$$

$$K_T = (420 + 100 + 3(30))(0.01)$$

$$K_T = 5.2$$

De la **Ecuación (50)** se determina la pérdida por accesorios.

$$h_s = K_T \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

$$h_s = (5.2) \left(\frac{(1.11 \text{ m/s})^2}{2(9.81 \text{ m/s}^2)} \right)$$

$$h_s = 0.32 \text{ m}$$

Pérdidas totales en todo el sistema de bombeo

$$h_L = h_p + h_s$$

$$h_L = 8.95 \text{ m}$$

$$h_A = (1852 - 1825) \text{ m} + 8.95 \text{ m}$$

Carga agregada del sistema $h_A = H = 35.95 \text{ m}$

Potencia hidráulica de la **Ecuación (75)**.

$$P_H = Q \gamma H$$

$$P_H = (5.46 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}) (9810 \text{ N/m}^3) (35.95 \text{ m})$$

$$P_H = 192.5 \text{ W}$$

Rendimiento de la bomba.

De **Figura 31** se obtiene la curva característica de la bomba ZM 76, su potencia real y rendimiento.

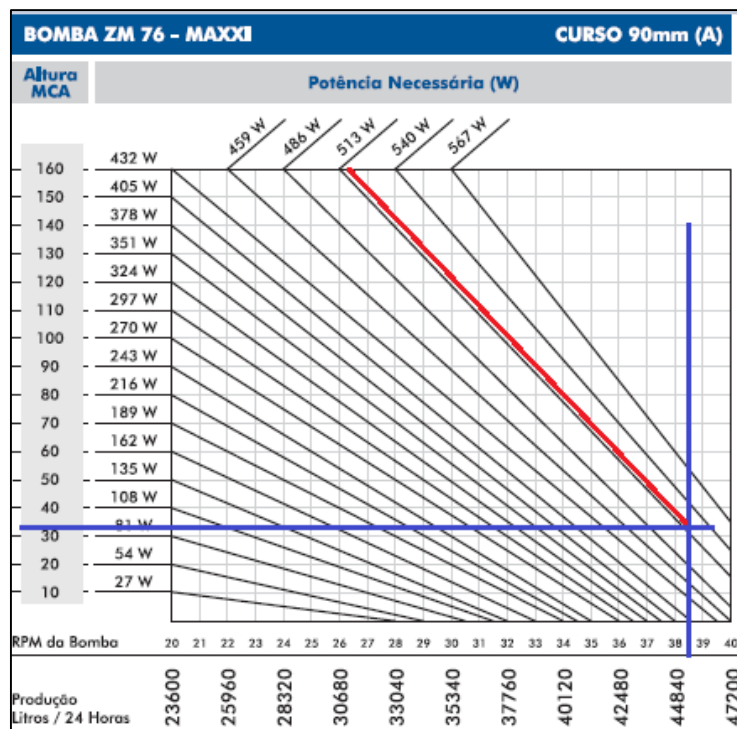


Figura 31. Curva de la bomba ZM 76.

Fuente: (Bombas ZM).

$$\eta = P_H / P_{real}$$

$$\eta = \frac{192.5 \text{ W}}{515 \text{ W}}$$

$$\eta = 0.3738$$

5.4.3.3 Diseño de la Rueda Hidráulica.

Se propone diseñar una rueda hidráulica de madera náutica con una densidad de 610 kg/m^3 . Se plantea por parte del diseñador parámetros fijos de diseño de la rueda.

- $n = 39 \text{ rpm}$, curva característica de la bomba (ver **Figura 31**)
- Diámetro exterior de la rueda = 1.5 m
- Diámetro interior de la rueda = 1 m
- Número de cangilones = 25
- Espesor de la madera = 0.015 m

La **Figura 32** orienta los componentes del sistema de bombeo por rueda hidráulica y bomba de pistón.

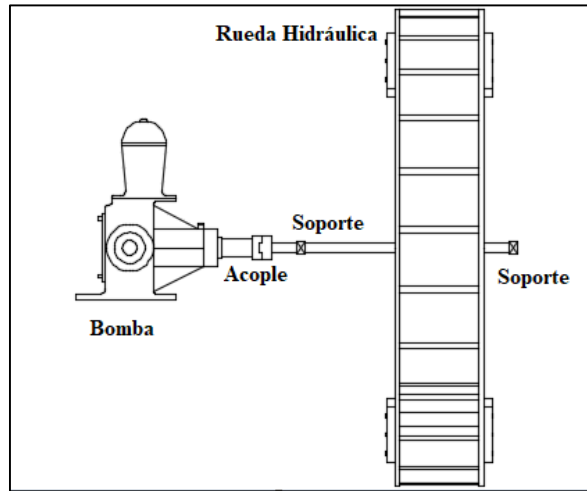


Figura 32. Componentes de la rueda hidráulica.

Velocidad angular de la rueda de la **Ecuación (59)**. De la **Figura 31** la bomba ZM gira a 39 rpm para suministrar el caudal deseado.

$$\omega = \frac{n\pi}{30}$$

$$\omega = \frac{(39 \text{ rpm})\pi}{30}$$

$$\omega = 4.08 \text{ rad/s}$$

Velocidad lineal de la rueda de la **Ecuación (60)**.

$$v_l = \frac{\omega D}{2}$$

$$v_l = \frac{(4.08 \text{ rad/s})(1.5 \text{ m})}{2}$$

$$v_l = 3.06 \text{ m/s}$$

La potencia hidráulica de la bomba es de $P_H = 192.5 \text{ W}$. La potencia real de la bomba está dada por la siguiente expresión. El rendimiento de la bomba es de 0.3738.

$$P_r = \frac{P_H}{\eta}$$

$$P_r = \frac{192.5 \text{ W}}{0.3738}$$

$$P_r = 515.13 \text{ W}$$

Potencia en el eje de la rueda, rendimiento del acople 0.9 según (SKF) acoplamiento SKF

$$P_{eje} = P_r / \eta_{acople}$$

$$P_{eje} = \frac{515.13 \text{ W}}{0.9}$$

$$P_{eje} = 572.36 \text{ W}$$

Torque en el eje de la **Ecuación (68)**.

$$P_{eje} = \tau \omega$$

$$\tau = \frac{572.36 \text{ W}}{4.08 \text{ rad/s}}$$

$$\tau_{eje} = 140.28 \text{ N m}$$

5.4.3.3.1 *Energía cinética rotacional de la rueda hidráulica.*

Momentos de inercia con respecto a la masa de los componentes de la rueda hidráulica.

- Momento de inercia del anillo o carrete

La **Figura 33** muestra las dimensiones del anillo o carrete.

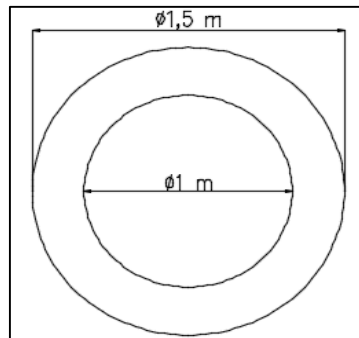


Figura 33. Dimensiones del anillo o carrete.

$$A = \frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi(1.5 \text{ m})^2}{4} - \frac{\pi(1 \text{ m})^2}{4}$$

$$A_{carrete} = 0.981 \text{ m}^2$$

Volumen del carrete, el espesor de la madera es de 0.015 m.

$$V = (0.981 \text{ m}^2)(0.015 \text{ m})$$

$$V_{carrete} = 0.0147 \text{ m}^3$$

De la **Ecuación (40)** se determina la masa del carrete, $\rho_{madera} = 610 \text{ kg/m}^3$.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = (610 \text{ kg/m}^3)(0.0147 \text{ m}^3)$$

$$m = 8.967 \text{ kg}$$

Momento de inercia del carrete con respecto a la masa y radio de giro de la **Ecuación (57)**.

$$I = \frac{1}{2}m(r_1^2 + r_2^2)$$

$$I = \frac{1}{2}(8.967 \text{ kg})[(0.75 \text{ m})^2 + (0.5 \text{ m})^2]$$

$$I_{\text{carrete}} = 3.643 \text{ kg m}^2$$

El momento de inercia para 2 carretes $I_{\text{carrete}} = 7.285 \text{ kg m}^2$

- Momento de inercia del cangilón

La **Figura 34** muestra las dimensiones del cangilón

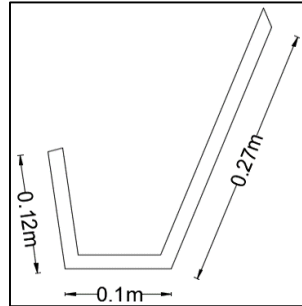


Figura 34. Dimensiones del cangilón.

$$A = P * e$$

$$A = (0.49 \text{ m})(0.015 \text{ m})$$

$$A_{\text{cangilón}} = 7.35 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

De la **Ecuación (40)** se determina la masa del cangilón, $\rho_{\text{madera}} = 610 \text{ kg/m}^3$.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = (610 \text{ kg/m}^3)(1.837 \times 10^{-3} \text{ m}^3)$$

$$m = 1.12 \text{ kg}$$

Momento de inercia del cangilón con respecto a su masa y radio de giro de la **Ecuación**

(56). El radio de giro con respecto al centro de masa del cangilón es de 0.602 m.

$$I = mr^2$$

$$I = (1.12 \text{ kg})(0.602 \text{ m})^2$$

$$I_{\text{cangilón}} = 0.406 \text{ kg m}^2$$

El momento de inercia para 25 cangilones $I_{\text{cangilón}} = 10.15 \text{ kg m}^2$

$$I_T = I_{\text{carrete}} + I_{\text{cangilón}}$$

$$I_T = 7.285 \text{ kg m}^2 + 10.15 \text{ kg m}^2$$

$$I_T = 17.435 \text{ kg m}^2$$

Momento de inercia total de la rueda hidráulica es de $I_T = 17.435 \text{ kg m}^2$.

De la **Ecuación (58)** se determina la energía cinética rotacional o torque rotacional.

$$E_{c\text{rotacional}} = \frac{1}{2} I \omega^2$$

$$E_{c\text{rotacional}} = \frac{1}{2} (17.54 \text{ kg m}^2) (4.08 \text{ rad/s})^2$$

$$E_{c\text{rotacional}} = 145.11 \text{ N m}$$

La sumatoria del toque de energía cinética rotacional y el torque del eje de la bomba, es el mínimo torque requerido para el funcionamiento del mecanismo.

$$\tau_{Total} = \tau_{eje} + \tau_{rotacional}$$

$$\tau_{Total} = 140.28 \text{ Nm} + 145.11 \text{ Nm}$$

$$\tau_{Total} = 285.39 \text{ Nm}$$

El torque de funcionamiento inicial del mecanismo rueda hidráulica y bomba es de **285.39 N m**.

5.4.3.3 Torque de Accionamiento.

Toque producido por el peso de las masas del agua.

Se determina el torque de accionamiento máximo de la rueda por el peso del agua ejercido por cada cangilón, el volumen de cada cangilón varía de acuerdo al ángulo de posición con respecto a su eje de giro. En un instante cada cangilón tendrá el siguiente volumen de agua (ver **Figura 35**).

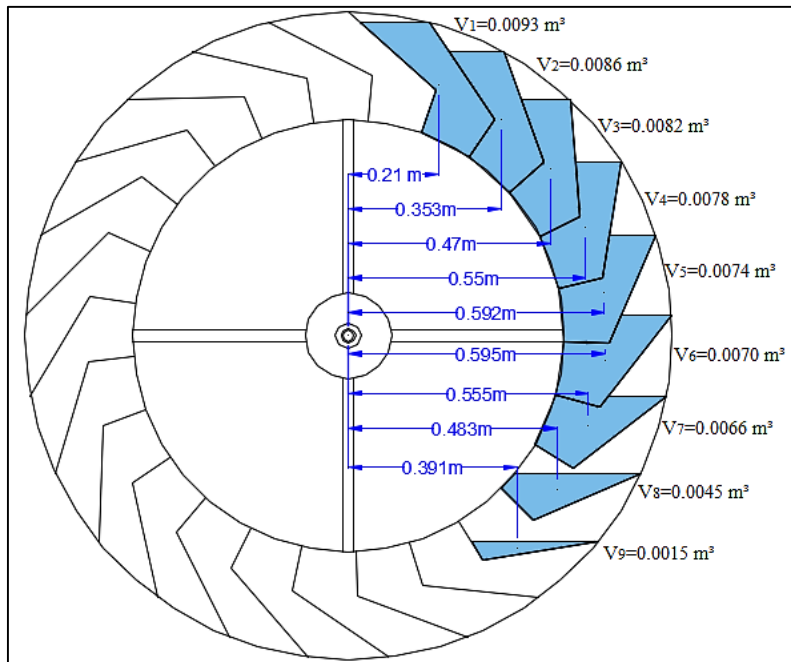


Figura 35. Volumen de agua en el cangilón.

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ de agua}$$

$$m = \rho * V = (1 \text{ m}^3) \left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = 1000 \text{ kg de masa de agua}$$

$$1\text{kg} = 9.8 \text{ N}$$

El agua ingresa al cangilón generando un torque que es producido por el peso del agua con respecto a su centro de giro. Conforme avanza el giro de la rueda, el volumen de agua va disminuyendo, generando diversos torques hasta alcanzar un vacío total de agua en el cangilón. En la **Tabla 19** se observa los torques producidos en un instante de la **Figura 35**.

Tabla 19

Torque de la rueda hidráulica por el peso del fluido

Volumen (m ³)	Masa (kg)	Radio (m)	Torque (N m)
0.0093	9.3	0.21	19.04
0.0086	8.6	0.353	29.75
0.0082	8.2	0.47	37.54
0.0078	7.8	0.55	41.91
0.0074	7.4	0.592	43.08
0.0070	7	0.595	40.96
0.0066	6.6	0.555	35.63
0.0045	4.5	0.483	21.30
0.0015	1.5	0.391	5.75
Total			274.95

Torque total producido por el peso del fluido de todos los cangilones $\tau_{fluido} = 274.95 \text{ N m}$.

Torque producido por fuerzas de choque de la energía del agua.

La velocidad del agua que ingresa a la rueda hidráulica se determina de la **Ecuación (47)**. La diferencia de altura del ingreso del fluido a la tubería y la salida es de 2 m como lo muestra la **Figura 36**.

Velocidad del fluido sin considerar pérdidas.

$$v = \sqrt{2gh}$$

$$v_t = \sqrt{2(9.81 \text{ m/s}^2)(2 \text{ m})}$$

$$v_t = 6.264 \text{ m/s}$$

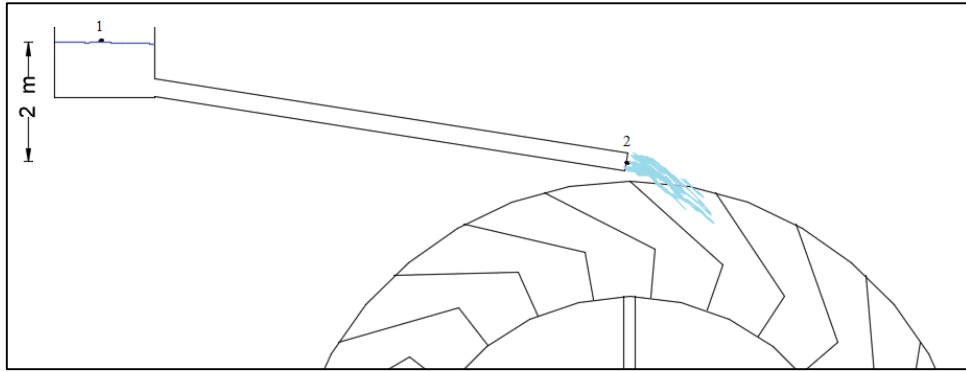


Figura 36. Velocidad del fluido que ingresa a la rueda.

Se propone un diámetro de tubería de 4" y una longitud de 6 m. De la **Ecuación (36)**, **Ecuación (48)** y **Ecuación (49)** se obtiene el factor fricción, número de Reynolds y pérdidas en la tubería respectivamente.

Factor de fricción

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

$$f = 0.14$$

Número Reynolds

$$N_R = \frac{vD}{\nu}$$

$$N_R = 4 \times 10^5$$

Pérdidas

$$h_L = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

$$h_L = 0.922 \text{ m}$$

De la **Ecuación (46)** se obtiene la velocidad del fluido que ingresa a la rueda, considerando pérdidas en la tubería.

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

$$v_t = \sqrt{2g(z - h_L)}$$

$$v_t = \sqrt{2(9.81 \text{ m/s}^2)(2 \text{ m} - 0.922 \text{ m})}$$

$$v_t = 4.6 \text{ m/s}$$

De la **Ecuación (42)** se determina el caudal de ingreso a la rueda para un diámetro de tubería de 4".

$$Q = v * A$$

$$Q = (4.6 \text{ m/s})(8.107 \times 10^{-3} \text{ m}^2)$$

$$Q = 0.03792 \text{ m}^3/\text{s}$$

Volumen diario de agua para el funcionamiento de la rueda hidráulica.

$$Q = V/t$$

$$V = Q * t = (0.03729 \text{ m}^3/\text{s})(86400 \text{ s})$$

$$V = 3276.28 \text{ m}^3$$

El caudal de ingreso hacia la rueda es de $Q = 0.03729 \text{ m}^3/\text{s}$ y un volumen diario de $V = 3276.28 \text{ m}^3$.

El torque se genera por el choque del fluido con las paredes del cangilón, produciendo un torque adicional a la rueda como muestra la **Figura 36**. La velocidad del fluido y la velocidad con la que gira la rueda produce una velocidad efectiva y se determina por la **Ecuación (52)**.

$$v_e = v_t - v_l$$

$$v_e = 4.6 \text{ m/s} - 3.06 \text{ m/s}$$

$$v_e = 1.54 \text{ m/s}$$

El caudal efectivo se determina de la **Ecuación (53)**.

$$Q_e = v_e A$$

$$Q_e = (1.54 \text{ m/s})(8.107 \times 10^{-3} \text{ m}^2)$$

$$Q_e = 0.0124 \text{ m}^3/\text{s} = 12.4 \text{ L/s}$$

Las reacciones R_A y R_B de la **Figura 37** se determinan de la **Ecuación (54)** y **Ecuación (55)** respectivamente.

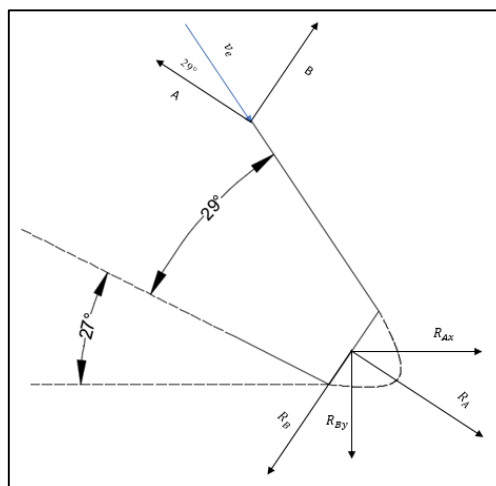


Figura 37. Análisis de reacciones en el cangilón.

$$R_A = \rho Q_e v_e (1 + \cos \theta)$$

$$R_A = (1000 \text{ kg/m}^3)(0.0124 \text{ m}^3/\text{s})(1.54 \text{ m/s})(1 + \cos(29^\circ))$$

$$R_A = 35.79 \text{ N}$$

$$R_B = \rho Q_e v_e \text{sen}\theta$$

$$R_B = (1000 \text{ kg/m}^3)(0.0124 \text{ m}^3/\text{s})(1.54 \text{ m/s})(\text{sen}(29^\circ))$$

$$R_B = 9.25 \text{ N}$$

Reacciones en un plano R_{Ax} y R_{By} .

$$R_{Ax} = (35.79 \text{ N})(\cos(27^\circ))$$

$$\mathbf{R_{Ax} = 31.88 \text{ N}}$$

$$R_{By} = (9.25 \text{ N})(\cos(27^\circ))$$

$$\mathbf{R_{by} = 8.24 \text{ N}}$$

El par torsor ejercido por las reacciones R_{Ax} y R_{By} , con un brazo de distancia de 0.552 m.

$$\tau_{R_{Ax}} = (31.88 \text{ N})(0.552 \text{ m})$$

$$\tau_{R_{Ax}} = 17.59 \text{ N m}$$

$$\tau_{R_{By}} = (8.24 \text{ N})(0.552 \text{ m})$$

$$\tau_{R_{By}} = 4.55 \text{ N m}$$

Torque producido por las fuerzas de choque de la energía del agua $\tau_{vf} = 22.14 \text{ N m}$.

El torque de accionamiento es la suma del torque total producido por el peso del fluido y el torque producido por las fuerzas de choque de la energía del agua.

$$\tau_{accionamiento} = 274.95 \text{ N m} + 22.14 \text{ N m}$$

$$\mathbf{\tau_{accionamiento} = 297.09 \text{ N m}}$$

5.4.3.3 *Potencia de rueda hidráulica*

Para determinar la potencia mecánica de rueda hidráulica se hace uso de la **Ecuación (68)**.

$$P_{rueda} = \tau\omega$$

$$P_{rueda} = (297.09 \text{ Nm})(4.08 \text{ rad/s})$$

$$\mathbf{P_{rueda} = 1212.12 \text{ W}}$$

5.4.3.4 Elementos de Transmisión.

Para transmitir la potencia generada por la rueda hidráulica a la bomba (ver **Figura 38**), se propone los siguientes elementos de transmisión:

1. Rayo o radio de la rueda hidráulica. Se proponen 4 rayos de tubo cuadrado galvanizado para la sujeción de la rueda.

2. Disco sujetador de los rayos de la rueda.
3. Perno sujetador entre disco y rayos.
4. Cubo o manzana. Permite fijar los discos para la transmisión de potencia.
5. Eje hueco de transmisión.
6. Soportes.
7. Perno sujetador entre cubo y el eje.

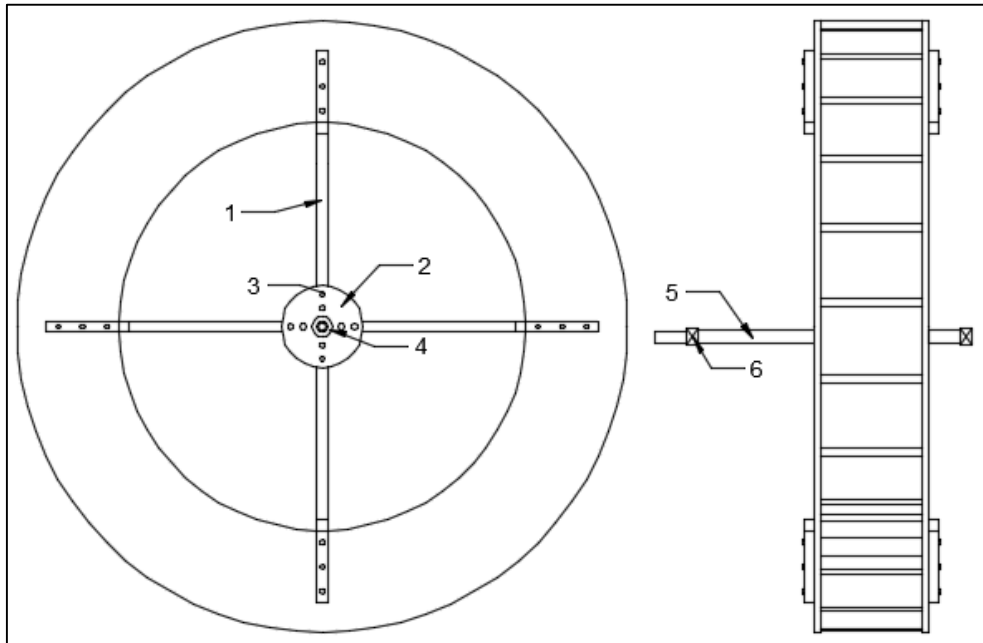


Figura 38. Elementos de transmisión.

5.4.3.4.1 *Diseño de los rayos.*

Para el diseño de los rayos de la rueda, se propone un tubo cuadrado de hierro galvanizado.

Propiedades del material según (DIPAC, 2020).

$$\sigma_y = 235 \times 10^6 \text{ N/m}^2 \text{ Resistencia a la fluencia}$$

Factor de seguridad F_1 y F_2 se selecciona de la **Tabla 6** y **Tabla 7** respectivamente.

Factor de seguridad $F_1 = 1.2$

- La calidad del material es muy buena “A”.
- Existe un control muy bueno sobre la carga “B”.
- Análisis de esfuerzos bueno “C”

La **Figura 39** muestra el factor de seguridad F_1 seleccionado para los rayos.

Características		B				
		mb	b	r	p	
A=mb	C =	mb	1.1	1.3	1.5	1.7
		b	1.2	1.45	1.7	1.95
		r	1.3	1.6	1.9	2.2
		p	1.4	1.75	2.1	2.45

Figura 39. Factor de seguridad F_1 “rayos”.

Factor de seguridad $F_2 = 1.2$

- Daño para el personal nada serio “D”
- Impacto económico muy serio “E”

La **Figura 40** muestra el factor de seguridad F_2 seleccionado para los rayos.

Características		D			
		ns	s	ms	
E =		ns	1	1.2	1.4
		s	1	1.3	1.5
		ms	1.2	1.4	1.6

Figura 40. Factor de seguridad F_2 “rayos”.

Factor de seguridad F_s de la **Ecuación (69)**.

$$F_s = F_1 * F_2$$

$$F_s = 1.2 * 1.2$$

$$F_s = 1.44$$

Esfuerzo de diseño.

$$\sigma_d = (235 \times 10^6 \text{ N/m}^2) / 1.44$$

$$\sigma_d = 163.2 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

Se determina el rayo por el esfuerzo del módulo de la sección de la **Ecuación (65)** y **Ecuación (67)**. Se propone 4 rayos, el momento flector actúa en un instante sobre dos rayos, por lo tanto, en momento flector será $M_f/2$ (ver **Figura 41**).

$$M_f = M_t$$

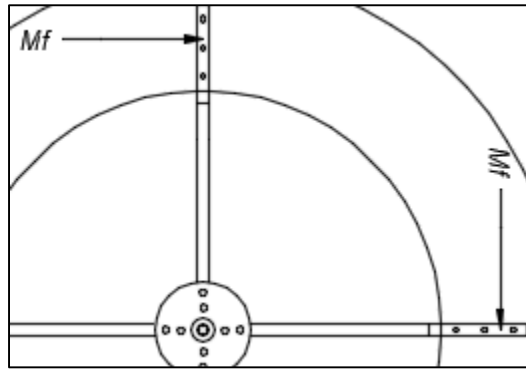


Figura 41. Distribución del momento flector.

$$S_s = \frac{M_t}{\sigma}$$

$$S_s = \frac{(297.09 \text{ N m})}{2(163.2 \times 10^6 \text{ N/m}^2)}$$

$$S_s = 9.102 \times 10^{-7} \text{ m}^3 = 0.9102 \text{ cm}^3$$

Sección transversal del rayo

El módulo de sección mínimo para el rayo es $S_s = 0.9102 \text{ cm}^3$. Según el catálogo DIPAC se tiene un tubo cuadrado comercial de:

- $A = 25 \text{ mm}$
- $e = 1.5 \text{ mm}$
- $\text{Área} = 1.35 \text{ cm}^2$
- $S = 0.97 \text{ cm}^3$
- $I = 1.21 \text{ cm}^4$

La **Figura 42** muestra la sección transversal y posición del rayo.

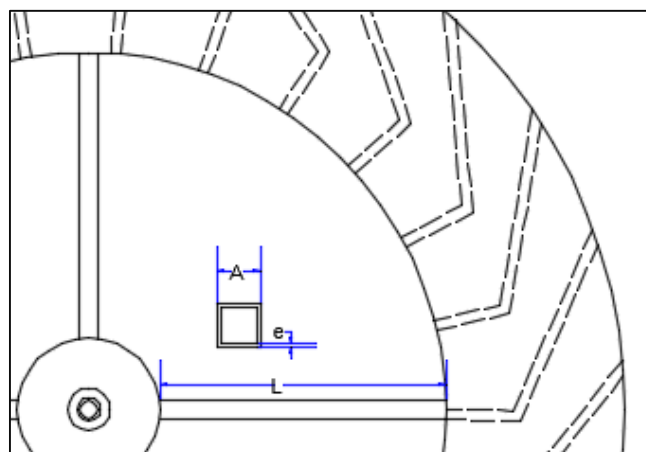


Figura 42. Análisis de esfuerzos sobre el rayo.

Esfuerzo real sometido al rayo se determina de la **Ecuación (65)**.

$$\sigma_{rayo} = \frac{M_f c}{I}$$

$$\sigma_{rayo} = \frac{(297.09 \text{ N m})(0.0125 \text{ m})}{(1.21 \times 10^{-8} \text{ m}^4)(4)}$$

$$\sigma_{rayo} = 76.73 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

Fuerza axial en el rayo

De la **Ecuación (61)** se determina la fuerza axial que está sometido cada rayo. La fuerza axial se determina por la velocidad de radio medio de la rueda hidráulica (ver **Figura 43**).

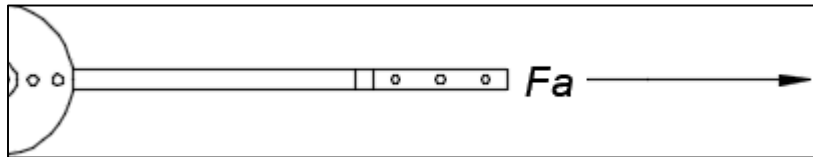


Figura 43. Fuerza axial en el rayo.

Velocidad media de la **Ecuación (60)**.

$$r_{medio} = 0.625 \text{ m}$$

$$v_l = \frac{\omega D}{2}$$

$$v_{med} = \frac{\left(4.08 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)(1.25 \text{ m})}{2}$$

$$v_{med} = 2.55 \text{ m/s}$$

Peso de la rueda por unidad de longitud. El diámetro medio de la rueda es de 1.25 m.

$$\text{Perímetro}_{medio} = 1.25 \text{ m}(\pi) = 3.92 \text{ m}$$

$$q = \frac{W_{rueda}}{\text{Perímetro}_{medio}}$$

$$q = \frac{45.93 \text{ kg}}{3.92 \text{ m}}$$

$$q = 11.72 \text{ kg/m}$$

El peso por unidad de longitud de la rueda es de $q = 114.83 \text{ N/m}$.

Constante por el número de rayos de la **Ecuación (62)**.

$$C = \frac{12r^2}{t_R^2}(0.00608) + 0.643 + \frac{A_{llanta}}{A_1}$$

$$C = \frac{12(0.625 \text{ m})^2}{(0.25 \text{ m})^2}(0.00608) + 0.643 + \frac{(0.25 \text{ m} * 0.25 \text{ m})}{(1.35 \times 10^{-4} \text{ m}^2)}$$

$$C = 464.1$$

Fuerza axial en el rayo.

$$F = \frac{2qv_{media}^2}{3gC}$$

$$F_a = \frac{2(114.83\text{N/m})(2.55\text{ m/s})^2}{3(9.81\text{ m/s}^2)(464.1)}$$

$$F_a = 0.043\text{ N}$$

Fuerza axial del rayo producido por el peso de la rueda hidráulica $F_a = 0.043\text{ N}$

Esfuerzos máximos sobre el rayo

De la **Ecuación (65)** se determina los esfuerzos máximos sometidos a los rayos de la rueda hidráulica (ver **Figura 44**).

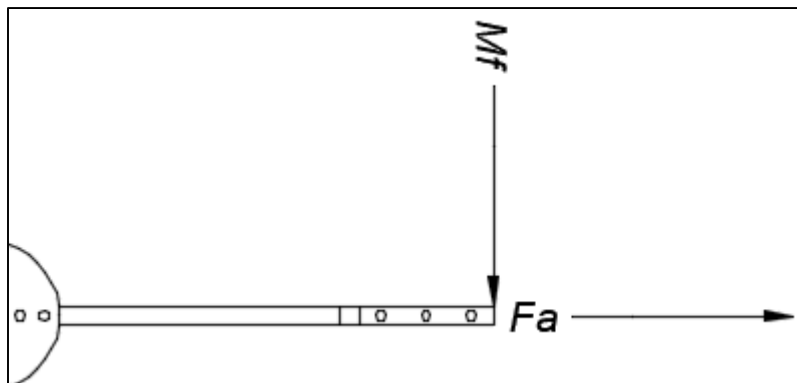


Figura 44. Esfuerzos máximos sobre el rayo.

$$\sigma = \frac{F}{A} + \frac{Mc}{I}$$

$$\sigma_{max} = \frac{0.043\text{ N}}{1.35 \times 10^{-4}\text{ m}^2} + \frac{76.73 \times 10^6\text{ N}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_{max} = 318.52\text{ N/m}^2 + 76.73 \times 10^6\text{ N/m}^2$$

$$\sigma_{max} = 76.730318 \times 10^6\text{ N/m}^2$$

Esfuerzo máximo a la tracción en cada rayo es de $\sigma_{max} = 76.730318 \times 10^6\text{ N/m}^2$.

Esfuerzo cortante máximo a la tracción de la **Ecuación (66)**.

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_{max}}{2}$$

$$\tau_{max} = \frac{76.730318 \times 10^6\text{ N/m}^2}{2}$$

$$\tau_{max} = 38.36 \times 10^6\text{ N/m}^2$$

El esfuerzo cortante máximo a la tracción es de $\tau_{max} = 38.36 \times 10^6\text{ N/m}^2$ en cada rayo.

$$\sigma_{max} = \frac{0.043\text{ N}}{1.35 \times 10^{-4}\text{ m}^2} - \frac{76.73 \times 10^6\text{ N}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_{max} = 318.52\text{ N/m}^2 - 76.73 \times 10^6\text{ N/m}^2$$

$$\sigma_{max} = -76.729 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

El esfuerzo máximo a la compresión en cada rayo es $\sigma_{max} = 76.729 \times 10^6 \text{ N/m}^2$.

$$\tau_{max} = \frac{-76.729 \times 10^6 \text{ N/m}^2}{2}$$

$$\tau_{max} = -38.36 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

El esfuerzo cortante máximo a la compresión es de $\tau_{max} = 38.36 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ en cada rayo.

Esfuerzo máximo entre rayos.

Para 4 rayo se tiene:

$$2\theta_1 = 90^\circ$$

$\phi = 45^\circ$ es el ángulo medio entre rayos.

El esfuerzo máximo de tensión para el ángulo entre rayos está dado por la **Ecuación (64)**.

$$\sigma = \frac{qv^2}{bt_Rg} \left[1 - \frac{\cos \phi}{3C \text{sen } \theta_1} \pm \frac{2r}{Ct_R} \left(\frac{1}{\theta_1} - \frac{\cos \phi}{\text{sen } \theta_1} \right) \right]$$

$$\sigma = \frac{(114.83 \text{ N/m})(2.55 \text{ m/s})^2}{(0.25 \text{ m})(0.25 \text{ m})(9.81 \text{ m/s}^2)} \left[1 - \frac{\cos(45)}{3(464.1) \text{sen}(45)} + \frac{2(0.625 \text{ m})}{(464.1)(0.25 \text{ m})} \left(\frac{1}{\pi/4} - \frac{\cos(45)}{\text{sen}(45)} \right) \right]$$

$$\sigma_{tension} = 1225.89 \text{ N/m}^2$$

El esfuerzo máximo de tracción en el rayo ocurre en un ángulo de $\phi = 45^\circ$ de $\sigma_{tension} = 1225.89 \text{ N/m}^2$

5.4.3.4.2 Diámetro de eje.

Para el dimensionamiento del eje se propone un tubo para transportar vapor cédula 80 con las siguientes especificaciones según DIPAC.

Material de tubería para transportar vapor cédula 80:

$$\sigma_y = 24.6 \text{ kg/mm}^2$$

Factor de seguridad para el eje, F_1 y F_2 se selecciona de la **Tabla 6** y **Tabla 7** respectivamente.

Factor de seguridad $F_1 = 1.6$

- La calidad del material es muy buena “A”.
- Existe un buen control sobre la carga “B”.
- Análisis de esfuerzos regular “C”

La **Figura 45** muestra el factor de seguridad F_1 seleccionado para el eje.

Características		B				
		mb	b	r	p	
A=mb	C=	mb	1.1	1.3	1.5	1.7
		b	1.2	1.45	1.7	1.95
		r	1.3	1.6	1.9	2.2
		p	1.4	1.75	2.1	2.45
A=b	C=	mb	1.3	1.55	1.8	2.05
		b	1.45	1.75	2.05	2.35
		r	1.6	1.95	2.3	2.65
		p	1.75	2.15	2.55	2.95

Figura 45. Factor de seguridad F_1 “eje”.

Factor de seguridad $F_2 = 1.2$

- Daño para el personal nada serio “D”
- Impacto económico muy serio “E”

La **Figura 46** muestra el factor de seguridad F_2 seleccionado para el eje.

Características		D			
		ns	s	ms	
E=		ns	1	1.2	1.4
		s	1	1.3	1.5
		ms	1.2	1.4	1.6

Figura 46. Factor de seguridad F_2 “eje”.

Factor de seguridad para el eje de la **Ecuación (69)**.

$$F_s = 1.6 * 1.2$$

$$F_s = 1.92$$

Esfuerzo de diseño

$$\sigma_d = \frac{24.6 \text{ kg/mm}^2}{1.92}$$

$$\sigma_d = 12.91 \text{ kg/mm}^2 = 125.56 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

La **Figura 47** muestra la distancia entre elementos que componen el mecanismo de transición en el eje con una longitud total de 850 mm.

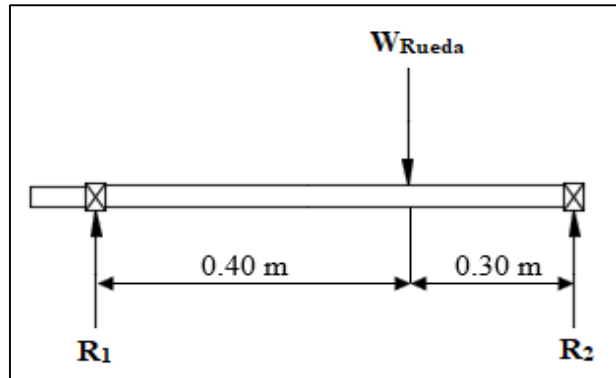


Figura 47. Distancia entre elementos en el eje.

Reacciones en el rodamiento.

$$R_1 + R_2 = 450.11 \text{ N}$$

$$\sum M_{R1} = 0$$

$$-(0.4 \text{ m})(450.11 \text{ N}) + (0.7 \text{ m})(R_2) = 0$$

$$R_2 = \frac{(0.4 \text{ m})(450 \text{ N})}{0.7 \text{ m}}$$

$$R_2 = 257.21 \text{ N}$$

$$R_1 = 192.9 \text{ N}$$

En la **Figura 48** se muestra el diagrama de fuerzas cortantes.

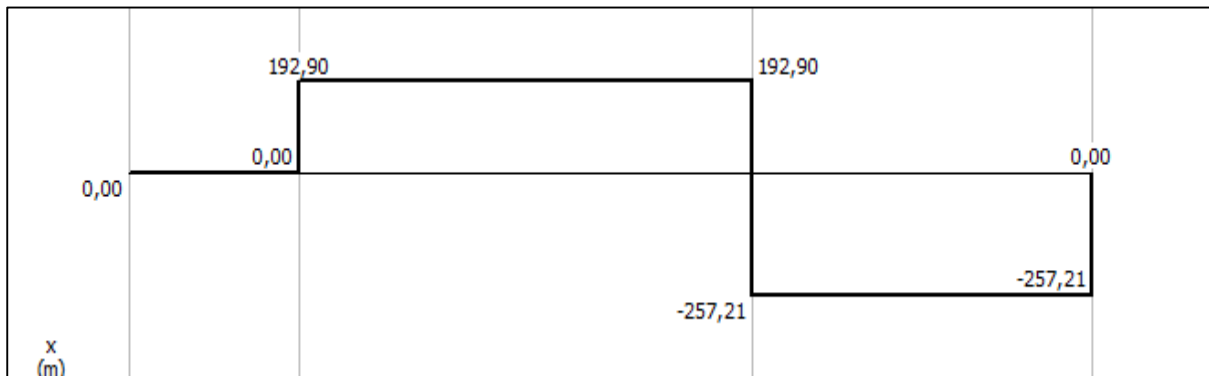


Figura 48. Diagrama de fuerzas cortante.

Fuente: (MDSolids).

En la **Figura 49** se muestra el diagrama de momento flector.

$$M_{f_{max}} = 192.9 \text{ N}(0.4 \text{ m})$$

$$M_{f_{max}} = 77.18 \text{ N m}$$

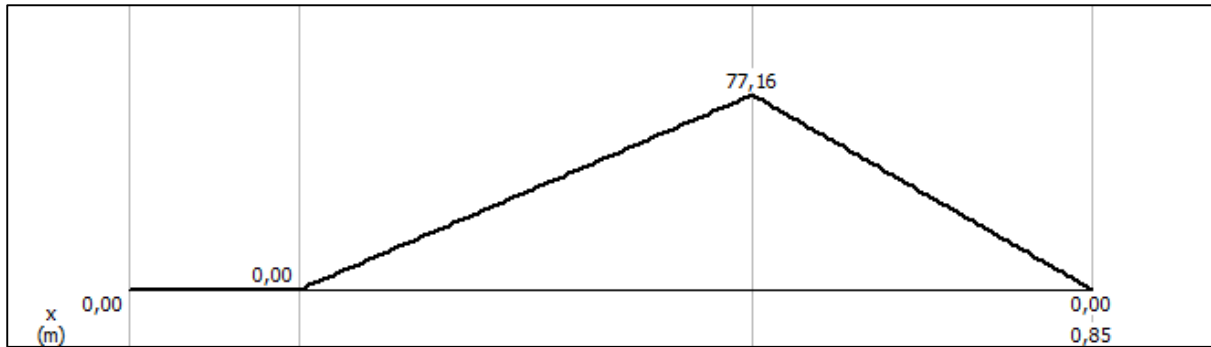


Figura 49. Diagrama de momentos.

Fuente: (MDSolids).

De la **Ecuación (70)** se determina el diámetro del eje y de la **Ecuación (72)** se establece relaciones para determinar diámetros internos y externos del eje:

$$d_o = (1.75 a 2) d_i$$

$$d_o = (1.9) d_i$$

Donde: $K = d_i/d_o$

$$K = \frac{1}{1.9} = 0.53$$

$$d_o^3 = \frac{16}{\pi \sigma_y (1 - K^4)} \sqrt{(M_f)^2 + (M_t)^2}$$

$$d_o = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi (125.56 \times 10^6 \text{ N/m}^2) (1 - 0.53^4)} \sqrt{(77.18 \text{ N m})^2 + (297.09 \text{ N m})^2}}$$

$$d_o = 0.0238 \text{ m} = 23.8 \text{ mm}$$

$$d_i = 0.0125 \text{ m} = 12.5 \text{ mm}$$

$$\text{Área} = 322.16 \text{ mm}^2$$

Según DIPAC el diámetro comercial de la tubería sin costura cédula 80 es:

- $d_o = 33.4 \text{ mm}$
- $d_i = 25 \text{ mm}$
- $\text{Área} = 385.28 \text{ mm}^2$

El área de la sección transversal del eje comercial es mayor al área calculada inicialmente $385.28 \text{ mm}^2 > 322.16 \text{ mm}^2$, por lo tanto, el diseño es coherente.

Esfuerzo máximo en el eje.

Momento polar de inercia de la **Ecuación (71)**.

$$J = \frac{\pi(D_o^4 - D_i^4)}{32}$$

$$J = \frac{\pi[(0.0334 \text{ m})^4 - (0.025 \text{ m})^4]}{32}$$

$$J = 8.38 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

Esfuerzo máximo del eje de la **Ecuación (65)**.

$$\sigma = \frac{Mc}{J}$$

$$\sigma_{max_{eje}} = \frac{(297.09 \text{ Nm})(0.0167 \text{ m})}{8.38 \times 10^{-8} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_{max_{eje}} = 59.21 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

Factor de seguridad real

$$F_s = \frac{241.08 \times 10^6 \text{ N/m}^2}{59.21 \times 10^6 \text{ N/m}^2}$$

$$F_s = 4.07$$

El factor de seguridad real es de $F_s = 4.07$, por lo tanto, el diseño del eje es confiable.

Deformación angular del eje

El módulo de elasticidad de la tubería de vapor según DIPAC es de $E = 184 \text{ GPa}$. Para determinar la deformación por torsión del eje, se calcula el módulo de elasticidad al corte mediante la **Ecuación (74)**. Dónde la relación de Poisson promedio para la gran cantidad de metales es de 0.33.

$$G_c = \frac{E}{2(1 + \mu)}$$

$$G_c = \frac{184 \text{ GPa}}{2(1 + 0.33)}$$

$$G_c = 69.17 \text{ GPa}$$

Se determina la deformación angular por torsión de la **Ecuación (73)**. Donde se propone una longitud del eje de 0.85 m y su torque de accionamiento es de 297.09 Nm.

$$\Delta\theta_\tau = \frac{\tau L}{G_c J}$$

$$\Delta\theta_\tau = \frac{(297.09 \text{ Nm})(0.85 \text{ m})}{(69.17 \times 10^9 \text{ N/m}^2)(8.38 \times 10^{-8} \text{ m}^4)}$$

$$\Delta\theta_\tau = 0.043 \text{ rad} = 2.49^\circ$$

Según Shigley y Pytel, el eje se puede deformar 1° por cada 1 pie de longitud de eje, por lo tanto, para una longitud del eje de 0.85 m se deforma:

$$0.3048 \text{ m} \rightarrow 1^\circ$$

$$0.85 \text{ m} \rightarrow \Delta\theta_L$$

$$\Delta\theta_L = \frac{0.85 \text{ m (1}^\circ)}{0.3048 \text{ m}}$$

$$\Delta\theta_L = 2.78^\circ$$

La deformación angular por torsión es menor a la deformación por longitud $\Delta\theta_\tau < \Delta\theta_L$, por lo tanto, el diseño del eje es confiable.

5.4.3.4.3 Dimensionamiento del cubo (manzana).

Para el dimensionamiento del cubo o manzana que soporta los discos de sujeción de los rayos de la rueda hidráulica se propone lo siguiente: según Faires, plantea que el diámetro exterior del cubo o manzana es $D_o = (1.75 \text{ a } 2)D_i$. De la **Ecuación (72)** se determina el cubo de la rueda hidráulica. En este caso, el diámetro interior del cubo será el diámetro exterior del eje $D_i = d_o$ (ver **Figura 50**).

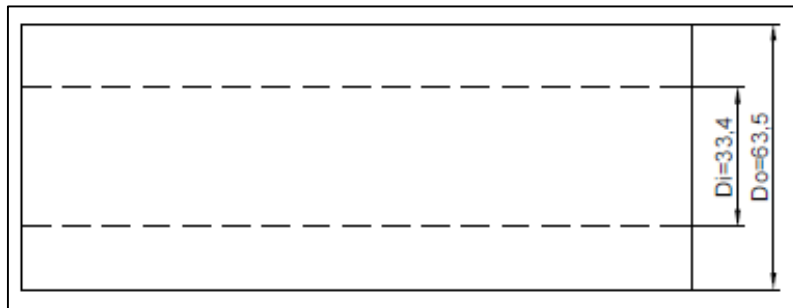


Figura 50. Esquema del cubo.

$$D_o = (1.75 \text{ a } 2) D_i$$

$$D_{o \text{ cubo}} = (1.9) (33.4 \text{ mm})$$

$$D_{o \text{ cubo}} = 63.46 \text{ mm}$$

Las dimensiones del cubo $D_{i \text{ cubo}} = 33.4 \text{ mm}$ y $D_{o \text{ cubo}} = 63.5 \text{ mm}$ y una longitud de $L = 160 \text{ mm}$. Para el cubo de la rueda hidráulica se propone una barra perforada norma 10294-1 según DIPAC, que mediante mecanizado se obtienen los diámetros deseados para el mismo.

5.4.3.4.4 Diámetro del perno sujetador entre el cubo y eje

Con el diámetro del eje y cubo se determina el diámetro del perno sujetador entre ellos, con radio medio del eje $r_{med \text{ eje}} = 0.0167 \text{ m}$ y radio medio de la rueda $r_{med \text{ rueda}} = 0.625 \text{ m}$ de la **Figura 51** se obtiene el análisis de fuerzas.

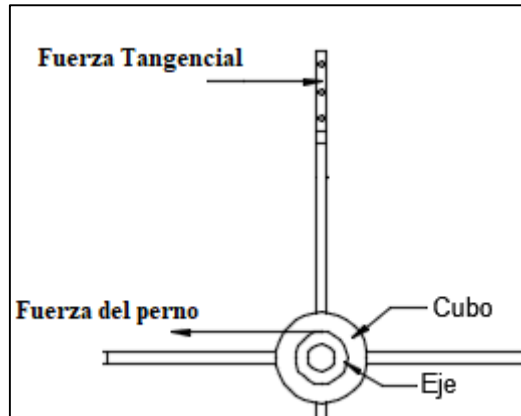


Figura 51. Análisis de fuerzas en el perno cubo-eje.

Fuerza tangencial de la rueda

$$F_T = \frac{1212.12 \text{ W}}{3.06 \text{ m/s}}$$

$$F_T = 396.12 \text{ N}$$

Fuerza tangencial de la rueda hidráulica $F_T = 396.12 \text{ N}$.

$\sum M = 0$, con respecto al centro del eje.

$$F_T(r_{med \text{ rueda}}) - F_{perno}(r_{med \text{ eje}}) = 0$$

$$F_{perno} = \frac{F_T(r_{med \text{ rueda}})}{r_{med \text{ eje}}}$$

$$F_{perno} = \frac{(396.12 \text{ N})(0.625 \text{ m})}{(0.0167 \text{ m})}$$

$$F_{perno} = 14824.8 \text{ N}$$

Factor de seguridad para el perno galvanizado es el mismo del eje $F_s = 1.92$

$$\sigma_d = 122.39 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

De la **Ecuación (65)** se determina la sección transversal del perno.

$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{14824.8 \text{ N}}{(122.39 \times 10^6 \text{ N/m}^2)}$$

$$A = 1.21 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

El diámetro de perno mínimo es de $d_{perno} = 12.41 \text{ mm}$

Perno comercial, código PG062300:

$$d_{perno} = 5/8" = 15.87 \text{ mm}, \text{ Longitud} = 3"$$

$$A_{perno} = 1.97 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Esfuerzo cortante real en el perno

$$\tau = \frac{14824.8 \text{ N}}{1.97 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$
$$\tau = 75.25 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

Diámetro de $d_{\text{perno sujetador}} = 5/8"$ cumple satisfactoriamente con el diseño.

5.4.3.4.5 Diámetro del perno sujetador entre el disco y rayos

Se propone un diámetro del disco de sujeción con los rayos de la rueda de $D_o \text{ disco} = 20 \text{ cm}$ y diámetro interior del disco igual al diámetro exterior del cubo $D_i \text{ disco} = 6.35 \text{ cm}$ y fuerza tangencial $F_T = 396.12 \text{ N}$. Análisis de fuerzas en la **Figura 52** para un perno.

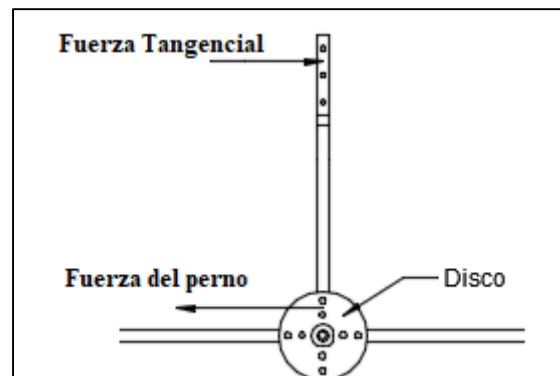


Figura 52. Análisis de fuerzas para un perno.

- Radio medio del disco $r_{\text{med disco}} = 0.065 \text{ m}$
- Radio medio de la rueda $r_{\text{med rueda}} = 0.625 \text{ m}$

$\sum M = 0$, con respecto al centro del eje.

$$F_T(r_{\text{med rueda}}) - F_{\text{perno}}(r_{\text{med disco}}) = 0$$

$$F_{\text{perno}} = \frac{F_T(r_{\text{med rueda}})}{r_{\text{med disco}}}$$

$$F_{\text{perno}} = \frac{(396.12 \text{ N})(0.625 \text{ m})}{(0.065 \text{ m})}$$

$$F_{\text{perno}} = 3808.84 \text{ N}$$

Se propone un perno de hierro galvanizado con una resistencia a la fluencia de:

$$\sigma_y = 235 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

El factor de seguridad para el perno es el mismo de los rayos $F_s = 1.44$.

$$\sigma_d = 163 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

De la **Ecuación (65)** se calcula la sección transversal del perno.

$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{3808.84 \text{ N}}{(163 \times 10^6 \text{ N/m}^2)}$$

$$A = 2.34 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

El diámetro mínimo de perno es de $d_{perno} = 5.45 \text{ mm}$

Perno comercial, código PG031200:

$$d_{perno} = 5/16" = 7.94 \text{ mm, Longitud} = 2"$$

$$A_{perno} = 4.948 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Esfuerzo cortante real del perno

$$\tau = \frac{3808.81 \text{ N}}{4.948 \times 10^{-5} \text{ m}^2}$$

$$\tau = 76.97 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

El perno $d_{perno} = 5/16"$ cumple con el diseño.

Número de pernos

$$N_{pernos} = \frac{A_{eje}}{A_{perno}}$$

$$N_{pernos} = \frac{3.85 \times 10^{-4} \text{ m}^2}{4.948 \times 10^{-5} \text{ m}^2}$$

$$N_{pernos} = 7.78 \approx 8$$

El número de pernos para soportar la estructura es de 8 pernos.

5.4.3.4.6 *Espesor el disco*

Se propuso un diámetro del disco de 20 cm, la **Figura 53** ilustra el corte producido por el perno en el disco.

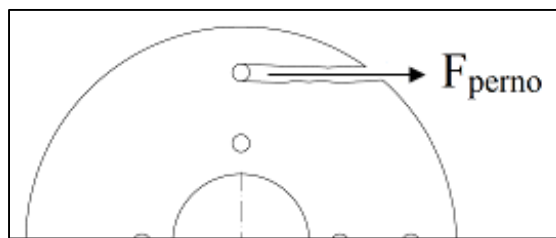


Figura 53. Corte del perno en el disco.

Área de la sección transversal de corte del disco (ver **Figura 54**).

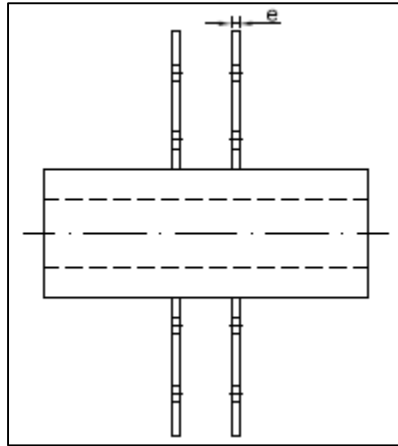


Figura 54. Espesor del disco.

$$A_{corte,disco} = d_{perno} * e_{disco}$$

Espesor del disco de la **Ecuación (65)**.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$e = \frac{3808.84 \text{ N}}{(163 \times 10^6 \text{ N/m}^2)(7.94 \times 10^{-3} \text{ m})}$$

$$e_{disco} = 2.94 \text{ mm}$$

Se establece un espesor del disco de 3 mm comercial según DIPAC.

5.4.3.4.7 Selección de rodamientos.

Según el catálogo de rodamientos SKF, recomienda una duración de 40000 a 50000 horas para sistemas de bombeo. Para efectos de cálculo se toma un valor medio de 45000 horas. Para determinar el rodamiento se utiliza la metodología del catálogo de rodamientos FAG (FAG, 2000).

La vida nominal del rodamiento es de $L_h = 45000$ horas, según el catálogo FAG, la vida nominal en revoluciones del rodamiento se determina de la siguiente ecuación.

$$L_h = \frac{L_{10}}{n * 60}$$

$$L_{10} = (45000 \text{ horas})(39 \text{ rpm})(60)$$

La vida nominal en revoluciones es de $L_{10} = 105 \times 10^6$ revoluciones.

La capacidad de carga dinámica (C), se puede determinar por la siguiente expresión:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3 \times 10^6 \text{ revoluciones}$$

$$C^3 = (450.11 \text{ N})^3(105)$$

La capacidad de carga dinámica del rodamiento es de $C = 2123 \text{ N}$.

Según el catálogo de rodamientos SKF para un diámetro de eje 30 mm, el valor de la carga dinámica mínima es de $C = 3.58 \text{ kN}$, denominación W61806-2RS1 (SKF, 2019).

Factor de velocidad

$$f_n = \sqrt[3]{\frac{33.33}{n}}$$

$$f_n = \sqrt[3]{\frac{33.33}{39}}$$

$$f_n = 0.95$$

Factor de esfuerzo dinámico

$$f_L = \frac{C}{P} f_n$$

$$f_L = \frac{3580 \text{ N}}{450.11 \text{ N}} (0.95)$$

$$f_L = 8.12$$

Según el catálogo FAG recomienda $f_L = (3.5 \text{ a } 4.5)$ en bombas de émbolo. La carga dinámica para el eje de 30 mm es de 3.58 kN, valor más bajo (Catálogo SKF). Para un f_L recomendado se requiere bajar el diámetro del eje, pero no es factible para un eje hueco.

5.4.3.4.8 Selección del acople

El fabricante proporciona un diámetro del eje de la bomba ZM 76 de 39.05 mm y una potencia real de 515 W de la curva característica de la bomba (ver **Figura 31**). Para el dimensionamiento de acople se toma un factor de servicio de 2.5 según Acoplamiento SKF (Anexo 5), ya que se considera a las bombas de pistón como una carga pesada y que trabaja por más de 16 horas por día.

$$Potencia_{Diseño} = 515 \text{ W}(2.5)$$

$$Potencia_{Diseño} = 1287.5 \text{ W} = 1.28 \text{ kW}$$

El eje de la bomba gira a 39 rpm con un diámetro de 39.05 mm, el eje que soporta la rueda hidráulica tiene un diámetro exterior de 33.4 mm y la potencia de diseño del acople de 1.28 kW, según el (Anexo 5), el acople correspondiente es el modelo 70, con un torque nominal y torque máximo de $\tau = 250 \text{ Nm}$ y $\tau = 487 \text{ Nm}$ respectivamente.

6 Resultados

6.1 Requerimientos iniciales de riego.

6.1.1 Topografía del área de riego.

Resultados de la ubicación y área de riego del sector Sharve en la **Tabla 20**.

Tabla 20

Resumen de la topografía de riego

Datos	Descripción	Unidades/Coordenadas
Ubicación geográfica	Latitud: -3°51'57.63"	UTM
	Longitud: -79°27'20.60"	UTM
Área de riego	1.02	Hectáreas
Altura promedio	1825	msnm

6.1.2 Estructura del suelo.

El estudio del laboratorio particular y el análisis del laboratorio de suelos de la U.N.L, se obtienen los siguientes resultados de suelo en la **Tabla 21** y sus características en la **Tabla 22**.

Tabla 21

Resumen de la estructura del suelo

Análisis de suelo		
Laboratorio Particular	Laboratorio U.N.L.	
	Suelo	Porcentaje (%)
Suelo Limo-Arenoso	Arena	40
	Arcilla	23
	Limo	37

Tabla 22

Resumen de las características del suelo franco-limo-arenoso

Características	Valores
Punto de marchitez	15.3 %
Capacidad de campo	29.2 %
Densidad aparente	1.43 g/cm ³
Velocidad de infiltración	12.12 mm/hora

Fuente: (Soil Water Characteristics).

6.1.3 Cultivo.

El cultivo es perenne y estable del sector Sharve (ver **Figura 55**), comúnmente llamado “Yaragua” con una profundidad radicular de 0.5m a 1.5m según la FAO.



Figura 55. Pasto nativo del sector.

6.1.4 Evapotranspiración.

Resultados de la evapotranspiración mensual en la **Tabla 23** y simulación de evapotranspiración mensual mediante el software CROPWAT de la FAO en la **Figura 56**.

Tabla 23

Resumen evapotranspiración mensual

Mes	Evapotranspiración ETo
	mm/día
Enero	2.84
Febrero	2.81
Marzo	3.01
Abril	2.71
Mayo	2.58
Junio	2.53
Julio	2.31
Agosto	3.1
Septiembre	2.84
Octubre	3.08
Noviembre	2.86
Diciembre	2.82

Promedio 2.80

País		Ecuador	Estación		INAMHI-EL CISNE		
Altitud	1825 m.	Latitud	3.51 °S	Longitud	79.45 °W		
Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo
	°C	°C	%	km/día	horas	MJ/m ² /día	mm/día
Enero	11.8	21.8	77	35	4.3	16.0	2.94
Febrero	12.3	22.0	80	35	3.7	15.4	2.88
Marzo	11.8	22.5	78	43	4.6	16.7	3.10
Abril	12.3	22.4	79	35	4.0	15.1	2.81
Mayo	11.8	21.1	76	61	4.1	14.2	2.62
Junio	12.2	21.5	77	69	4.5	14.1	2.60
Julio	12.1	19.2	77	69	3.3	12.7	2.35
Agosto	12.6	20.6	69	104	5.8	17.2	3.18
Septiembre	12.7	20.5	74	69	4.1	15.6	2.92
Octubre	10.7	22.9	73	26	5.5	18.1	3.24
Noviembre	11.2	23.1	76	26	4.5	16.3	3.00
Diciembre	12.8	21.6	79	26	4.4	16.0	2.92
Promedio	12.0	21.6	76	50	4.4	15.6	2.88

Figura 56. Evapotranspiración en el software CROPWAT.

Fuente: CROPWAT.

6.1.5 Requerimiento de agua.

Resultados del requerimiento inicial y real de riego en la **Tabla 24** y **Tabla 25**

Tabla 24

Requerimiento inicial del cultivo

Descripción	Valor
Agua Disponible Total	139 mm
ETo Promedio	2.80 mm/día
Fracción de Agotamiento (5mm/día)	0.6
Fracción de Agotamiento corregido (2.80mm/día)	0.68
Lámina neta	93.84 mm
Lámina total de riego	125.12 mm
Tiempo de riego	10.32 horas
Frecuencia de riego	30 días

Tabla 25*Requerimiento real del cultivo*

Descripción	Valor
Agua Disponible Total	139 mm
ETo Promedio	2.80 (mm/día)
Frecuencia de riego real	3 días
Lámina neta real	9.3 mm
Fracción de Agotamiento real (2.80 mm/día)	0.06
Lámina total real	12.4 mm
Tiempo de riego real	1.023 horas

En la **Figura 57** muestra los resultados de simulación del programa de riego en el software CROPWAT de la FAO. Donde se observa que el riego se ejecuta cada 3 días, alcanzando una lámina bruta de 12.5 mm, siendo este el riego más alto que se debe reponer en todo el ciclo del cultivo.

ETo estación	INAMHI-EL CISNE	Cultivo	Forraje-Pasto	Siembra	01/10	Red. R					
Est. de lluvia	INHAMI-EL CISNE	Suelo	FRANCO-LIMO-ARENO	Cosecha	06/11	0.0 %					
Formato de Tabla		Momento: Regar a intervalo fijo por etapa Aplicación: Reponer a capacidad de campo Ef. campo 75 %									
<input checked="" type="radio"/> Program. de riego <input type="radio"/> Bal. diario de agua de suelo											
Fecha	Día	Etap	Precipit.	Ks	ETa	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Pérdida	Lam.Br.	Caudal
			mm	fracc.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
3 Oct	3	Ini	12.7	1.00	100	2	3.1	0.0	0.0	4.1	0.16
6 Oct	6	Des	0.0	1.00	100	7	9.3	0.0	0.0	12.4	0.48
9 Oct	9	Des	0.0	1.00	100	7	9.3	0.0	0.0	12.4	0.48
12 Oct	12	Des	0.0	1.00	100	7	9.4	0.0	0.0	12.5	0.48
15 Oct	15	Des	0.0	1.00	100	7	9.4	0.0	0.0	12.5	0.48
18 Oct	18	Des	0.0	1.00	100	4	6.2	0.0	0.0	8.3	0.32
21 Oct	21	Med	0.0	1.00	100	7	9.3	0.0	0.0	12.4	0.48
24 Oct	24	Med	0.0	1.00	100	4	6.0	0.0	0.0	8.0	0.31
27 Oct	27	Med	16.3	1.00	100	2	3.0	0.0	0.0	4.0	0.16
30 Oct	30	Med	0.0	1.00	100	6	9.1	0.0	0.0	12.1	0.47
2 Nov	33	Fin	0.0	1.00	100	6	8.3	0.0	0.0	11.1	0.43
5 Nov	36	Fin	0.0	1.00	100	6	7.9	0.0	0.0	10.6	0.41
6 Nov	Fin	Fin	0.0	1.00	0	0					

Figura 57. Programa de Riego Software CROPWAT.

Fuente: (CROPWAT).

Balance diario real del ciclo vegetativo del cultivo en la **Tabla 26**.

Tabla 26

Balance diario del cultivo

Fecha	Día	Etapa	Precipit.	ETo	Agot.	Lám.Neta	Déficit	Lám.Br	Caudal
			mm	mm/día	%	mm	mm	mm	l/s/ha
1-oct	1	Ini	0.0	3.1	2	0.0	3.1	0.0	0.0
2-oct	2	Ini	0.0	3.1	4	0.0	6.2	0.0	0.0
3-oct	3	Ini	12.7	3.1	2	3.1	0.0	4.1	0.48
4-oct	4	Des	0.0	3.1	2	0.0	3.1	0.0	0.0
5-oct	5	Des	0.0	3.1	4	0.0	6.2	0.0	0.0
6-oct	6	Des	0.0	3.1	7	9.3	0.0	12.4	1.44
7-oct	7	Des	12.7	3.1	2	0.0	3.1	0.0	0.0
8-oct	8	Des	0.0	3.1	4	0.0	6.2	0.0	0.0
9-oct	9	Des	0.0	3.1	7	9.3	0.0	12.4	1.44
10-oct	10	Des	0.0	3.1	2	0.0	3.1	0.0	0.0
11-oct	11	Des	0.0	3.1	4	0.0	6.2	0.0	0.0
12-oct	12	Des	0.0	3.1	7	9.4	0.0	12.5	1.44
13-oct	13	Des	11.5	3.1	2	0.0	3.1	0.0	0.0
14-oct	14	Des	0.0	3.1	4	0.0	6.2	0.0	0.0
15-oct	15	Des	0.0	3.1	7	9.4	0.0	12.5	1.45
16-oct	16	Des	0.0	3.1	2	0.0	3.1	0.0	0.0
17-oct	17	Des	11.5	3.1	2	0.0	3.1	0.0	0.0
18-oct	18	Des	0.0	3.1	4	6.2	0.0	8.3	0.96
19-oct	19	Des	0.0	3.1	2	0.0	3.1	0.0	0.0
20-oct	20	Des	0.0	3.1	4	0.0	6.2	0.0	0.0
21-oct	21	Des	0.0	3.0	7	9.3	0.0	12.4	1.43
22-oct	22	Des	0.0	3.0	2	0.0	3.0	0.0	0.0
23-oct	23	Des	16.3	3.0	2	0.0	3.0	0.0	0.0
24-oct	24	Des	0.0	3.0	4	6.0	0.0	8.0	0.93
25-oct	25	Des	0.0	3.0	2	0.0	3.0	0.0	0.0
26-oct	26	Des	0.0	3.0	4	0.0	6.0	0.0	0.0
27-oct	27	Des	16.3	3.0	2	3.0	0.0	4.0	0.47
28-oct	28	Des	0.0	3.0	2	0.0	3.0	0.0	0.0
29-oct	29	Des	0.0	3.0	4	0.0	6.0	0.0	0.0
30-oct	30	Des	0.0	3.0	6	9.1	0.0	12.1	1.40
31-oct	31	Fin	0.0	3.0	2	0.0	3.0	0.0	0.0
1-nov	32	Fin	0.0	2.6	4	0.0	5.7	0.0	0.0
2-nov	33	Fin	0.0	2.6	6	8.3	0.0	11.1	1.28
3-nov	34	Fin	22.9	2.6	2	0.0	2.6	0.0	0.0
4-nov	35	Fin	0.0	2.6	4	0.0	5.3	0.0	0.0
5-nov	36	Fin	0.0	2.6	6	7.9	0.0	10.6	1.23

Fuente: (CROPWAT).

6.1.6 Diseño hidráulico.

Parámetros de funcionamiento del aspersor de la **Tabla 12**.

Tabla 12

Parámetros de funcionamiento del aspersor

Aspersor	"4123-1-3/4" M Círculo Parcial
Caudal (gpm)	5.52
Diámetro alcance (m)	28.38
Presión (Psi)	30

Fuente: (PLASTIGAMA).

Distribución de los aspersores y tuberías para un área de 1.02 hectáreas (ver **Figura 58**).

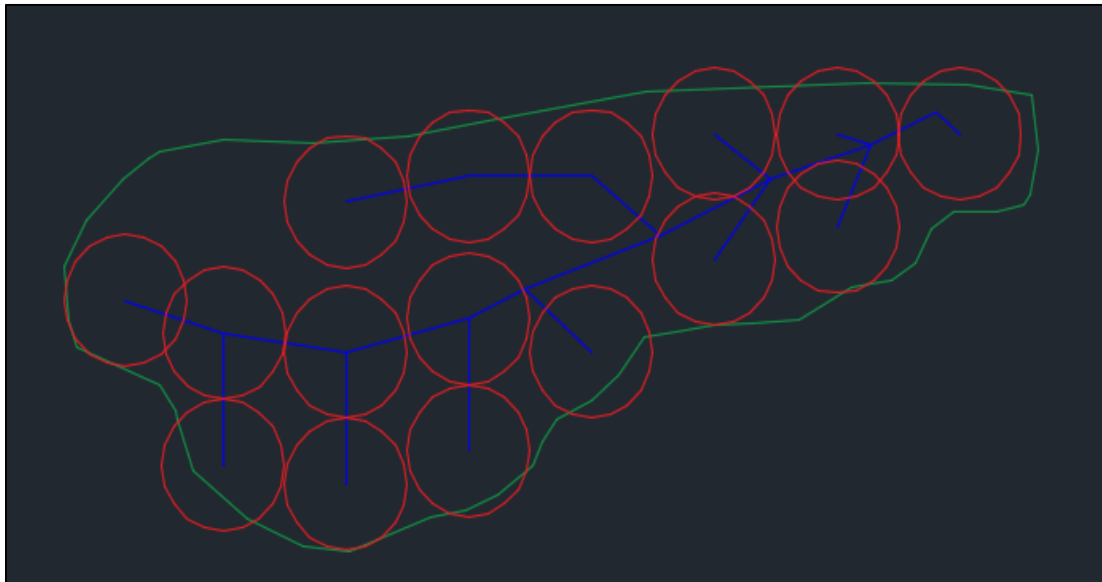


Figura 58. Distribución de riego.

Fuente: (AutoCAD).

Distribución de la red hidráulica (nodos, aspersores, tuberías y Tanque_Distribución) en EPANET (ver **Figura 59**), de la **Tabla 13** se establece como punto crítico de riego a la sección 1 que comprende los nodos n18, n19, n20, n21 y n22, donde se obtienen los siguientes resultados hidráulicos en la **Tabla 27**.

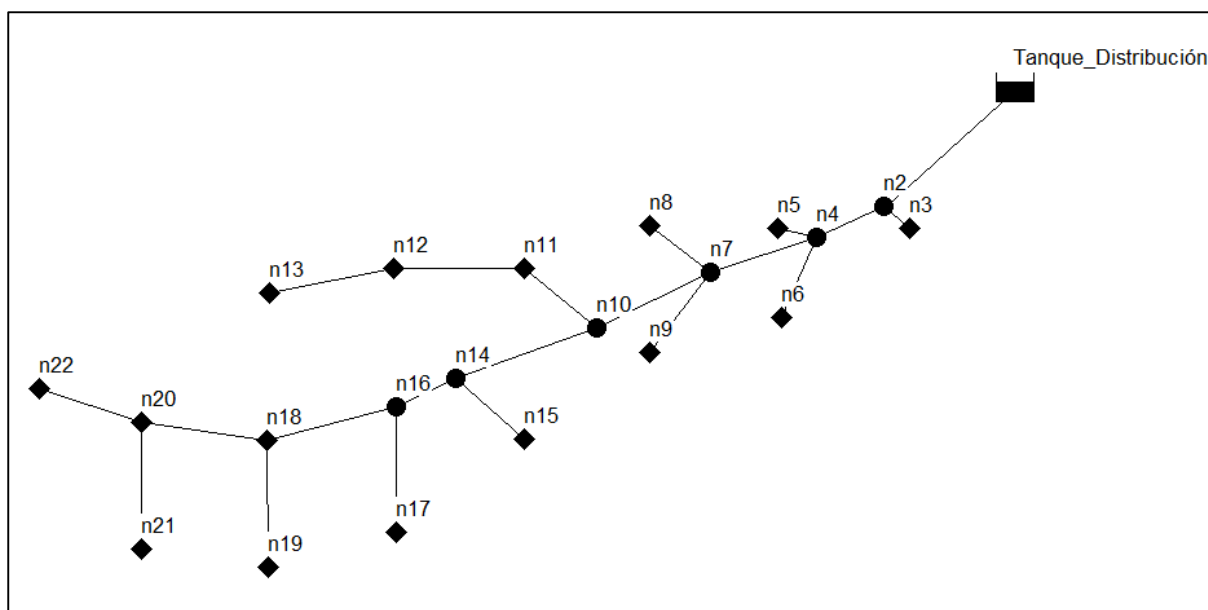


Figura 59. Plano de la red hidráulica.

Fuente: (EPANET).

Tabla 27

Resumen de la ruta crítica de riego

Variable	Descripción	Resultado	Unidades
Tramo n20-n21			
Q_D	Caudal de demanda por la línea	3.48×10^{-4}	m^3/s
D	Diámetro	0.025	m
L	Longitud de tubería	28	m
v	Velocidad del fluido en la línea	0.709	m/s
N_R	Número de Reynolds	1.54×10^4	Adimensional
f	Factor de Fricción	0.027	Adimensional
h_p	Pérdidas Primarias	0.78	m
f_T	Factor de Fricción en el Accesorio	0.011	Adimensional
h_s	Pérdidas Secundarias	0.15	Adimensional
h_L	Pérdidas Totales	0.93	m
Tramo n18-n20			
Q_D	Caudal de demanda por la línea	1.044×10^{-3}	m^3/s
D	Diámetro	0.038	m
L	Longitud de tubería	28.12	m
v	Velocidad del fluido en la línea	0.921	m/s

Variable	Descripción	Resultado	Unidades
N_R	Número de Reynolds	3.04×10^4	Adimensional
f	Factor de Fricción	0.023	Adimensional
h_p	Pérdidas Primarias	0.74	m
f_T	Factor de Fricción en el Accesorio	0.01	Adimensional
h_s	Pérdidas Secundarias	0.2	Adimensional
h_L	Pérdidas Totales	0.94	m
Tramo Tanque_Distribución-n18			
Q_D	Caudal de demanda por la línea	1.74×10^{-3}	m^3/s
D	Diámetro	0.05	m
L	Longitud de tubería	214.61	m
v	Velocidad del fluido en la línea	0.886	m/s
N_R	Número de Reynolds	3.85×10^4	Adimensional
f	Factor de Fricción	0.022	Adimensional
h_p	Pérdidas Primarias	3.77	m
f_T	Factor de Fricción en el Accesorio	0.001	Adimensional
h_s	Pérdidas Secundarias	0.7	Adimensional
h_L	Pérdidas Totales	4.47	m
Pérdidas totales Tramo Tanque_Dist-n21			
h_L	Pérdidas Totales	6.34	m

6.1.7 *Altura del tanque.*

Resultados de la altura de la ubicación del tanque en la **Tabla 28**.

Tabla 28

Resumen de la altura del tanque

Variable	Descripción	Resultado	Unidades
n21	Altura de la ubicación del aspersor	1824	msnm
Tanque_Dist.	Altura de ubicación del tanque	1852	msnm
$V_{total\ agua}$	Volumen total de agua de riego	45.83	m^3
V_{Tanque}	Volumen del tanque	50	m^3

Tiempo de riego real por aspersor.

Cada aspersor cubre un área de 616 m², por lo tanto, el volumen de cada aspersor es de 7638.4 L. El caudal del aspersor de trabajo es de 0.348 L/s, por consiguiente, el tiempo de riego real es de 6.09 horas.

6.2 Potencialidad del Afluyente

De la **Tabla 17** se muestran los resultados de la potencialidad del afluyente en determinadas fechas.

Tabla 17

Potencialidad del afluyente para determinadas fechas

Fecha		Potencialidad del Afluyente (m ³ /s)			
		Manning		Flotador	
		Trape/Rectan	Parabólica	Trape/Rectan	Parabólico
Muestra 1	Caudal	0.479	0.356	0.230	0.183
9/6/2020	Reynolds	217000	179000	104000	92000
Muestra 2	Caudal	0.291	0.22	0.147	0.122
4/7/2020	Reynolds	317000	117000	72700	66000
Muestra 3	Caudal	0.243	0.189	0.127	0.106
18/7/2020	Reynolds	117000	99500	64100	58300
Muestra 4	Caudal	0.205	0.150	0.109	0.087
25/7/2020	Reynolds	98800	79200	55700	48700
Muestra 5	Caudal	0.176	0.127	0.097	0.077
1/8/2020	Reynolds	84700	67700	49900	43600
Muestra 6	Caudal	0.106	0.072	0.052	0.039
7/9/2020	Reynolds	57000	40800	28900	23700
Muestra 7	Caudal	0.099	0.061	0.046	0.034
18/9/2020	Reynolds	55000	34900	26500	20300
Muestra 8	Caudal	0.096	0.061	0.045	0.033
3/10/2020	Reynolds	53800	34900	26100	20200

6.3 Resultado de simulación de riego

Del software EPANET se obtienen los resultados de simulación de nodos, tuberías y emisores de riego para la sección crítica **Figura 60**, **Figura 61**, **Figura 62** respectivamente.

ID Nudo	Cota m	Demanda Base LPS	Demanda LPS	Altura m	Presión m
Conexión n17	1826	0.348	0.00	1825.41	-0.59
Conexión n18	1825	0.348	0.40	1845.08	20.08
Conexión n19	1825	0.348	0.39	1843.77	18.77
Conexión n20	1824	0.348	0.39	1843.56	19.56
Conexión n21	1824	0.348	0.38	1842.28	18.28
Conexión n22	1824	0.348	0.38	1842.42	18.42

Figura 60. Demanda de riego en los nodos EPANET.

Fuente: (EPANET).

ID Línea	Longitud m	Diámetro mm	Rugosidad mm	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérd. Unit. m/km	Factor de Fricción
Tubería p17	28	25	0.0015	0.39	0.79	46.61	0.037
Tubería p18	28	25	0.0015	0.38	0.78	45.66	0.037
Tubería p19	28.88	50	0.0015	1.94	0.99	62.58	0.063
Tubería p20	28.12	38	0.0015	1.16	1.02	53.99	0.039
Tubería p21	23.51	25	0.0015	0.38	0.78	48.47	0.039

Figura 61. Demandas en las tuberías EPANET.

Fuente: (EPANET).

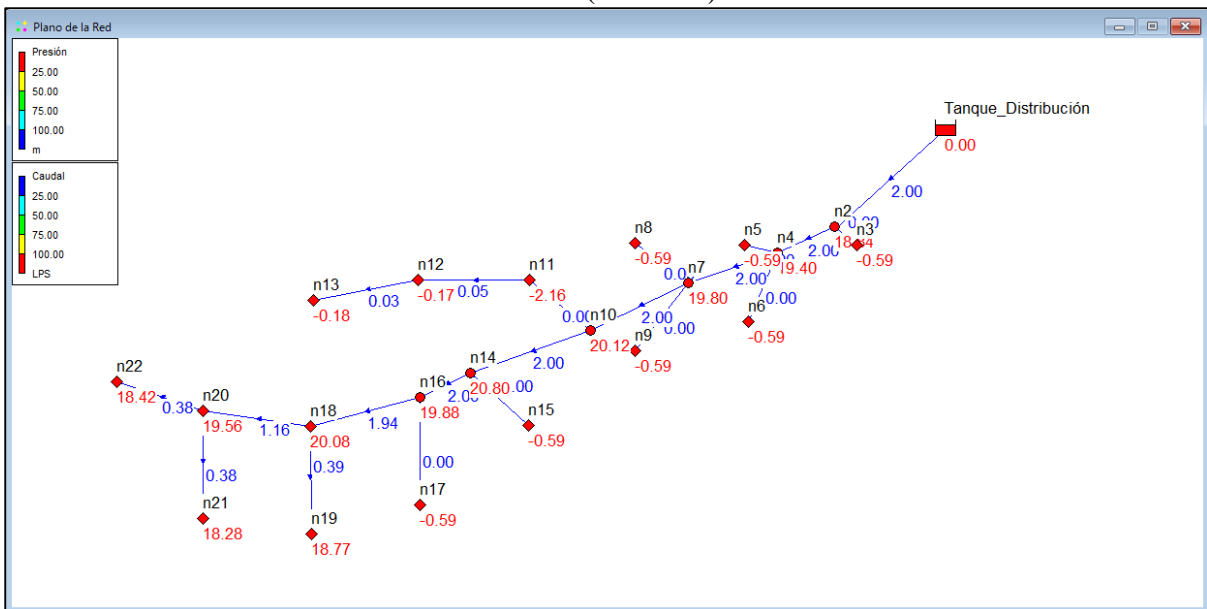


Figura 62. Simulación de riego EPANET.

Fuente: (EPANET).

6.4 Desarrollo del mecanismo.

6.4.1 Selección de la bomba

En cada riego se acciona un máximo de 6 aspersores, por lo que el volumen del tanque es de 45.8 m^3 , la bomba que satisface este volumen es una bomba ZM MAXXI 76 (ver **Figura 63**). Con un caudal de 47200 Litros/día.



Figura 63. Bomba ZM MAXXI 76.

Fuente: (Bombas ZM).

Resultados de las características y potencia de la Bomba ZM MAXXI 76 en la **Tabla 29**.

Tabla 29

Resumen de la potencia de la bomba

Variable	Descripción	Resultado	Unidades
n	Velocidad de giro en el eje	39	rpm
Embalse	Embalse de succión de la bomba	1825	msnm
Tanque_Dist.	Altura de ubicación del tanque	1852	msnm
Ubicación	Altura de la bomba	1827	msnm
Q_{bomba}	Caudal de la bomba ZM 76	5.46×10^{-4}	m^3/s
D	Diámetro tubería de succión e impulso	0.025	m
L	Longitud de tubería de descarga	138	m
v	Velocidad de flujo impulso y succión	1.11	m/s
N_R	Número de Reynolds	2.42×10^4	Adimensional
f	Factor de Fricción	0.024	Adimensional
h_p	Pérdidas Primarias	8.63	m

Variable	Descripción	Resultado	Unidades
f_T	Factor de Fricción en el Accesorio	0.01	Adimensional
h_s	Pérdidas Secundarias	0.32	m
h_L	Pérdidas Totales	8.95	m
h_A	Carga Agregada	35.95	m
P_u	Potencia útil	192.5	W
P_{real}	Potencia Real	515	W
η	Rendimiento	0.3738	Adimensional

6.4.2 Rueda hidráulica

Resumen de resultados de la rueda hidráulica en la **Tabla 30**.

Tabla 30

Resumen detallado de los cálculos de la rueda hidráulica

Variable	Descripción	Resultado	Unidades
Q_R	Caudal de ingreso a la rueda	0.03729	m ³ /s
$V_{diaria\ agua}$	Volumen diario de agua para la rueda	3276.28	m ³
L_{Ta}	Longitud de la tubería de alimentación	6	m
v_{ir}	Velocidad de ingreso del agua a la rueda	4.6	m/s
$D_{ExtRueda}$	Diámetro exterior de la rueda	1.5	m
$D_{IntRueda}$	Diámetro interior de la rueda	1	m
ρ	Densidad de la madera	610	Kg/m ³
n	Velocidad de giro de la rueda	39	rpm
N	Número de cangilones	25	
e	Espesor de la madera	0.015	m
w	Velocidad angular	4.08	Rad/s
v_l	Velocidad lineal	3.06	m/s
$I_{carrete}$	Momento de inercia del disco o carrete	7.285	Kg m ²
$I_{cangilón}$	Momento de inercia del cangilón	10.15	Kg m ²
τ_{eje}	Torque en el eje de la bomba	140.11	N m
$\tau_{rotacional}$	Torque rotacional, momento de inercia	145.28	N m
$\tau_{total\ funcion.}$	Torque total de funcionamiento	285.70	N m
$\tau_{Accionamiento}$	Torque de accionamiento	297.09	N m

Variable	Descripción	Resultado	Unidades
P_{rueda}	Potencia de la rueda	1212.12	W

Elementos mecánicos de transmisiones de potencia en la **Tabla 31**.

Tabla 31

Resumen del conjunto de transmisión de potencia de la rueda

Variable	Descripción	Resultado	Material
Rayo	Tubo cuadrado	$A = 1.35 \times 10^{-4} \text{ m}^2$	Hierro Galv.
		$Ancho = 25 \text{ mm}$ $e = 1.5 \text{ mm}$	
Eje	Eje de la rueda hidráulica	$d_o = 33.4 \text{ mm}$ $d_i = 25 \text{ mm}$	Tubería de vapor céd. 80
	Longitud del eje	$L_{eje} = 850 \text{ mm}$	
Cubo	Cubo o manzana	$D_{o \text{ cubo}} = 63.5 \text{ mm}$	Barra perforada norma 10294-1
		$D_{i \text{ cubo}} = 33.4 \text{ mm}$	
Pernos	Perno de sujeción entre el disco y el rayo	$d_{perno} = 5/16" \times 2"$	Perno Galv. PG031200
	Número de pernos	8 pernos	
Disco	Espesor del disco	$e = 4 \text{ mm}$	Galv.
	Diámetro del disco	200 mm	
Perno sujetador	Diámetro perno	5/8" x 3"	Perno Galv. PG062300
	Área del peno	$1.97 \times 10^{-4} \text{ m}^2$	

Selección de rodamiento del catálogo SKF, rodamiento rígido de bolas de acero inoxidable (W61806-2RS1) en la **Tabla 32**.

Tabla 32

Resumen de datos del rodamiento

Variable	Descripción	Resultado	Unidades
d	Diámetro interior	30	mm
D	Diámetro exterior	42	mm
B	Ancho del rodamiento	7	mm
C	Carga dinámica	3.58	kN

Variable	Descripción	Resultado	Unidades
C_o	Carga estática	2.9	kN
L_{10}	Vida nominal en revoluciones	105×10^5	Revoluciones
L_h	Vida nominal en horas	45000	Horas

Fuente: Catálogo SKF, Rodamientos.

Selección del acople del catálogo Acoplamiento SKF, acople modelo F70 tipo H en la

Tabla 33.

Tabla 33

Resumen de datos del acople

Variable	Descripción	Resultado	Unidades
$\tau_{nominal}$	Torque nominal	250	Nm
$\tau_{máx}$	Torque máximo	487	Nm
$Orificio_{min}$	Orificio mínimo	14	mm
$Orificio_{máx}$	Orificio máximo	42	mm

Fuente: Catálogo SKF, Acoplamientos.

7 Discusión

El presente diseño de riego se ejecuta acorde a la topografía y recursos energéticos existentes, que pueden ser aprovechados como fuente de energía motriz para riego de pastizales en el sector Sharve de la parroquia de El Cisne.

La ejecución de este se basa en un requerimiento inicial de riego para satisfacer la demanda de agua del suelo que se pierde por evaporación del suelo, así como la del cultivo por transpiración, llamado evapotranspiración. Para satisfacer la demanda base del cultivo, se basa en normas internacionales FAO y locales CONGOPE, que son los entes reguladores de la aplicación del riego en el país.

El método aplicado para determinar los factores que implican a un riego, se basan en datos meteorológicos obtenidos del GAD Parroquial El Cisne con fuente en el INAMHI. La lámina total de riego real obtenida satisface los requerimientos del cultivo para su máxima producción. Aplicando las mismas condiciones de cálculo, el procedimiento matemático y su respectiva simulación en el software CROPWAT, proyecta una ligera variación de 0.1 mm de lámina total real de riego; por lo tanto, los dos resultados son válidos y pueden ser utilizados. CROPWAT también permite obtener balances diarios de todo el ciclo vegetativo del cultivo, simulando así, los meses de septiembre, octubre y noviembre como las mayores láminas de riego alcanzando un máximo de 12.5 mm, en comparación con el método matemático arrojando una lámina de 12.4 mm, esto sin tomar en cuenta precipitaciones, suponiendo que el cultivo se encuentra bajo invernadero.

La potencialidad del afluente que es tomado como energía motriz y como suministro de riego en el presente trabajo, se evalúa el afluente mediante 2 secciones transversales: trapecio/rectangular, parabólico y dos metodologías matemáticas de velocidad de Manning y velocidad flotador, que arrojan los datos que se presentan en la **Tabla 17**, donde se puede realizar comparaciones de caudal de los diferentes métodos aplicados en una misma fecha.

El caudal determinado para una misma fecha mediante los métodos antes mencionados, varían acorde al procedimiento y sección transversal utilizados para su determinación. La diferencia entre los 2 métodos aplicados es muy notoria, ya que, las muestras tomadas pertenecen a un canal natural constituido en gran parte con rocas de diferentes tamaños. Tanto el método de Manning y de flotador cuentan con factores de corrección de acuerdo como está constituida la superficie por donde circula el agua, lo que se observa en las **Tabla 4** y **Tabla 5**. Según la teoría de canales abiertos el método recomendado es la de Manning con la aproximación de la sección transversal trapecio/rectangular; por lo tanto, el valor tomado es de

96 l/s Manning trapecio/rectangular, del 3/10/2020 que corresponde con la última toma de muestra realizada.

Para alcanzar una mayor precisión del cálculo de caudal, se puede determinar mediante el método volumétrico o tratar que el canal que conduce el fluido sea adecuado, donde se pueda ser más preciso la toma de muestras y sus coeficientes de corrección.

El dimensionamiento del tanque (Embalse), para la ejecución del sistema de riego es fundamental, ya que un sistema directo desde una bomba de pistón hacia los aspersores no es óptimo, puesto que la bomba arroja un flujo pulsante y esto no permite el funcionamiento correcto del emisor (aspersor). Se propone la red de distribución hidráulica del sistema determinando los diámetros de cada sección de riego con una velocidad inicial propuesta de 1 m/s, una vez determinado el diámetro comercial y recalculado la velocidad del fluido en las tuberías, se establece el diseño hidráulico tal como lo muestra su metodología. El procedimiento matemático y la simulación en EPANET dan como resultado valores aproximados de velocidad, caudal y presión por el método de Darcy Weisbach. Según el catálogo de Plastigama, el aspersor según el fabricante trabaja bajo un rango de $\pm 10\%$ de los parámetros iniciales, mismos que se aproximan en la simulación y cálculos realizados.

Se diseña la rueda hidráulica de madera náutica que gira a una velocidad de 39 rpm según su curva característica para que accione la bomba de pistón seleccionada, donde se propone diámetros interior y exterior de la rueda, número de cangilones y ancho de la rueda. Los resultados obtenidos en la metodología de cálculo son satisfactorios en comparación con diseños y construcciones de ruedas hidráulicas de perfilera metálica de la Facultad de Energía de la U.N.L (Solórzano Castillo, 2014), así como también de las ruedas otorgadas por el fabricante de bombas ZM (Bombas ZM), donde alcanzan velocidades de giro similares al del presente trabajo.

8 Conclusiones

- Mediante la metodología de la FAO y CONGOPE se determinó el requerimiento de riego para el cultivo de pasto Yaragua, obteniéndose una lámina de riego real de 12.4 L/m^2 y una frecuencia de riego de 3 días para un suelo Franco-Limo-Arenoso.
- De la teoría de canales abiertos se evaluó y se determinó la potencialidad del afluente mediante dos metodologías: Manning y flotador para 2 secciones transversales: trapecio/rectangular y parabólico. El valor tomado para el presente trabajo es de 96 L/s Manning trapecio/rectangular que corresponde a la fecha del 3 de octubre del 2020. Por lo tanto, el volumen diario del afluente satisface el accionamiento de la rueda hidráulica y el riego del cultivo.
- El diseño hidráulico presenta un volumen del embalse de 45.83 m^3 que almacena la producción diaria de la bomba ZM 76 MAXXI elegida. Las dimensiones del embalse son de $4 \times 5 \times 2.5 \text{ m}^3$. Presentándose en la simulación tanto hidráulicos como agronómicos resultados aproximados con los cálculos matemáticos, así como también con los valores de los parámetros de operación del aspersor.
- Se dimensionó una rueda hidráulica que satisface los rpm requeridos por la bomba ZM para garantizar su correcto funcionamiento. El principio de diseño de la rueda se basa en un volante de inercia, con sus momentos de inercia de cada uno de los elementos que la constituyen con respecto a su masa.

9 Recomendaciones

- Se recomienda realizar un análisis de las elevaciones sobre el nivel del mar proporcionadas por el software Google Earth, con los datos obtenidos por GPS in situ, puesto que varían uno del otro.
- Se recomienda recopilar y trabajar con datos meteorológicos actuales, y así obtener tanto matemáticamente como la simulación en el software CROPWAT programas y balances de riego diarios reales.
- Se recomienda en el software EPANET utilizar cotas reales sobre el nivel del mar. Así el software realizará la simulación aproximada a las alturas reales acorde al lugar de trabajo, para que las propiedades del fluido se encuentren dentro de ese rango.
- Al realizar la toma de datos de un canal abierto, se recomienda una correcta adecuación del canal, donde se pueda obtener secciones transversales que abarquen por completo la superficie por donde circula el fluido, y así aproximarse a un caudal real.

10 Bibliografía

- Alocén Carrazón, J. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego* (pp. 70–71).
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2015). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (Decima).
- Cardona Alvarez, A. (1985). *la Rueda Hidráulica: Vol. XXXVIII*.
- Catálogo SKF Rodamientos. (2019). *Rodamientos*.
- CONGOPE. (2016). *Hablemos de riego* (Primera Ed).
- DIPAC. (2020). *DIPAC*. 198–201.
- FAG. (2000). *Rodamientos FAG*. 382. www.fag.com
- Faires, V. M. (n.d.). *Diseno de Elementos de Maquinas* (Cuarta Edi).
- GAD Parroquial El Cisne. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordemaniento Territoria, El Cisne*.
- Hamrock, B., Jacobson, B. O., & Schmid, S. R. (2000). *Elementos de Maquinas* (Priemera E).
- Hibbeler, R. C. (2010). *Ingenieria Mecánica - Estática*. In L. Cruz Castillo (Ed.), *Física* (Decimosegu).
- Hidalgo, A. (2017). *Guía Práctica Para Aforar En Canales Y Cauces Naturales, Utilizando Instrumentación Básica Y De Bajo Costo*.
- Holowenco, A. R., Laughlin, H. G., & Hall, A. S. (n.d.). *Diseño de maquinas*. Retrieved May 6, 2021, from <https://vdocuments.mx/disenode-maquinas.html>
- INEC- ESPAC. (2019). *ESPAC*. 35.
- Juan Sebastián De Plaza. (2017). *Ejercicios básicos de mecánica de fluidos e hidráulica aplicados a través del software de distribución gratuita EPANET 2.0*.
- León, R., Bonifaz, N., & Gutiérrez, F. (2018). *Pastos y Forrajes del Ecuador* (Primera ed).
- Mataix, C. (1986). *Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas* (Segunda Ed).
- Mott, R. L. (2006). *Dieño de elementos de máquinas* (Vol. 4).
- Mott, R. L. (2015). *Mecánica de Fluidos*. In *Mecánica De Fluidos* (Septima Ed).
- Pizarro, F. (1996). *Riego Localizados de Alta Frecuencia*.

- Plastigama. (2018). *Línea de Aspersión*.
- Pytel, A., & Singer, F. (2008). *Resistencia de Materiales*.
- Rodríguez Ruiz, P. (2008). Hidráulica II. In *Hidráulica de Canales*.
<https://doi.org/10.1073/pnas.0703993104>
- Solórzano Castillo, J. C. (2014). *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO A TRAVÉS DE UNA RUEDA HIDRÁULICA DE ALIMENTACIÓN SUPERIOR Y BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO, PARA EL CENTRO DE INVESTGACIONES DE ENERGÍAS RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA (CIEREE) DEL AEIRNN*.
- Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E., & Raes, D. (2012). Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. In *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura* (Vol. 66). <https://doi.org/978-92-5-308564-4>
- Traxco. (2009). *Velocidad de infiltración*. 10 Diciembre.
<https://www.traxco.es/blog/tecnologia-del-riego/humedad-en-suelos-de-diferente-textura>
- Villegas, J. A., & Torres, B. E. (2006). *Evapotranspiración* (Vol. 45).
- Villón Beéjar, M. (2007). *HIDRÁULICA DE CANALES* (Segunda Ed).
- Zm, B. (n.d.). *Curvas Características*. www.zmbombas.com

11 Anexos

Anexo 1. Análisis del suelo laboratorio particular



ANALISIS DE SUELOS PROYECTO: ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA EL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN DE SISTEMA DE RIEGO

REALIZADO: "SUELOS & PAVIMENTOS" LABORATORIO

SOLICITADO POR: SR. BRYAN PACCHA

PROCEDENCIA: MATERIAL DEL SECTOR, PARROQUIA
EL CISNE

FECHA: 9 de Julio de 2020





SUELOS & PAVIMENTOS
LABORATORIO DE MATERIALES

ANALISIS DE SUELOS

1. INTRODUCCIÓN

Con la finalidad de conocer el tipo de suelo que se encuentra en el sector de interés, el Sr. Bryan Paccha, contrata al Laboratorio Suelos & Pavimentos, representado por el Ing. Diego Songor, para que realice el Análisis de Laboratorio del material procedente de dos calicatas, mismas que se encuentran ubicadas dentro del proyecto de riego; y de esta forma determinar las propiedades físico – mecánicas del suelo existente en el sector. Cabe aclarar que las muestras fueron entregadas por el Sr. Bryan Paccha al laboratorio para la realización de los ensayos.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal del análisis del material, es determinar las propiedades físico mecánicas del suelo existente en el sector.

3. ALCANCE DEL ANALISIS DE LABORATORIO

El Análisis de Laboratorio permitirá conocer las características físicas que presenta el material, para lo cual se realiza lo siguiente:

- Determinar el Contenido de Humedad
- Determinar la composición Granulométrica
- Determinar el Límite Líquido
- Determinar el Límite Plástico
- Determinar el Índice de plasticidad
- En función de la granulometría y el índice de plasticidad se realiza la Clasificación del material para identificarlo de acuerdo al método SUCS y AASHTO.





SUELOS & PAVIMENTOS
LABORATORIO DE MATERIALES

4. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL MATERIAL

El material analizado está formado por partículas de suelo fino, los resultados del análisis se detallan a continuación:

ANÁLISIS DEL SUELO DE LA CALICATA 1 PROFUNDIDAD 1,00 metro	
TIPO DE ANÁLISIS	RESULTADO
Granulometría	Material fino, con alto porcentaje de grava
Contenido de Humedad	9,50 %
Límite Líquido	No Plástico
Límite Plástico	No Plástico
Índice de Plasticidad	No Plástico
Pasante Tamiz Nro. 200	13,9 %
Clasificación SUCS	GM: Grava Limosa con Arena

ANÁLISIS DEL SUELO DE LA CALICATA 2 PROFUNDIDAD 1,00 metro	
TIPO DE ANÁLISIS	RESULTADO
Granulometría	Material fino, con alto porcentaje de grava
Contenido de Humedad	6,81 %
Límite Líquido	No Plástico
Límite Plástico	No Plástico
Índice de Plasticidad	No Plástico
Pasante Tamiz Nro. 200	14,4 %
Clasificación SUCS	GM: Grava Limosa con Arena





SUELOS & PAVIMENTOS
LABORATORIO DE MATERIALES

5. OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES

- *Las muestras del material analizado son de granulometría fina, compuestos mayormente por partículas limo-arenosas de muy baja plasticidad y con elevado contenido de grava, por lo cual se determina que el material es un tipo GM "Grava Limosa con Arena".*

Diego Songor Songor, Ingeniero Civil
Reg. SENESCYT 1031-2019-2037257



Anexo 2. Evapotranspiración y profundidad radicular (FAO)

Cultivo	Profundidad radicular máxima ^a (m)	Fracción de agotamiento ^b (para ET = 5 mm día ⁻¹) p
j. Forrajes		
Alfalfa – para heno	1,0-2,0	0,55
– para semilla	1,0-3,0	0,60
Bermuda – para heno	1,0-1,5	0,55
– cultivo de primavera para semilla	1,0-1,5	0,60
Trébol heno, Bersim	0,6-0,9	0,50
Rye Grass (heno)	0,6-1,0	0,60
Pasto Sudán, heno (anual)	1,0-1,5	0,55
Pastos de Pastoreo – pastos de rotación	0,5-1,5	0,60
– pastoreo extensivo	0,5-1,5	0,60
Pasto (turfgrass, césped) – época fría ^c	0,5-1,0	0,40
– época caliente ^c	0,5-1,0	0,50
k. Caña de Azúcar		
	1,2-2,0	0,65
l. Frutas Tropicales y Árboles		
Banana – 1 ^{er} año	0,5-0,9	0,35
– 2 ^{do} año	0,5-0,9	0,35
Cacao	0,7-1,0	0,30
Café	0,9-1,5	0,40
Dátiles	1,5-2,5	0,50
Palmas	0,7-1,1	0,65
Piña	0,3-0,6	0,50
Árbol del caucho	1,0-1,5	0,40
Té – no sombreado	0,9-1,5	0,40
– sombreado	0,9-1,5	0,45
m. Uvas y Moras		
Moras (arbusto)	0,6-1,2	0,50
Uvas – Mesa o Secas (pasas)	1,0-2,0	0,35
– Vino	1,0-2,0	0,45
Lúpulo	1,0-1,2	0,50
n. Árboles Frutales		
Almendras	1,0-2,0	0,40
Manzanas, Cerezas, Peras	1,0-2,0	0,50
Albaricoque, Durazno, Drupa (fruta de hueso)	1,0-2,0	0,50
Aguacates	0,5-1,0	0,70
Citricos		
– 70% de cobertura vegetal	1,2-1,5	0,50
– 50% de cobertura vegetal	1,1-1,5	0,50
– 20% de cobertura vegetal	0,8-1,1	0,50
Coníferas	1,0-1,5	0,70
Kiwi	0,7-1,3	0,35
Olivos (40 a 60% de cobertura del suelo por el dosel)	1,2-1,7	0,65
Pistachos	1,0-1,5	0,40
Nogales	1,7-2,4	0,50

Anexo 3. Datos del aspersor seleccionado según Plastigama

Aspersor 4123-1-3/4M

ASPERSORES	PRESIÓN EN LA BOQUILLA (PSI)						
	30	35	40	45	50	55	60
3123 - 1 - $\frac{3}{4}$ " M CÍRCULO PARCIAL							
Boq # 8 ($\frac{1}{8}$ "							
Caudal (gpm)	2.42	2.62	2.79	2.97	3.12	3.28	3.42
Diámetro a 0.50 m	24.41	25.33	26.25	26.55	26.86	27.16	27.16
Diámetro a 2.00 m	25.33	26.25	26.86	27.16	27.47	27.50	27.50
4123 - 1 - $\frac{3}{4}$ " M CÍRCULO PARCIAL							
Boq # 12 ($\frac{3}{16}$ "							
Caudal (gpm)	5.52	5.97	6.37	6.76	7.13	7.48	7.81
Diámetro a 0.50 m	26.86	28.38	29.91	30.52	31.43	31.74	31.74
Diámetro a 2.00 m	28.38	29.60	31.13	31.74	32.96	35.10	35.10

Anexo 4. Propiedades del fluido y tuberías

Anexo 4.1. Propiedades del fluido

Temperatura (°C)	Peso específico γ (kN/m ³)	Densidad ρ (kg/m ³)	Viscosidad dinámica η (Pa·s)	Viscosidad cinemática ν (m ² /s)
0	9.81	1000	1.75×10^{-3}	1.75×10^{-6}
5	9.81	1000	1.52×10^{-3}	1.52×10^{-6}
10	9.81	1000	1.30×10^{-3}	1.30×10^{-6}
15	9.81	1000	1.15×10^{-3}	1.15×10^{-6}
20	9.79	998	1.02×10^{-3}	1.02×10^{-6}
25	9.78	997	8.91×10^{-4}	8.94×10^{-7}
30	9.77	996	8.00×10^{-4}	8.03×10^{-7}
35	9.75	994	7.18×10^{-4}	7.22×10^{-7}
40	9.73	992	6.51×10^{-4}	6.56×10^{-7}
45	9.71	990	5.94×10^{-4}	6.00×10^{-7}
50	9.69	988	5.41×10^{-4}	5.48×10^{-7}
55	9.67	986	4.98×10^{-4}	5.05×10^{-7}
60	9.65	984	4.60×10^{-4}	4.67×10^{-7}
65	9.62	981	4.31×10^{-4}	4.39×10^{-7}
70	9.59	978	4.02×10^{-4}	4.11×10^{-7}
75	9.56	975	3.73×10^{-4}	3.83×10^{-7}
80	9.53	971	3.50×10^{-4}	3.60×10^{-7}
85	9.50	968	3.30×10^{-4}	3.41×10^{-7}
90	9.47	965	3.11×10^{-4}	3.22×10^{-7}
95	9.44	962	2.92×10^{-4}	3.04×10^{-7}
100	9.40	958	2.82×10^{-4}	2.94×10^{-7}

Fuente: (Mott,2015)

Anexo 4.2. Longitudes equivalente tuberías y accesorios

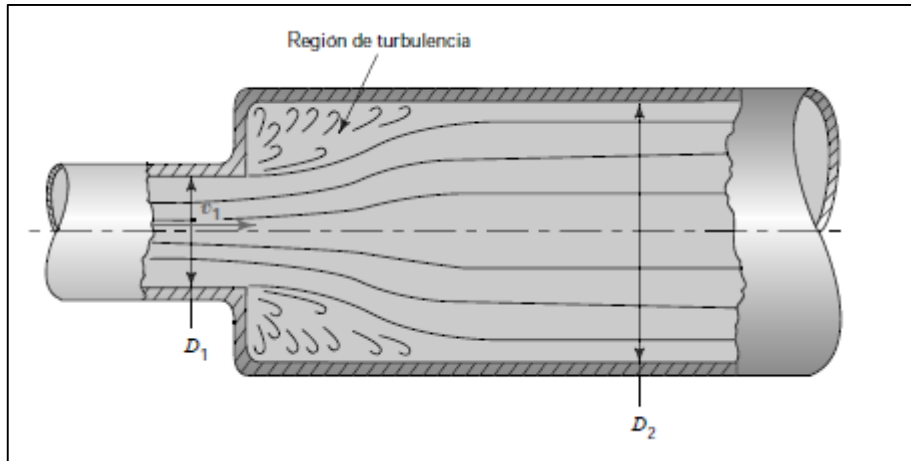
TABLA 10.4 Resistencia en válvulas y accesorios expresada como la longitud equivalente en diámetros de tubería, L_e/D

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

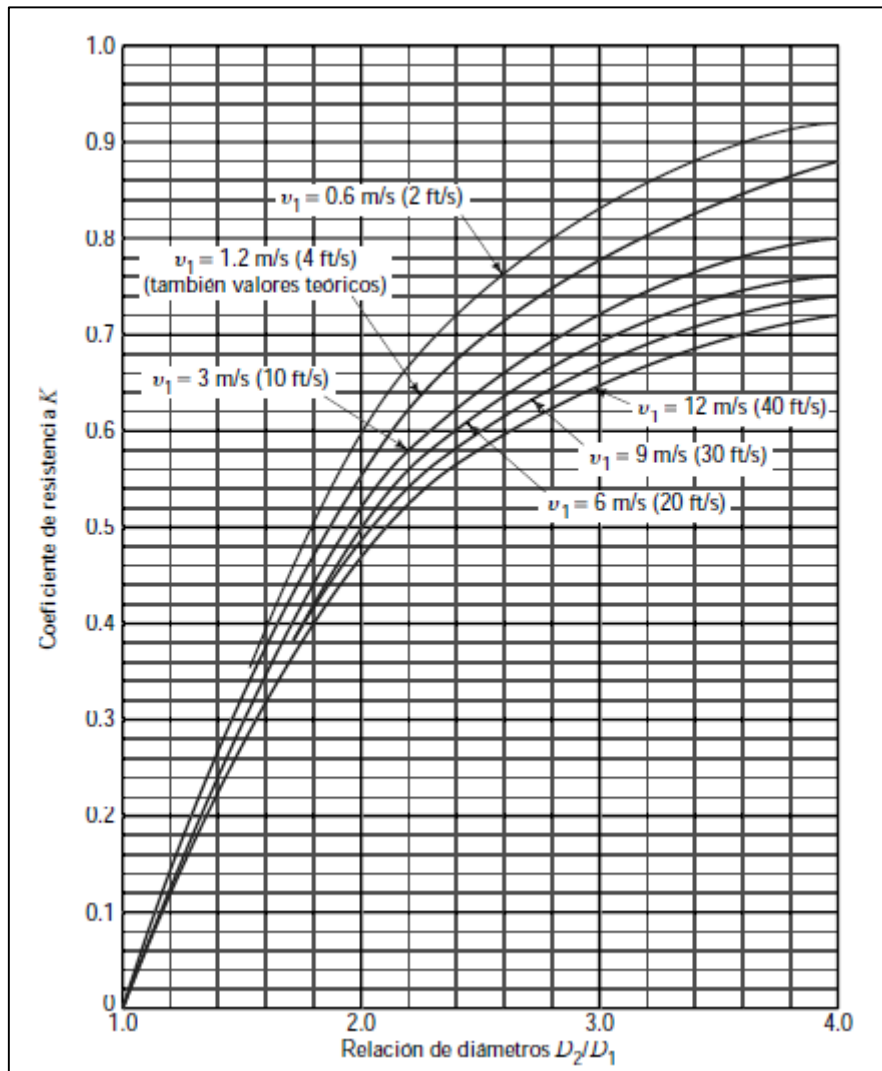
(Reproducido con autorización de Crane Co. *Flow of Fluids through Valves, Fittings and Pipe*, artículo técnico núm. 410, 2011. Todos los derechos reservados).

Fuente: (Mott,2015)

Anexo 4.3. Ampliación súbita

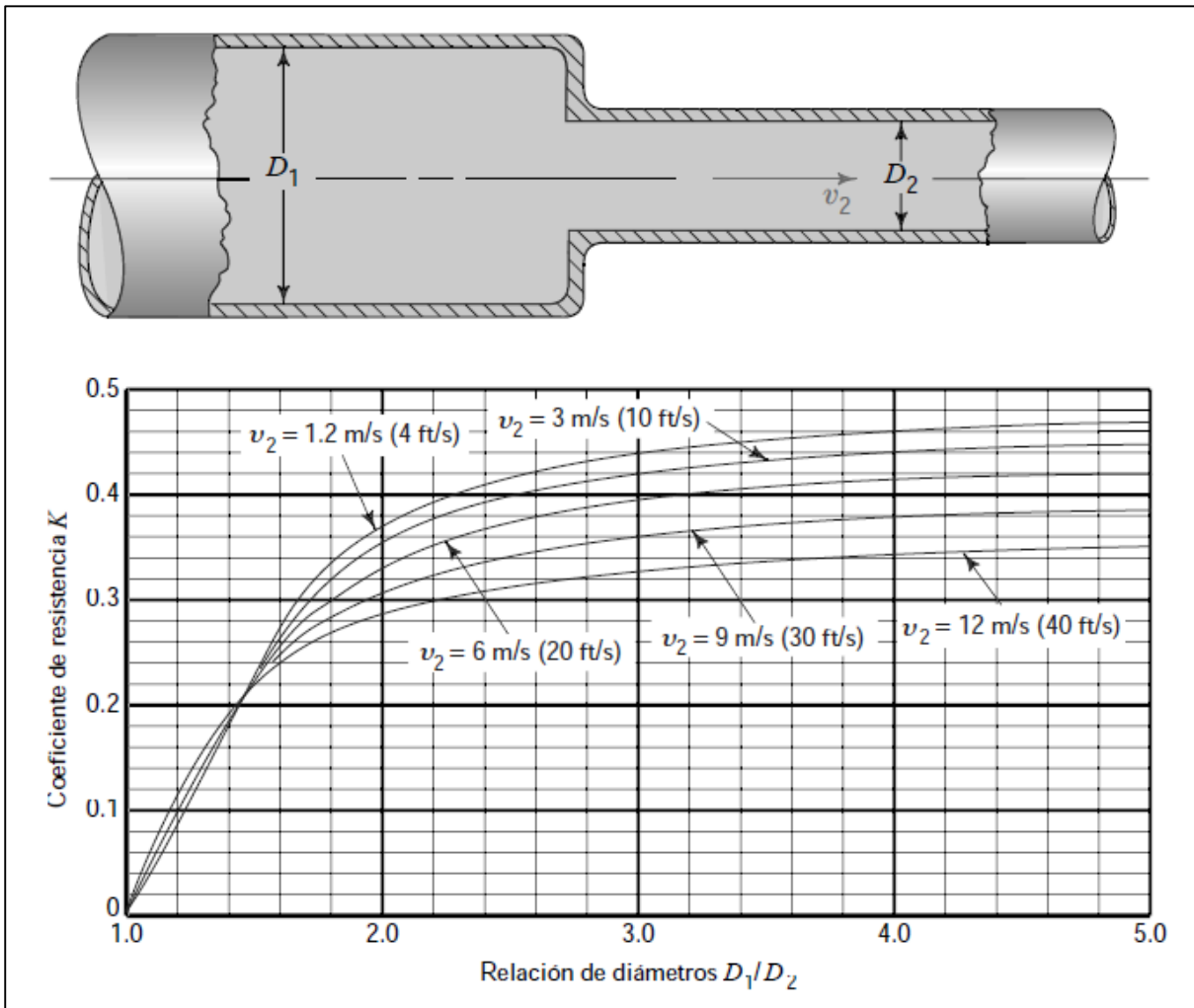


Fuente: (Mott,2015)



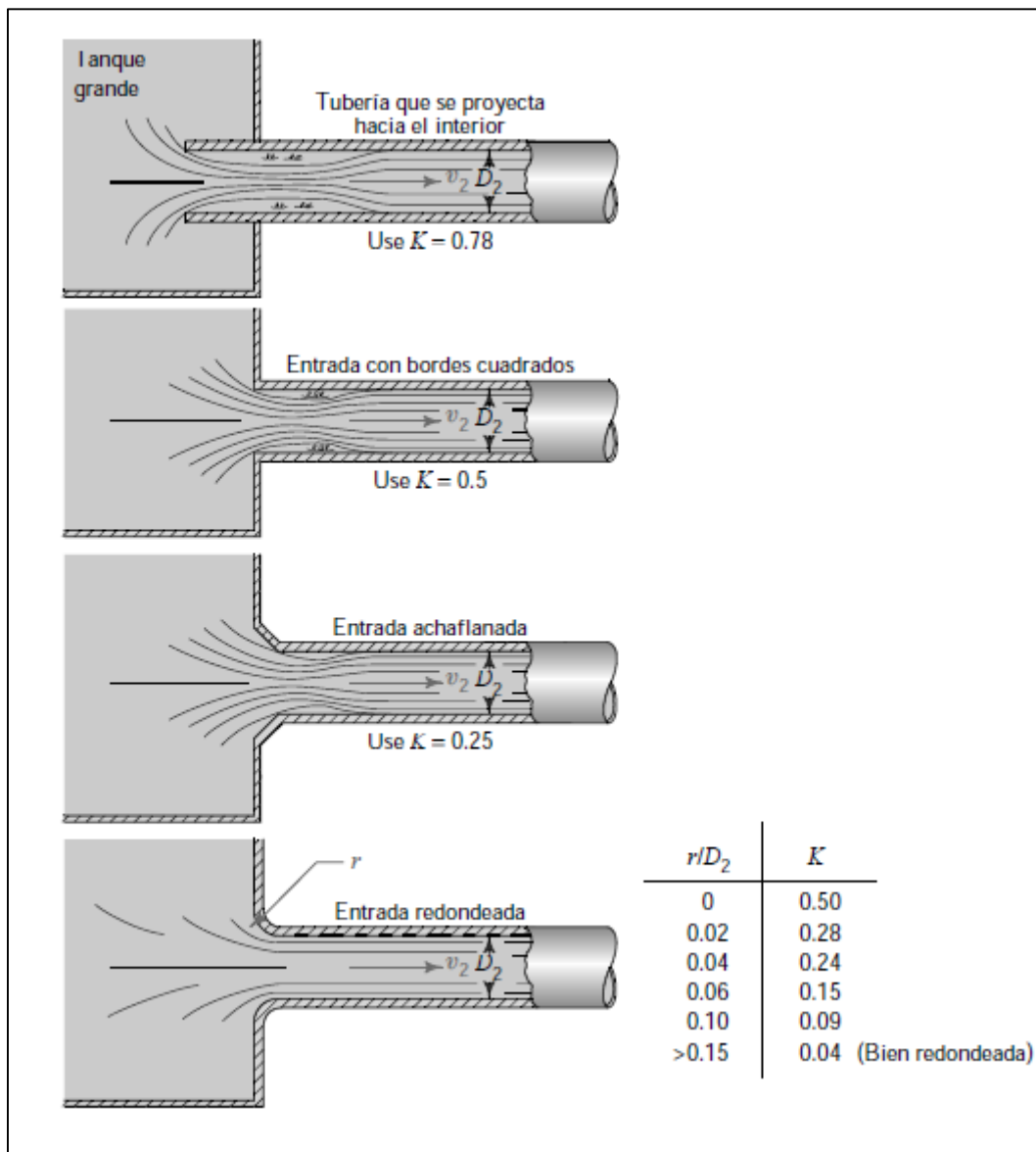
Fuente: (Mott,2015)

Anexo 4.4. Contracción súbita



Fuente: (Mott,2015)

Anexo 4.5. Perdidas de entrada



Fuente: (Mott,2015)

Anexo 5. Acoplamientos SKF

	Tipo de unidad de motriz	Motores eléctricos y turbinas de vapor											
		Motores de combustión interna, turbinas de vapor e hidráulicas			Motores de combustión interna, turbinas de vapor e hidráulicas								
		Horas de servicio por día						Horas de servicio por día					
		<10	10-16	>16	<10	10-16	>16						
Liviano	Agitadores/Mezcladores (líquidos), cintas transportadoras (carga uniforme), ventiladores y aspiradores, bombas centrífugas y compresores, ventiladores (menos de 7,5 kW).	0,8	0,9	1,0	1,3	1,4	1,5						
Medio	Agitadores/Mezcladores (exc. líquidos), correas transportadoras (carga variable), ventiladores (más de 7,5 kW), generadores, ejes de transmisión, máquinas herramienta, bombas rotativas y compresores (excepto centrífugas). Maquinaria para las industrias de la alimentación, lavanderías e imprentas.	1,3	1,4	1,5	1,8	1,9	2,0						
Pesado	Transportadores para servicio pesado (elevador, draga/pala, transportador a tornillo), triturador de martillos, prensas, punzonadoras, cizallas, bombas a pistón y compresores. Maquinaria para la industria textil, del papel, de ladrillos y aserraderos.	1,8	1,9	2,0	2,3	2,4	2,5						
Muy pesado	Trituradoras (giratorias, de mandíbulas, por rodillos), Molinos para serv. pesado (molinos de bolas, de barras), equipos de izaje.	2,3	2,4	2,5	2,8	2,9	3,0						

Velocidad RPM	Tamaño del acoplamiento														
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	140	160	180	200	220	250
50	0,13	0,35	0,66	1,31	1,96	2,62	3,53	4,58	6,96	12,17	19,74	32,83	48,82	60,73	76,83
100	0,25	0,69	1,33	2,62	3,93	5,24	7,07	9,16	13,93	24,35	39,48	65,65	97,64	121,47	153,66
200	0,50	1,38	2,66	5,24	7,85	10,47	14,14	18,32	27,85	48,69	78,95	131,31	195,29	242,93	307,33
300	0,75	2,07	3,99	7,85	11,78	15,71	21,20	27,49	41,78	73,04	118,43	196,96	292,93	364,40	460,99
400	1,01	2,76	5,32	10,47	15,71	20,94	28,27	36,65	55,71	97,38	157,91	262,62	390,58	485,86	614,66
500	1,26	3,46	6,65	13,09	19,63	26,18	35,34	45,81	69,63	121,73	197,38	328,27	488,22	607,33	768,32
600	1,51	4,15	7,98	15,71	23,56	31,41	42,41	54,97	83,56	146,07	236,86	393,93	585,86	728,80	921,99
700	1,76	4,84	9,31	18,32	27,49	36,65	49,48	64,14	97,49	170,42	276,34	459,58	683,51	850,26	1075,65
720	1,81	4,98	9,57	18,85	28,27	37,70	50,89	65,97	100,27	175,29	284,23	472,71	703,04	874,55	1106,39
800	2,01	5,53	10,64	20,94	31,41	41,88	56,54	73,30	111,41	194,76	315,81	525,24	781,15	971,73	1229,32
900	2,26	6,22	11,97	23,56	35,34	47,12	63,61	82,46	125,34	219,11	355,29	590,89	878,80	1093,19	1382,98
960	2,41	6,63	12,77	25,13	37,70	50,26	67,85	87,96	133,70	233,72	378,97	630,28	937,38	1166,07	1475,18
1000	2,51	6,91	13,30	26,18	39,27	52,36	70,68	91,62	139,27	243,46	394,76	656,54	976,44	1214,66	1536,65
1200	3,02	8,29	15,96	31,41	47,12	62,83	84,82	109,95	167,12	292,15	473,72	787,85	1171,73	-	-
1400	3,52	9,68	18,62	36,65	54,97	73,30	98,95	128,27	194,97	340,84	552,67	919,16	-	-	-
1440	3,62	9,95	19,15	37,70	56,54	75,39	101,78	131,94	200,54	350,58	568,46	945,42	-	-	-
1600	4,02	11,06	21,28	41,88	62,83	83,77	113,09	146,60	222,83	389,53	631,62	-	-	-	-
1800	4,52	12,44	23,94	47,12	70,68	94,24	127,23	164,92	250,68	438,22	-	-	-	-	-
2000	5,03	13,82	26,60	52,36	78,53	104,71	141,36	183,25	278,53	-	-	-	-	-	-
2200	5,53	15,20	29,26	57,59	86,39	115,18	155,50	201,57	-	-	-	-	-	-	-
2400	6,03	16,59	31,92	62,83	94,24	125,65	169,63	-	-	-	-	-	-	-	-
2600	6,53	17,97	34,58	68,06	102,09	136,13	183,77	-	-	-	-	-	-	-	-
2800	7,04	19,35	37,24	73,30	109,95	146,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2880	7,24	19,90	38,30	75,39	113,09	150,79	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3000	7,54	20,73	39,90	78,53	117,80	157,07	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3600	9,05	24,88	47,87	94,24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Torque nominal Nm	24	66	127	250	375	500	675	875	1330	2325	3770	6270	9325	11600	14675
Torque máximo Nm	64	160	318	487	759	1096	1517	2137	3547	5642	9339	16455	23508	33125	42740

Tamaño	Tipo	Buje No.	Orificio		Tipos F y H		Tipo B		Tornillo de fijación	O.D.	FD	H	F	R*	G+	M	Masa→	Inercia→	Designación
			Min	Max	L	E	L	E											
			mm	mm															
40	B	-	-	30	-	-	33,0	22	M5	104	82	-	-	29	-	11,0	0,80	0,00074	PHE F40RSBFLG
40	F	1008	9	25	33,0	22	-	-	-	104	82	-	-	29	-	11,0	0,80	0,00074	PHE F40FTBFLG
40	H	1008	9	25	33,0	22	-	-	-	104	82	-	-	29	-	11,0	0,80	0,00074	PHE F40HTBFLG
50	B	-	-	38	-	-	45,0	32	M5	133	100	79	-	38	-	12,5	1,20	0,00115	PHE F50RSBFLG
50	F	1210	11	32	37,5	25	-	-	-	133	100	79	-	38	-	12,5	1,20	0,00115	PHE F50FTBFLG
50	H	1210	11	32	37,5	25	-	-	-	133	100	79	-	38	-	12,5	1,20	0,00115	PHE F50HTBFLG
60	B	-	-	45	-	-	55,0	38	M6	165	125	70	-	38	-	16,5	2,00	0,0052	PHE F60RSBFLG
60	F	1610	14	42	41,5	25	-	-	-	165	125	103	-	38	-	16,5	2,00	0,0052	PHE F60FTBFLG
60	H	1610	14	42	41,5	25	-	-	-	165	125	103	-	38	-	16,5	2,00	0,0052	PHE F60HTBFLG
70	B	-	-	60	-	-	47,0	35	M10	187	142	80	50	-	13	11,5	3,10	0,009	PHE F70RSBFLG
70	F	2012	14	50	43,5	32	-	-	-	187	142	80	50	42	13	11,5	3,10	0,009	PHE F70FTBFLG
70	H	2012	14	50	43,5	32	-	-	-	187	142	80	50	42	13	11,5	3,10	0,009	PHE F70HTBFLG
80	B	-	-	63	-	-	55,0	42	M10	211	165	98	54	-	16	12,5	4,90	0,018	PHE F80RSBFLG
80	F	2517	16	60	57,5	45	-	-	-	211	165	97	54	48	16	12,5	4,90	0,018	PHE F80FTBFLG
80	H	2012	14	50	44,5	32	-	-	-	211	165	98	54	32	16	12,5	4,60	0,017	PHE F80HTBFLG
90	B	-	-	75	-	-	62,5	49	M12	235	187	112	60	-	16	13,5	7,10	0,032	PHE F90RSBFLG
90	F	2517	16	60	58,5	45	-	-	-	235	187	108	60	48	16	13,5	7,00	0,031	PHE F90FTBFLG
90	H	2517	16	60	58,5	45	-	-	-	235	187	108	60	48	16	13,5	7,00	0,031	PHE F90HTBFLG

Anexo 6. Afluente del sector Sharve

Materiales: Piola (hilo), nivel de burbuja, estacas, flexómetro.



Anexo 7. Resultados hidráulicos para la sección 2 y 3 de riego

Anexo 7.1 Resultados para la sección 2 de riego

Variable	Descripción	Resultado	Unidades
Tramo n16-n17			
Q_D	Caudal de demanda por la línea	3.48×10^{-4}	m^3/s
D	Diámetro	0.025	m
L	Longitud de tubería	28	m
v	Velocidad en la línea del fluido	0.709	m/s
N_R	Número de Reynolds	1.54×10^4	Adimensional
f	Factor de Fricción	0.027	Adimensional
h_p	Pérdidas Primarias	0.81	m
f_T	Factor de Fricción en el Accesorio	0.011	Adimensional
h_s	Pérdidas Secundarias	0.15	Adimensional
h_L	Pérdidas Totales	0.96	m
Tramo n14-n16			
Q_D	Caudal de demanda por la línea	6.96×10^{-4}	m^3/s
D	Diámetro	0.05	m
L	Longitud de tubería	14.28	m
v	Velocidad en la línea del fluido	0.35	m/s
N_R	Número de Reynolds	1.54×10^4	Adimensional
f	Factor de Fricción	0.027	Adimensional
h_p	Pérdidas Primarias	0.05	m
f_T	Factor de Fricción en el Accesorio	0.009	Adimensional
h_s	Pérdidas Secundarias	0.01	Adimensional
h_L	Pérdidas Totales	0.06	m
Tramo n10-n14			
Q_D	Caudal de demanda por la línea	1.044×10^{-3}	m^3/s
D	Diámetro	0.05	m
L	Longitud de tubería	60.62	m
v	Velocidad en la línea del fluido	0.53	m/s
N_R	Número de Reynolds	2.30×10^4	Adimensional
f	Factor de Fricción	0.025	Adimensional

h_p	Pérdidas Primarias	0.44	m
f_T	Factor de Fricción en el Accesorio	0.009	Adimensional
h_s	Pérdidas Secundarias	0.2	Adimensional
h_L	Pérdidas Totales	0.64	m
Tramo n4-n7			
Q_D	Caudal de demanda por la línea	1.392×10^{-3}	m^3/s
D	Diámetro	0.05	m
L	Longitud de tubería	24.19	m
v	Velocidad en la línea del fluido	0.71	m/s
N_R	Número de Reynolds	3.08×10^4	Adimensional
f	Factor de Fricción	0.023	Adimensional
h_p	Pérdidas Primarias	0.29	m
f_T	Factor de Fricción en el Accesorio	0.009	Adimensional
h_s	Pérdidas Secundarias	0.2	Adimensional
h_L	Pérdidas Totales	0.49	m
Tramo Tanque_Dist-n4			
Q_D	Caudal de demanda por la línea	1.74×10^{-3}	m^3/s
D	Diámetro	0.05	m
L	Longitud de tubería	86.75	m
v	Velocidad en la línea del fluido	0.89	m/s
N_R	Número de Reynolds	3.85×10^4	Adimensional
f	Factor de Fricción	0.022	Adimensional
h_p	Pérdidas Primarias	1.53	m
f_T	Factor de Fricción en el Accesorio	0.009	Adimensional
h_s	Pérdidas Secundarias	0.21	Adimensional
h_L	Pérdidas Totales	1.74	m
Pérdidas totales Tramo Tanque_Dist-n17			
h_L	Pérdidas Totales	3.89	m

Anexo 7.2 Cálculo para la sección 3 de riego

Variable	Descripción	Resultado	Unidades
Tramo n12-n13			
Q_D	Caudal de demanda por la línea	3.48×10^{-4}	m^3/s
D	Diámetro	0.025	m
L	Longitud de tubería	29.05	m
v	Velocidad en la línea del fluido	0.709	m/s
N_R	Número de Reynolds	1.54×10^4	Adimensional
f	Factor de Fricción	0.027	Adimensional
h_p	Pérdidas Primarias	0.81	m
f_T	Factor de Fricción en el Accesorio	0.011	Adimensional
h_s	Pérdidas Secundarias	0.15	Adimensional
h_L	Pérdidas Totales	0.96	m
Tramo n11-n12			
Q_D	Caudal de demanda por la línea	6.96×10^{-4}	m^3/s
D	Diámetro	0.038	m
L	Longitud de tubería	28	m
v	Velocidad en la línea del fluido	0.61	m/s
N_R	Número de Reynolds	2.03×10^4	Adimensional
f	Factor de Fricción	0.025	Adimensional
h_p	Pérdidas Primarias	0.37	m
f_T	Factor de Fricción en el Accesorio	0.01	Adimensional
h_s	Pérdidas Secundarias	0.09	Adimensional
h_L	Pérdidas Totales	0.46	m
Tramo n10-n11			
Q_D	Caudal de demanda por la línea	1.044×10^{-3}	m^3/s
D	Diámetro	0.038	m
L	Longitud de tubería	20.28	m
v	Velocidad en la línea del fluido	0.92	m/s
N_R	Número de Reynolds	3.04×10^4	Adimensional
f	Factor de Fricción	0.023	Adimensional
h_p	Pérdidas Primarias	0.54	m

f_T	Factor de Fricción en el Accesorio	0.01	Adimensional
h_s	Pérdidas Secundarias	0.17	Adimensional
h_L	Pérdidas Totales	0.71	m
Tramo n7-n10			
Q_D	Caudal de demanda por la línea	1.044×10^{-3}	m^3/s
D	Diámetro	0.05	m
L	Longitud de tubería	27.73	m
v	Velocidad en la línea del fluido	0.53	m/s
N_R	Número de Reynolds	2.31×10^4	Adimensional
f	Factor de Fricción	0.025	Adimensional
h_p	Pérdidas Primarias	0.20	m
f_T	Factor de Fricción en el Accesorio	0.009	Adimensional
h_s	Pérdidas Secundarias	0.06	Adimensional
h_L	Pérdidas Totales	0.26	m
Tramo n4-n7			
Q_D	Caudal de demanda por la línea	1.392×10^{-3}	m^3/s
D	Diámetro	0.05	m
L	Longitud de tubería	24.19	m
v	Velocidad en la línea del fluido	0.71	m/s
N_R	Número de Reynolds	3.08×10^4	Adimensional
f	Factor de Fricción	0.023	Adimensional
h_p	Pérdidas Primarias	0.29	m
f_T	Factor de Fricción en el Accesorio	0.009	Adimensional
h_s	Pérdidas Secundarias	0.11	Adimensional
h_L	Pérdidas Totales	0.4	m
Tramo n2-n4			
Q_D	Caudal de demanda por la línea	1.74×10^{-3}	m^3/s
D	Diámetro	0.05	m
L	Longitud de tubería	16.55	m
v	Velocidad en la línea del fluido	0.89	m/s
N_R	Número de Reynolds	3.85×10^4	Adimensional
f	Factor de Fricción	0.022	Adimensional

h_p	Pérdidas Primarias	0.29	m
f_T	Factor de Fricción en el Accesorio	0.009	Adimensional
h_s	Pérdidas Secundarias	0.20	Adimensional
h_L	Pérdidas Totales	0.49	m
Tramo Tanque_Dist-n2			
Q_D	Caudal de demanda por la línea	2.09×10^{-3}	m^3/s
D	Diámetro	0.05	m
L	Longitud de tubería	70	m
v	Velocidad en la línea del fluido	1.06	m/s
N_R	Número de Reynolds	4.6210^4	Adimensional
f	Factor de Fricción	0.021	Adimensional
h_p	Pérdidas Primarias	1.72	m
f_T	Factor de Fricción en el Accesorio	0.009	Adimensional
h_s	Pérdidas Secundarias	0.24	Adimensional
h_L	Pérdidas Totales	1.96	m
Pérdidas totales Tramo Tanque_Dist-n2			
h_L	Pérdidas Totales	5.24	m

Anexo 8. Datos del Afluente

Anexo 8.1. Datos para una sección transversal parabólico

Fecha	Punto 1		Punto 2		Punto 3	
	T	Y	T	Y	T	Y
	m					
9/6/2020	1.8	0.2	1.7	0.15	1.45	0.2
4/7/2020	1.6	0.18	1.7	0.11	1.4	0.13
18/7/2020	1.6	0.17	1.7	0.11	1.3	0.1
25/7/2020	1.6	0.15	1.66	0.1	1.25	0.08
1/8/2020	1.6	0.14	1.6	0.08	1.25	0.08
7/9/2020	1.6	0.1	1.4	0.06	1.15	0.06
18/9/2020	1.6	0.09	1.4	0.06	1.15	0.05
3/10/2020	1.6	0.09	1.4	0.06	1.15	0.05

Anexo 8.2. Datos para una sección transversal trapecio/rectangular

Fecha	Punto 1		Punto 2		Punto 3	
	Distancia	Profund.	Distancia	Profund.	Distancia	Profund.
	m					
9/6/2020	0	0.16	0	0.1	0	0.08
	0.5	0.2	0.5	0.1	0.5	0.15
	1	0.2	1	0.15	1	0.2
	1.8	0.16	1.7	0.1	1.45	0.16
4/7/2020	0	0.1	0	0.06	0	0.06
	0.5	0.17	0.5	0.08	0.5	0.08
	1	0.18	1	0.11	1	0.13
	1.6	0.14	1.7	0.07	1.4	0.1
18/7/2020	0	0.08	0	0.06	0	0.06
	0.5	0.15	0.5	0.06	0.5	0.08
	1	0.17	1	0.11	1	0.1
	1.6	0.13	1.7	0.06	1.3	0.1
25/7/2020	0	0.07	0	0.06	0	0.06
	0.5	0.14	0.5	0.06	0.5	0.08

Fecha	Punto 1		Punto 2		Punto 3	
	Distancia	Profund.	Distancia	Profund.	Distancia	Profund.
	m					
	1	0.15	1	0.1	1	0.06
	1.66	0.12	1.66	0.06	1.25	0.1
1/8/2020	0	0.07	0	0.06	0	0.06
	0.5	0.13	0.5	0.06	0.5	0.07
	1	0.14	1	0.08	1	0.06
	1.6	0.1	1.6	0.06	1.25	0.1
7/9/2020	0	0.06	0	0.04	0	0.06
	0.5	0.1	0.5	0.06	0.35	0.06
	1	0.08	1	0.06	0.7	0.05
	1.6	0.07	1.4	0.04	1.15	0.09
18/9/2020	0	0.06	0	0.04	0	0.06
	0.5	0.09	0.5	0.06	0.35	0.06
	1	0.07	1	0.06	0.7	0.05
	1.6	0.07	1.4	0.04	1.15	0.08
3/10/2020	0	0.06	0	0.04	0	0.05
	0.5	0.09	0.5	0.06	0.35	0.06
	1	0.07	1	0.06	0.7	0.05
	1.6	0.06	1.4	0.04	1.15	0.08

Anexo 8.3. Tiempo del flotador para una distancia de 9.17 m

Tiempo (s)							
9/6/2020	4/7/2020	18/7/2020	25/7/2020	1/8/2020	7/9/2020	18/9/2020	3/10/2020
9.34	7.8	9.42	9.63	9.53	13.17	14.18	13.8
7.3	8.7	8.92	9.46	9.81	12.82	13.63	14.5
7.03	9.03	9.18	9.24	9.78	12.75	14.18	13.5
8.34	9.09	9.05	9.37	9.32	12.6	13.62	13.7
8.22	9.37	8.66	9.48	9.63	13.86	13.82	14.2

Anexo 9. Resultado de simulación de la sección 1 de riego

Tabla de Red-Nodos				
ID Nodos	Cota (m)	Demanda bases (LPS)	Demanda (LPS)	Presión (mca)
Embalse	1852	00	-1.93	00
Conexión 2	1832	00	00	17.98
Conexión 4	1831	00	00	18.57
Conexión 7	1830	00	00	19.01
Conexión 10	1829	00	00	19.37
Conexión 14	1827	00	00	20.14
Conexión 16	1827	00	00	19.78
Conexión 18	1825	0.348	0.39	19.99
Conexión 19	1825	0.348	0.38	18.71
Conexión 20	1824	0.348	0.39	19.50
Conexión 21	1824	0.348	0.38	18.23
Conexión 22	1834	0.348	0.38	18.37

Tabla de Red-Líneas						
ID Línea	Longitud	Diámetro	Caudal	Velocidad	Pérd. Unit.	Factor de Fricción
	m	mm	LPS	m/s	m/km	
Tubería 1	70	50	1.93	0.98	28.85	0.029
Tubería p3	16.55	50	1.93	0.98	24.57	0.025
Tubería p6	24.19	50	1.93	0.98	23.34	0.024
Tubería p13	32.89	50	1.93	0.98	37.58	0.038
Tubería p15	14.25	50	1.93	0.98	25.18	0.026
Tubería p19	28.88	50	1.93	0.98	61.70	0.063
Tubería p20	28.12	38	1.15	1.01	53.27	0.039
Tubería p17	28	25	0.38	0.78	45.98	0.037
Tubería p18	28	25	0.38	0.77	45.07	0.037
Tubería p21	23.51	25	0.38	0.78	47.84	0.039

Anexo 10. Resultado de simulación de la sección 2 de riego

Tabla de Red-Nodos				
ID Nodos	Cota (m)	Demanda bases (LPS)	Demanda (LPS)	Presión (mca)
Embalse	1852	00	-1.97	00
Conexión 2	1832	00	00	17.90
Conexión 4	1831	00	00	18.48
Conexión 6	1831	0.348	0.38	18.33
Conexión 7	1830	00	00	19.08
Conexión 9	1829	0.348	0.39	19.01
Conexión 10	1829	00	0	19.81
Conexión 14	1827	00	00	21.30
Conexión 15	1827	0348	0.40	20.20
Conexión 16	1827	0.348	0.40	21.14
Conexión 17	1824	0.348	0.40	20.75

Tabla de Red-Líneas						
ID Línea	Longitud	Diámetro	Caudal	Velocidad	Pérd. Unit.	Factor de Fricción
	m	mm	LPS	m/s	m/km	
Tubería 1	70	50	1.97	1	29.94	0.029
Tubería p3	16.55	50	1.97	1	25.48	0.025
Tubería p5	19.05	38	0.38	0.34	8.02	0.053
Tubería p6	24.19	50	1.59	0.81	16.45	0.025
Tubería p8	14.25	50	1.93	0.79	50.98	0.04
Tubería p9	27.73	50	1.2	0.61	9.85	0.026
Tubería p13	32.89	50	1.2	0.61	15.51	0.041
Tubería p14	20.29	25	0.40	0.81	54.23	0.041
Tubería p15	14.25	50	0.81	0.40	11.22	0.065
Tubería p16	28	25	0.40	0.82	49.86	0.037

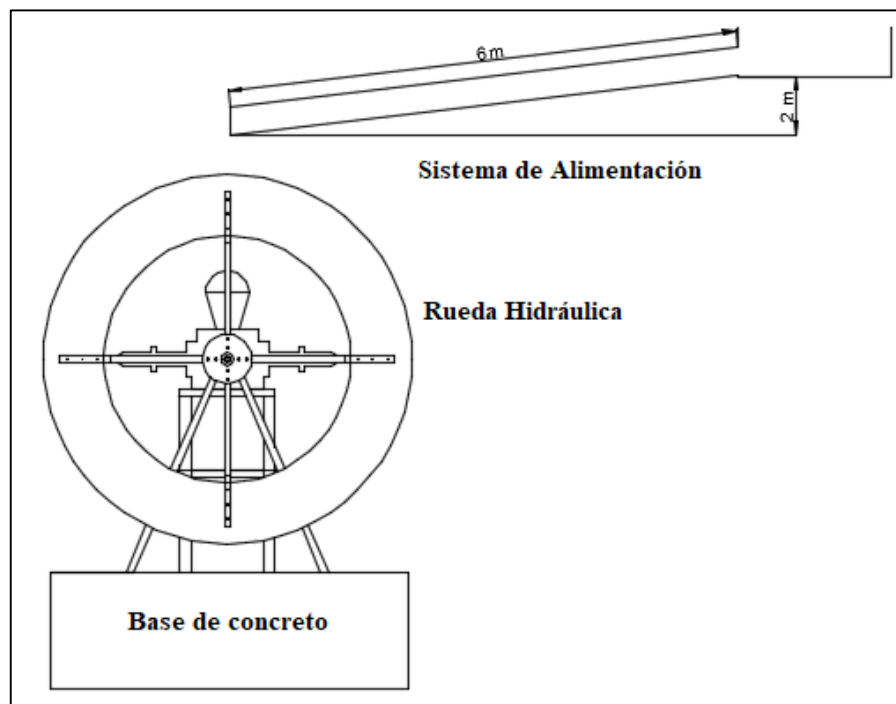
Anexo 11. Resultado de simulación de la sección 3 de riego.

Tabla de Red-Nodos				
ID Nodos	Cota (m)	Demanda bases (LPS)	Demanda (LPS)	Presión (mca)
Embalse	1852	00	-2.3	00
Conexión 2	1832	00	00	17.20
Conexión 3	1832	0.348	0.37	16.97
Conexión 4	1831	00	00	17.77
Conexión 5	1831	0.348	0.37	17.67
Conexión 7	1830	00	00	18.38
Conexión 8	1830	0.348	0.38	18.24
Conexión 10	1829	00	00	19.12
Conexión 11	1827	0.348	0.39	19.79
Conexión 12	1825	0.348	0.40	21.04
Conexión 13	1825	0.348	0.39	19.68

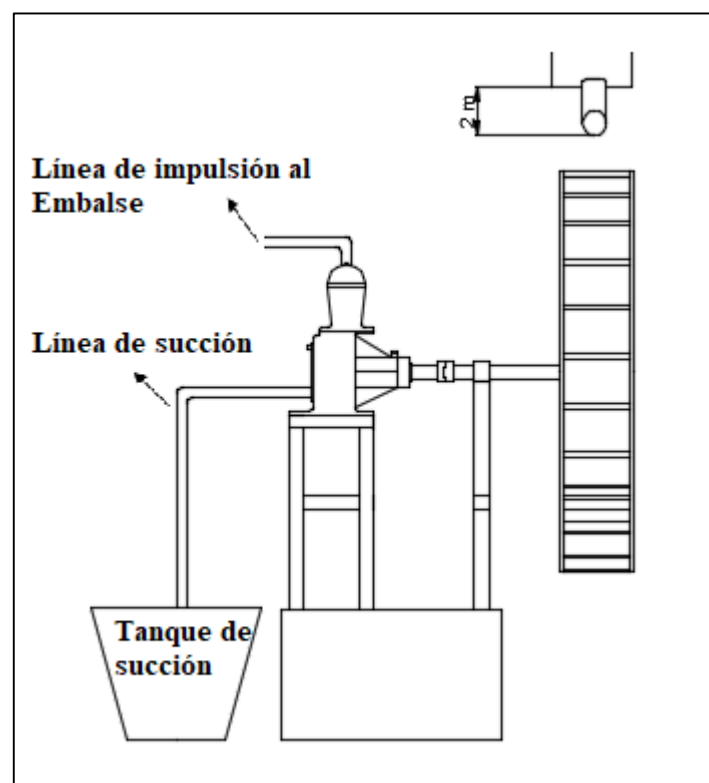
Tabla de Red-Líneas						
ID Línea	Longitud	Diámetro	Caudal	Velocidad	Pérd. Unit.	Factor de Fricción
	m	mm	LPS	m/s	m/km	
Tubería 1	70	50	2.31	1.18	40.23	0.029
Tubería p2	7.149	25	0.37	0.77	30.37	0.027
Tubería p3	16.55	50	1.94	0.99	24.87	0.025
Tubería p4	7.90	38	0.37	0.33	12.7	0.087
Tubería p6	24.19	50	1.57	0.8	16.08	0.025
Tubería p7	15.98	38	0.38	0.33	8.67	0.058
Tubería p9	27.73	50	1.19	0.61	9.66	0.026
Tubería p10	20.28	38	1.19	1.05	65.62	0.045
Tubería p11	28	38	0.8	0.7	26.74	0.041
Tubería p12	28.53	25	0.39	0.80	47.57	0.037

Anexo 12. Sistema de accionamiento del mecanismo.

Anexo 12.1. Sistema de alimentación de la Rueda.



Anexo 12.2. Sistema de succión e impulso de la bomba.



Anexo 13. Ficha técnica de la bomba ZM 76 MAXXI.



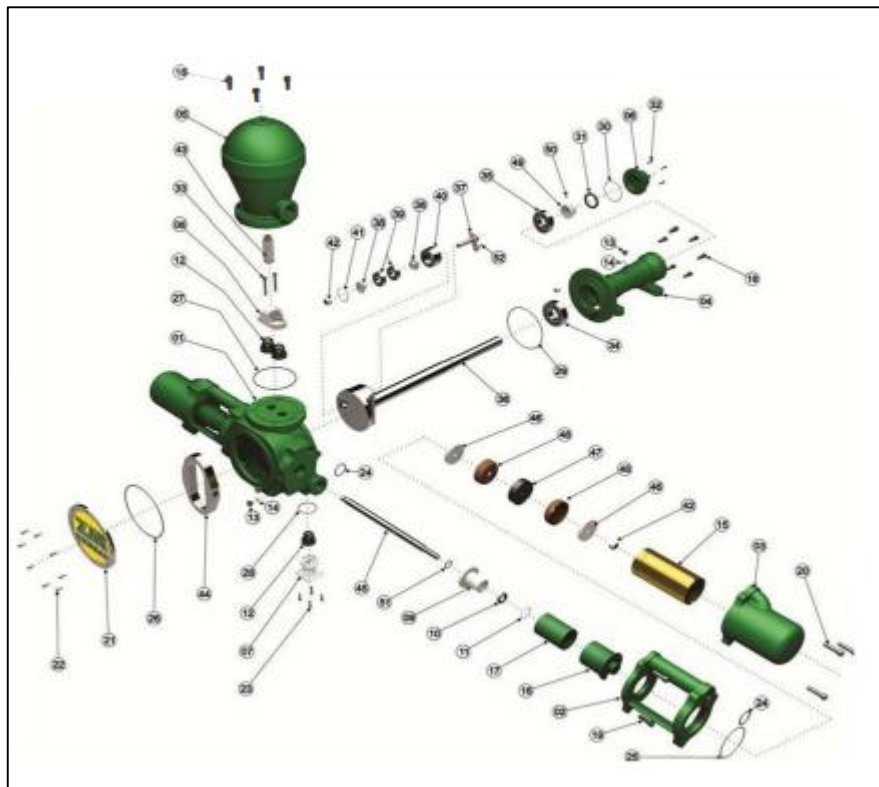
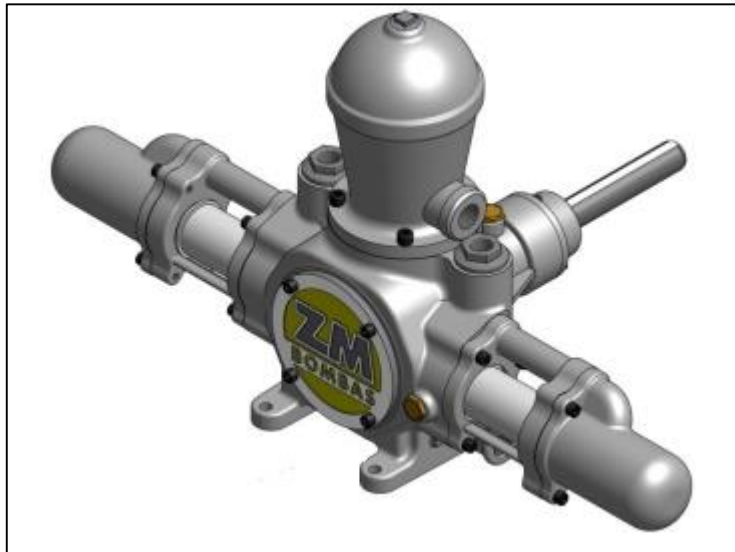
Las bombas de rueda accionadas por agua ZM BOMBAS, resuelven los problemas de suministros de agua con el menor costo de mantenimiento. Presentan un sistema mecánico de gran durabilidad y bajo mantenimiento.

1. Gran durabilidad
2. Lubricación de aceite en todo el sistema, incluso en los dos rodamientos del cojinete.
3. Sello del pistón en cuero, especialmente preparado para el uso en las bombas ZM en sustitución a las juntas convencionales.
4. La sustitución de los cueros es fácil y no necesita ajuste.
5. Fácil y práctico mantenimiento de las bombas ZM.
6. Rueda de agua con sistema de rayos especiales, mayor firmeza y evita la oscilación.
7. Nuestras bombas pueden motorizarse con un máximo de 60 rpm

Mayor altura de bombeo

Curso	20 RPM	30 RPM	40 RPM	50 RPM	Altura
Extra	31.500	47.250	63.000	78.700	130M.C.A
Normal	27.500	41.300	55.000	68.700	150M.C.A
A	23.600	35.400	47.200	59.000	160M.C.A
B	19.600	29.500	39.300	49.100	170M.C.A
C	15.750	23.600	31.500	39.300	200M.C.A

Anexo 14. Bomba ZM 76 MAXXI y vista explosiva de la bomba.



Anexo 15. Planos de la Rueda Hidráulica.

Archivo formato PDF. (Ubicado en el Cd – R Nro. 1)

Anexo 16. Certificado de traducción del resumen.

CERTIFICACIÓN

En calidad de traductor del resumen de la Tesis titulada, “**Diseño de un sistema de riego para pastizales a través de un mecanismo de rueda hidráulica y bomba de pistón para el sector “Sharve” de la Parroquia El Cisne**”, de autoría del señor egresado **Bryan Marcelo Paccha Paccha** de la carrera de Ingeniería Electromecánica en la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables de la Universidad Nacional de Loja, previa a la obtención del título de Ingeniero electromecánico.

Es todo lo que puedo certificar en honor a la verdad, autorizando al interesado hacer uso del presente en lo que estime conveniente.

Loja, 31 de julio de 2023

Atentamente:



Firmado electrónicamente por:
**SARA PATRICIA
CHANTA JIMENEZ**

.....-

Lic. Sara Patricia Chanta Jiménez, Mgs

1105366841